БЮРО НДТ

РСТ

РОССТАНДАРТ

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК
ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС 26-2022

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА, СТАЛИ И ФЕРРОСПЛАВОВ



Москва
2022

Содержание

Введение IX
Предисловие XII
Область применения 1
Раздел 1. Общая информация о состоянии и развитии технологий производства чугуна, стали и ферросплавов 5
1.1 Структура отрасли, количество предприятий отрасли и их географическое расположение 5
1.2 Основная и побочная продукция, выпускаемая отраслью 10
1.3 Использование производственных мощностей предприятий отрасли 11
1.4 Основные экономические показатели отрасли, доля в ВВП и промышленном производстве, объемы экспорта / импорта 12
1.5 Основные схемы производства стали. Объем выпуска металлургической продукции 14
1.5.1 Производство металлопродукции на интегрированном предприятии 14
1.5.2 Производство металлопродукции на мини-заводах 14
1.5.3 Основные отраслевые показатели 16
1.6 Сырьевая база отрасли 26
1.6.1 Железорудное сырье 26
1.6.2 Агломерат 30
1.6.3 Окатыши 31
1.6.4 Горячебрикетированное железо 32
1.6.5 Марганцевая руда 33
1.6.6 Хромовая руда 34
1.6.7 Коксующиеся угли и металлургический кокс 35
..... 41
1.6.8 Стальной лом 42
1.7 Воздействие металлургических предприятий на экологическую обстановку 43
1.7.1 Общие сведения о воздействии металлургических предприятий на экологическую обстановку 43
1.7.2 Краткая информация по предприятиям 43
1.8 Перспективы развития отрасли 57
1.8.1 Модернизация основных переделов 57
1.8.2 Основные прогнозные параметры развития черной металлургии 58
Раздел 2. Основные технологические процессы, применяемые для производства чугуна, стали и ферросплавов 64
2.1 Агломерация 64
2.1.1 Общая характеристика технологии агломерации железных руд 64
2.1.2 Прием сырья, складирование, усреднение 70

2.1.3 Подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию: измельчение, смешивание, грануляция 73
2.1.4 Спекание шихты на конвейерных машинах 75
2.1.5 Охлаждение и дробление агломерата, сортировка, отсев мелочи и отгрузка годного агломерата 77
2.1.6 Основное технологическое и природоохранное оборудование 79
2.1.7 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание 82
2.2 Производство кокса 86
2.2.1 Основные способы производства кокса 86
2.2.2 Сырьевые материалы 88
2.2.3 Подготовка углей к коксованию 89
Прием угля на предприятие 89
Усреднение и хранение углей 90
Подготовка угольной шихты 90
2.2.4 Технологические процессы производства кокса 92
2.2.5 Очистка коксового газа 98
2.2.6 Установка биохимической очистки сточных вод 101
2.2.7 Основное технологическое и природоохранное оборудование для производства кокса 103
2.2.8 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание 106
2.2.9 Факторы негативного воздействия на окружающую среду 108
2.3 Производство чугуна 110
2.3.1 Общая характеристика технологии доменной плавки 112
2.3.2 Прием и хранение сырья, дозирование, отсев мелочи 115
2.3.3 Загрузка печи 117
2.3.4 Подготовка дутья 119
2.3.5 Выплавка чугуна 123
2.3.6 Разливка товарного чугуна на разливочных машинах 125
2.3.7 Обработка доменного шлака 126
2.3.8 Очистка доменного газа и утилизация его химической энергии 127
2.3.9 Утилизация избыточного давления доменного газа 129
2.3.10 Основное технологическое и природоохранное оборудование 129
2.3.11 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание 132
2.4 Производство стали в кислородных конверторах 135
2.4.1 Состав конвертерного цеха 135
2.4.2 Технологический процесс производства непрерывнолитых заготовок или слитков в конвертерном цехе 136
2.4.3 Особенности двухстадийного дуплекс-процесса производства стали 147

2.4.4 Особенности производства стали в двухванном стационарном конвертере (ПАО «ММК»)..... 148
2.4.5 Переработка и утилизация шлаков сталеплавильного производства..... 148
2.4.6 Основное технологическое и природоохранное оборудование для производства стали в конвертерах..... 149
2.4.8 Факторы негативного воздействия на окружающую среду..... 156
2.5 Производство стали в электродуговых печах..... 157
2.5.1 Технологический процесс производства стали в ДСП и заготовок..... 160
2.5.2 Выплавка стали..... 166
2.5.3 Ковшевая металлургия..... 169
2.5.4 Разливка стали на МНЛЗ..... 171
2.5.5 Подготовка сталеразливочных ковшей..... 172
2.5.6 Обработка электросталеплавильного шлака и пыли..... 173
2.5.7 Очистка отходящего газа сталеплавильных печей..... 175
2.5.8 Основное технологическое и природоохранное оборудование..... 178
2.5.9 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание..... 181
2.6 Производство стали в мартеновских печах..... 185
2.6.1 Технологический процесс производства стали в мартеновской печи..... 186
2.6.2 Основное технологическое и природоохранное оборудование..... 193
2.6.3 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание..... 197
2.7 Производство ферросплавов..... 201
2.7.1 Общие сведения о процессах производства ферросплавов..... 201
2.7.2 Производство ферросплавов в доменных печах..... 205
2.7.3 Производство ферросплавов в руднотермических печах..... 212
2.7.4 Производство ферросплавов металлотермическим способом..... 233
2.7.5 Основное оборудование для производства ферросплавов..... 249
2.7.6 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание..... 253
2.8 Системы менеджмента..... 260
2.8.1 Системы экологического менеджмента..... 260
2.8.2 Системы энергетического менеджмента и повышение энергоэффективности производства..... 269
2.9 Экономические аспекты внедрения НДТ..... 276
Раздел 3. Текущие уровни потребления ресурсов и эмиссии в окружающую среду..... 281
3.2 Агломерация..... 287
3.2.1 Потребление ресурсов..... 288

3.2.2 Выбросы в атмосферу 290
3.2.3 Сточные воды 294
3.2.4 Отходы и побочные продукты 295
3.2.5 Вторичные энергетические ресурсы 296
3.3 Производство кокса 297
3.3.1 Потребление ресурсов 297
3.3.2 Выбросы в атмосферу 297
3.3.3 Сточные воды 311
3.3.4 Отходы и побочные продукты 313
3.4 Производство чугуна 316
3.4.1 Потребление ресурсов 317
3.4.2 Выбросы в атмосферу 318
3.4.3 Сточные воды 322
3.4.4 Отходы и побочные продукты 324
3.4.5 Вторичные энергетические ресурсы 325
3.5 Производство стали в кислородных конвертерах 327
3.5.1 Потребление ресурсов 328
3.5.2 Выбросы в атмосферу 328
3.5.3 Сточные воды 332
3.5.4 Отходы и побочные продукты 333
3.5.5 Вторичные энергетические ресурсы 336
3.6 Производство стали в электродуговых печах 337
3.6.1 Потребление ресурсов 339
3.6.2 Выбросы в атмосферу 340
3.6.3 Сточные воды 344
3.6.4 Отходы и побочные продукты 344
3.7 Производство стали в мартеновских печах 347
3.8 Производство ферросплавов 351
3.8.1 Потребление ресурсов 352
3.8.2 Выбросы в атмосферу 352
3.8.3 Сточные воды 360
3.8.4 Отходы и побочные продукты 360
3.8.5 Вторичные энергетические ресурсы 361
Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий 368
Раздел 5. Наилучшие доступные технологии 375
5.1 Наилучшие доступные технологии общего назначения 375
5.2 Наилучшие доступные технологии производства агломерата 377
5.3 Наилучшие доступные технологии производства кокса 381
5.4 Наилучшие доступные технологии производства чугуна 394
5.5 Наилучшие доступные технологии при производстве стали в конвертерах 400
5.6 Наилучшие доступные технологии производства стали в электродуговых печах 406
5.7 Наилучшие доступные технологии производства ферросплавов 409
Наилучшие доступные технологии производства оксидов ванадия и феррованадия 414

Раздел 6. Перспективные технологии в производстве чугуна, стали и ферросплавов 417
6.1 Перспективные технологии в агломерации 417
6.1.1 Применение технологии газовой агломерации 417
6.1.2 Применение активной извести 418
6.1.3 Подготовка агломерационной шихты к спеканию: дозирование, смешивание, окомкование 418
6.1.8 Использование тепла воздуха после охладителей агломерата 422
6.1.10 Применение электрофильтров 423
6.1.11 Применение тканевых (рукавных) фильтров 424
6.1.12 Применение мокрых скрубберов для очистки отходящих технологических газов в вариантах: 424
6.1.13 Снижение выбросов оксидов азота NO_x: 424
6.1.15 Технология окускования дисперсных материалов методом брикетирования (жесткая вакуумная экструзия) 425
6.2 Перспективные технологии при производстве кокса 427
6.2.1 Технология разгрузки угля на вагоноопрокидывателе с эффективной аспирацией места падения угля в приемный бункер 427
6.2.2 Технология частичного брикетирования шихты 428
6.2.3 Технология индивидуального регулирования давления в коксовых печах 428
6.2.4 Технология ступенчатого охлаждения кокса 430
6.2.5 Технология выдачи и косвенного тушения кокса Kress / KIDC 432
6.2.6 Технология улавливания и очистки выбросов при обработке дверей печных камер 433
6.2.7 Технология утилизации газов холодных свечей УСТК путем передачи их в газопровод доменного газа 433
6.2.8 Технология коксования без улавливания химических продуктов 434
6.2.9 Технологический процесс сжигания части сточных вод 435
6.2.10 Совместная утилизация твердых и жидких отходов 436
6.3 Перспективные технологии производства чугуна 437
6.3.1 Технология доменной плавки на подготовленном сырье, комбинированном дутье и повышенным расходом ПУТ 437
6.3.2 Доменная плавка с высоким расходом кислорода и природного газа («кислородная плавка») 437
6.3.6 Воздухонагреватель конструкции Калугина (ВНК) с подогревом воздуха горения 439
6.3.8 Технология доменной плавки с вдуванием горячих восстановительных газов 441
6.3.9 Политопливный газогенератор 442
6.3.10 Газоочистка доменного газа сухого типа 443
6.3.11 Применение шлаковозов миксерного типа объёмом 36 $м^3$ 443

6.3.12 Применение на доменных печах АСУ-ТП, повышающих эффективность доменной плавки путём непрерывного автоматического контроля состояния печи и измерения технологических параметров с их анализом и рекомендациями по оптимизации и прогнозированию теплового состояния печи 444
6.3.13 Применение автоматизированной системы модели управления аглококсодоменным производством, основанной на совместном применении методов интеллектуального анализа данных 444
6.4 Перспективные технологии производства стали в конвертерах 446
6.4.1 Применение устройства плазменного подогрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ 446
6.4.2 Технология переработки железосодержащих материалов в жидкой шлаковой ванне без предварительной подготовки (окускования) шихтовых компонентов (процесс РОМЕЛТ) 446
6.4.3 Новая (контактная оптиковолоконная) система контроля температуры жидкой стали (в конвертере и на установках «ковш-печь») 446
6.4.4 Автоматизированная система контроля качества поверхности и структуры на МНЛЗ 447
6.4.5 Технологический комплекс стабилизации жидких сталеплавильных шлаков и их последующей переработки 447
6.4.6 Система утилизации конвертерного газа 448
6.4.7 Утилизация тепла горячих слябов 450
6.5 Перспективные технологии производства стали в электродуговых печах 451
6.5.1 Повышение мощности печных трансформаторов 451
6.5.2 Печи нового поколения концепции ULTIMATE 451
6.5.3 Использование проектных решений электродуговой печи Quantum 452
6.5.4 Технологии повышения использования химической энергии 453
6.5.5 Технологии донной продувки металла газами через пористые пробки 453
6.5.6 Технологии нагрева лома 453
6.5.7 Расширение технологических возможностей внепечной обработки 454
6.5.8 Технологии, включенные в п.п.6.4.1, 6.4.3, 6.4.4, 6.4.5, 6.4.7 454
6.5.9 Технологии утилизации тепла сталеплавильных шлаков 454
(варианты) 454
6.5.10 Технологии использования АСУ ТП «Обработка плавки на установке "ковш-печь"» 454
6.5.11 Роботизация процессов отбора проб, замера температуры и окисленности, оценки состояния футеровки ДСП. 455

6.5.12 Роботизация обслуживания эркерного канала ДСП 455
6.5.13 Автоматизированное присоединение аргона к стальковшу на всех этапах обработки 455
6.5.14 Автоматизация процесса выпуска стали из ДСП с использованием датчиков наклона печи, «машинного зрения» для отсечки шлака и измерения уровня металла в ковше, весов сталевоза с целью оптимизации наливов сталеразливочных ковшей и сокращения длительности плавки 455
6.6 Перспективные технологии производства ферросплавов 455
6.6.1 Применение предварительного подогрева шихты, загружаемой в руднотермическую печь, отходящими газами 455
6.6.2 Использование тепла печных газов для производства тепловой и электроэнергии 457
6.6.3 Применение постоянного электрического тока для выплавки ферросплавов 458
6.6.4 Снижение выхода мелочи при дроблении ферросилиция 459
6.6.5 Перспективные технологии производства оксидов ванадия и феррованадия 460
Заключительные положения и рекомендации 462
Приложение А (обязательное) Перечень маркерных веществ и технологических показателей 464
Приложение Б (обязательное) Наилучшие доступные технологии производства чугуна, стали и ферросплавов 472
Приложение В (обязательное) Ресурсная и энергетическая эффективность 477
Приложение Г (справочное) Перечень оборудования для реализации наилучших доступных 493
Приложение Д (обязательное) Индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов 532
Приложение Е (обязательное) Заключение по наилучшим доступным технологиям «Производство чугуна, стали и ферросплавов» 578
Библиография 599

Введение

Наилучшая доступная технология – технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения.

Наилучшая доступная технология определяется в информационно-техническом справочнике и является инструментом технологического нормирования, применяемого к субъектам хозяйствования, отнесенным к 1 категории объектов негативного воздействия.

Настоящий информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство чугуна, стали и ферросплавов» (далее – справочник НДТ) представляет собой документ национальной системы стандартизации Российской Федерации, разработанный в результате анализа технологических, технических и управленческих решений, применяемых для обеспечения высокой ресурсоэффективности и экологической результативности производства чугуна, стали и ферросплавов.

Справочник НДТ разработан взамен ИТС 26–2021 «Производство чугуна, стали и ферросплавов» в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 10 июня 2022 г. № 1537-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [1].

Структура настоящего справочника НДТ соответствует ГОСТ Р 113.00.03–2019 [2], формат описания технологий – ГОСТ Р 113.00.04–2020 [3], термины и определения приведены в соответствии с ГОСТ Р 56828.15–2016 [4].

Краткое содержание справочника

Введение. Во введении приводится краткое содержание справочника НДТ.

Предисловие. Указана цель разработки справочника НДТ, его статус, законодательный контекст, краткое описание процедуры создания в соответствии с установленным порядком, а также взаимосвязь с аналогичными международными документами.

Область применения. Описаны основные виды деятельности, на которые распространяется действие справочника НДТ и приведен перечень справочников НДТ, с которыми в той или иной степени связан настоящий справочник НДТ.

В **разделе 1** представлен обзор состояния и дана оценка уровня развития в Российской Федерации производства чугуна, стали и ферросплавов. Охарактеризована структура отрасли. Описаны крупные интегрированные холдинги вертикального и горизонтального типа. Приведена оценка сырьевой базы черной металлургии в Российской Федерации. Описаны основные тенденции и прогнозные параметры развития отрасли.

В **разделе 2** представлены сведения о технологических процессах, получивших распространение в производстве:

- агломерата из железных руд;
- кокса и полукокса, бурого угля (лигнита) или торфа, угля ретортного;

- чугуна зеркального и передельного в чушках, болванках и прочих первичных формах;

- ферросплавов, включая: ферросилиций, силикокальций, силикомарганец, электроферромарганец, ферровольфрам, ферромолибден, феррованадий, пятиокись ванадия, ферониобий, ферротитан, ферробор, силикоцирконий, феррофосфор, ферроманганофосфор, феррохром, ферросиликохром, ферросиликомарганец, ферромарганец, ферросплавы и лигатуры;

- стали нелегированной в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикатов из нелегированной стали;

- стали нержавеющей в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикатов из нержавеющей стали;

- стали легированной прочей в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикатов из прочей легированной стали.

Описаны системы менеджмента, а также приведены доступные сведения об экономических характеристиках программ модернизации производства, направленных на достижение технологических показателей, соответствующих показателям наилучших доступных технологий, а также программ в области охраны окружающей среды, имеющих отношение к переходу предприятий на принципы наилучших доступных технологий.

В **разделе 3** дана оценка уровней эмиссий в окружающую среду, а также при доступности соответствующей информации показателей потребления природных ресурсов, характерных для производства чугуна, стали и ферросплавов. При подготовке раздела использованы результаты анкетирования российских предприятий и приняты во внимание сведения, приведенные в справочном документе Европейского Союза (European Commission. Best AvailableTechniques Reference Document for Iron and Steel Production, 2012) и Заключении по наилучшим доступным технологиям для производства чугуна и стали (BAT Conclusions for Iron and Steel Production, Offical Jornal of the European Union, L70, v. 55, March 2012).

В **разделе 4** описаны особенности подходов, использованных при разработке данного справочника НДТ в части идентификации НДТ, в целом соответствующих Правилам определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458) и Методическим рекомендациям по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии (утверждены приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665).

В **разделе 5** кратко описаны наилучшие доступные технологии производства чугуна, стали и ферросплавов, в том числе инструменты систем экологического и энергетического менеджмента; технологические и технические решения, направленные на повышение экологической результативности и ресурсоэффективности производства чугуна, стали и ферросправов.

В **разделе 6** представлены краткие сведения о новых технологических, технических и управленческих подходах, направленных на повышение экологической результативности и ресурсоэффективности производства чугуна, стали и ферросплавов, которые находятся в стадии разработки или имеют

ограниченное применение.

Заключительные положения и рекомендации. В разделе приведены сведения о членах технической рабочей группы, принимавших участие в разработке настоящего справочника НДТ. Даны рекомендации предприятиям по применению справочника НДТ и развитию работ по систематизации сведений об экологической результативности и ресурсоэффективности производства, направлениях улучшения показателей НДТ.

Приложения. Приведены перечень маркерных загрязняющих веществ, перечень технологических показателей, перечень НДТ, сведения о ресурсной (в том числе энергетической) эффективности, индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов, а также «Заключение по наилучшим доступным технологиям» для рассматриваемой отрасли промышленности.

«Заключение по наилучшим доступным технологиям» включает части ИТС НДТ, содержащие:

- область применения;
- описание НДТ, уровни эмиссий, соответствующие НДТ (технологические показатели), а также информацию, позволяющую оценить их применимость;
- методы производственного экологического контроля (прежде всего подходы к организации измерений, в том числе касающиеся систем автоматического контроля).

Заключение по наилучшим доступным технологиям сформировано для использования заинтересованными лицами, в том числе промышленными предприятиями, при формировании заявок на комплексные экологические разрешения, а также надзорными органами при выдаче комплексных экологических разрешений и является кратким описанием основных положений ИТС НДТ, включая описание наилучших доступных технологий, информации, позволяющей оценить их применимость, уровни эмиссий и потребления ресурсов, методы производственного экологического контроля.

Библиография. В библиографии приведен перечень основных источников информации, использованных при разработке справочника НДТ.

Предисловие

Цели, основные принципы и порядок разработки информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям установлены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 [5]. Перечень областей применения наилучших доступных технологий определен распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р [6].

1 Статус документа

Настоящий информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (далее – справочник НДТ) является документом по стандартизации.

2 Информация о разработчиках

Справочник НДТ разработан технической рабочей группой «Производство чугуна, стали и ферросплавов» (ТРГ 26), состав которой был утвержден приказом Минпромторга России от 05 апреля 2021 г. № 1191 и актуализирован экспертной группой 26 «Производство чугуна, стали и ферросплавов», состав которой утвержден приказом Аналитического центра устойчивого развития промышленности Минпромторга России от 21 февраля 2022 г. № 106 АЦ.

Перечень организаций, оказавших поддержку разработке справочника НДТ, приведен в разделе «Заключительные положения и рекомендации».

3 Краткая характеристика

Справочник НДТ содержит описание применяемых при производстве чугуна, стали и ферросплавов технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, повысить энергоэффективность, обеспечить ресурсосбережение на предприятиях. Из описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов (в том числе управления) определены решения, являющиеся наилучшими доступными технологиями (НДТ). Для ряда НДТ в справочнике НДТ установлены соответствующие технологические показатели НДТ.

4 Взаимосвязь с международными и региональными аналогами

Справочник НДТ разработан на основе информации справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Производство чугуна, стали и ферросплавов» (European Commission. Best Available Techniques Reference Document for Iron and Steel Production, 2012) с учетом климатических, экономических и социальных особенностей производства чугуна, стали и ферросплавов в Российской Федерации.

Настоящий справочник НДТ подготовлен в соответствии с Федеральным законом № 219-ФЗ (статья 28.1, пп. 6,7) по результатам анализа металлургической отрасли в Российской Федерации методом анкетирования, дополнительных запросов и экспертных оценок.

5 Сбор данных

Информация о технологических процессах, оборудовании, технических способах, методах, применяемых при производстве чугуна, стали и ферросплавов в Российской Федерации, была собрана в процессе разработки справочника НДТ в соответствии с Порядком сбора и обработки данных, необходимых для разработки и актуализации информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям и анализа приоритетных проблем отрасли, утвержденным приказом Минпромторга России от 18 декабря 2019 г. № 4841.

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми (актуализируемыми) в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 10 июня 2022 г. № 1537-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [1], приведена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник НДТ утвержден приказом Росстандарта от 16 декабря 2022 г. №3196.

Справочник НДТ введен в действие с 01 января 2023 г., официально опубликован в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru).

ИТС 26–2022

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Производство чугуна, стали и ферросплавов

Production of iron, steel and ferroalloys

Дата введения – 2023-01-01

Область применения

Настоящий справочник НДТ распространяется на следующие основные виды деятельности, определяемые в соответствии с общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД 2) ОК 029–2014 (КДЕС Ред. 2) и в соответствии с общероссийским классификатором по видам продукции (ОКПД 2) ОК 034–2014 (КПЕС 2008) (приняты и введены в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 января 2014 г. № 14 ст):

- агломерация железных руд;
- производство кокса и полукокса, бурого угля (лигнита) или торфа, угля ретортного;
- производство чугуна зеркального и передельного в чушках, болванках и прочих первичных формах;
- производство ферросплавов, включая ферросилиций, силикокальций, силикомарганец, электроферромарганец, ферровольфрам, ферромолибден, феррованадий, пятиокись ванадия, ферониобий, ферротитан, ферробор, силикоцирконий, феррофосфор, ферроманганофосфор, феррохром, ферросиликохром, ферросиликомарганец, ферромарганец, ферросплавы и лигатуры;
- производство стали нелегированной в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикатов из нелегированной стали;
- производство стали нержавеющей в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикатов из нержавеющей стали;
- производство стали легированной прочей в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикатов из прочей легированной стали.

Настоящий справочник НДТ также распространяется на процессы, связанные с основными перечисленными выше видами деятельности, которые могут оказать влияние на объемы и состав эмиссий и/или масштабы загрязнения окружающей среды:

- процессы, использующие методы предотвращения и сокращения эмиссий загрязняющих веществ (выбросы в атмосферу и сбросы в водные объекты или канализацию), утилизации отходов;
- деятельность по плавке и/или рафинированию черных металлов из руды, чушек или лома с использованием методов электрометаллургии и прочих металлургических процессов;
- производство сплавов металлов, включая сплавы со специальными свойствами (например, сверхпрочные сплавы), путем добавления в исходный чистый металл прочих химических элементов.

Настоящий справочник НДТ не распространяется на:

- производство изделий дальнейшего передела черных металлов;

- генерацию электрической и тепловой энергии;
- водоотведение и очистку хозяйственно-бытовых стоков;
- деятельность, которая касается исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Дополнительные виды деятельности, осуществляемые в рамках горно-металлургического производства, и соответствующие им справочники НДТ, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Дополнительные виды деятельности

Виддеятельности	СоответствующийсправочникНДТ
Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух	ИТС 22–2016 «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»
Очистка сточных вод	ИТС 8–2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» ИТС 10–2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов»
Хранение и обработка материалов	ИТС 46–2019 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)»
Обращение с отходами	ИТС 9–2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами» ИТС 15–2021 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)» ИТС 17–2021 «Размещение отходов производства и потребления»
Добыча и обогащение железных руд	ИТС 25–2021 «Добыча и обогащение железных руд»
Производство изделий дальнейшего передела черных металлов	ИТС 27–2021 «Производство изделий дальнейшего передела черных металлов»
Промышленные системы охлаждения	ИТС 20–2016 «Промышленные системы охлаждения»
Производство электрической и тепловой энергии	ИТС 38–2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии»
Повышение энергетической эффективности	ИТС 48–2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности»
Производственный экологический контроль	ИТС 22.1–2021 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения»

Необходимо подчеркнуть, что межотраслевые («горизонтальные») справочники НДТ носят методический характер, не содержат технологических показателей и не могут

быть использованы для определения технологических нормативов для видов деятельности, на которые распространяется действие настоящего справочника НДТ.

Вместе с тем изложенные в межотраслевых справочниках НДТ принципы и подходы приняты во внимание при подготовке настоящего отраслевого справочника НДТ (в частности, при анализе применимости инструментов систем энергетического менеджмента, обсуждении принципов выбора существенных (маркерных) веществ для установления технологических показателей и др.).

Сфера распространения настоящего справочника НДТ приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сфера распространения ИТС НДТ

ОКПД 2	Наименование продукции по ОКПД 2	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
		Обогащение и агломерация железных руд	07.10.3
07.10.10.140	Агломерат железорудный		
		Агломерация угля, антрацита и бурого угля (лигнита), производство термоуглей	19.3
19.10.10	Кокс и полукокс из каменного угля, бурого угля (лигнита) или торфа, уголь ретортный		
		Производство металлургическое	24
24.10.11	Чугун зеркальный и передельный в чушках, болванках или в прочих первичных формах	Производство чугуна	24.10.11
24.10.12	Ферросплавы	Производство ферросплавов	24.10.12
24.10.12.110	Ферросилиций		
24.10.12.120	Силикокальций		
24.10.12.130	Силикомарганец		
24.10.12.140	Электроферромарганец		
24.10.12.150	Ферровольфрам		
24.10.12.160	Ферромолибден		
24.10.12.170	Феррованадий		
24.10.12.180	Пятиокись ванадия		
24.10.12.210	Ферониобий		
24.10.12.220	Ферротитан		
24.10.12.230	Ферробор		
24.10.12.240	Силикоцирконий		
24.10.12.250	Феррофосфор электротермический		
24.10.12.260	Ферроманганофосфор		

Окончание таблицы 2

ОКПД 2	Наименование продукции по ОКПД 2	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
24.10.12.270	Феррохром		
24.10.12.280	Ферросиликохром		
24.10.12.310	Ферросиликомарганец		
24.10.12.320	Ферромарганец		
24.10.12.390	Ферросплавы и лигатуры прочие		
24.45.12	Лигатура никельниобиевая		
24.45.30	Хром металлический металлотермический	Производство хрома	24.45.7
		Производство стали в слитках	24.10.2
24.10.21	Сталь нелегированная в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нелегированной стали		
24.10.22	Сталь нержавеющая в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нержавеющей стали		
24.10.23	Сталь легированная прочая в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из прочей легированной стали		

Раздел 1. Общая информация о состоянии и развитии технологий производства чугуна, стали и ферросплавов

1.1 Структура отрасли, количество предприятий отрасли и их географическое расположение

Российская черная металлургия развивается в общемировой системе хозяйственных связей, и ее состояние в значительной степени зависит от тенденций развития мировой металлургии в целом, что позволяет рассматривать Россию как одного из глобальных игроков на мировом рынке металлопродукции.

Отрасль «черная металлургия» состоит из комплекса предприятий по добыче и обогащению руд черных металлов, нерудных материалов, по производству чугуна, стали, проката, стальных труб, метизов, ферросплавов, огнеупоров, кокса, по заготовке и переработке лома и отходов, комплекса предприятий и производств вспомогательного назначения, а также научно-исследовательских и проектных организаций.

В структуру черной металлургии России входят более 1,5 тыс. предприятий, из которых более 70 являются градообразующими. Предприятия металлургии располагаются практически во всех федеральных округах, в 25 краях и областях. Регионы и наименования предприятий черной металлургии представлены в таблицах 1.1, 1.2 и 1.3 [8].

Таблица 1.1 – Регионы и наименования предприятий черной металлургии – производителей чугуна

Регионы	Наименованияпредприятий
1. Центральный федеральный округ	
Липецкая область	ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ПАО «НЛМК»)
Тульская область	ПАО «Тулачермет»
	ПАО «Косогорский металлургический завод»
2. Северо-Западный федеральный округ	
	ПАО «Северсталь»
3. Приволжский федеральный округ	
	АО «Уральская Сталь»
4. Уральский федеральный округ	
	ПАО «Надеждинский металлургический завод»
	АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ НТМК»)
Челябинская область	
	ПАО «Челябинский металлургический комбинат» (ПАО «ЧМК»)
	ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»)
5. Сибирский федеральный округ	
Кемеровская область	АО «ЕВРАЗ Объединённый Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК»)

Таблица 1.2 – Регионы и наименования предприятий черной металлургии – производителей стали

Регионы	Наименования предприятий
1. Центральный федеральный округ	
Белгородская область	АО «Оскольский электрометаллургический комбинат имени Алексея Алексеевича Угарова» (АО «ОЭМК им. А.А. Угарова»)
Брянская область	ООО «ПК "Бежицкий сталелитейный завод"»
Калужская область	ООО «НЛМК-Калуга»
Липецкая область	ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ПАО «НЛМК»)
Московская область	АО «МЗ “Электросталь”»
Смоленская область	ООО «Ярцевский металлургический завод» (ООО «ЯРМЗ»)
Тульская область	ПАО «Тулачермет»*
2. Северо-Западный федеральный округ	
Вологодская область	ПАО «Северсталь»
Ленинградская область	АО «Металлургический завод "Петросталь"»
г. Санкт-Петербург	ООО «ОМЗ – Спецсталь»
3. Южный федеральный округ	
Краснодарский край	ООО «Абинский ЭлектроМеталлургический завод» (ООО «АЭМЗ»)
	ООО «Новоросметалл»
Волгоградская область	АО «Волга-ФЭСТ»
	АО «ВМК “Красный Октябрь”»
	АО «Волжский трубный завод»
Ростовская область	АО «Таганрогский металлургический завод» (АО «ТАГМЕТ»)
	ООО «Ростовский электрометаллургический заводъ» (ООО «РЭМЗ»)
4. Северо-Кавказский федеральный округ	ООО «СтавСталь»
5. Приволжский федеральный округ	
Республика Татарстан	АО «Камский металлургический комбинат “ТЭМПО”»
Удмуртская Республика	ПАО «Ижсталь»
Пермский край	ООО «МЗ “Камасталь”»
	ООО «ММК-Лысьвенский металлургический завод» (ООО «ММК-ЛМЗ»)
	ОАО «Нытвенский металлургический завод» (ОАО «Нытва»)
Кировская область	АО «Омутнинский металлургический завод»
Нижегородская область	АО «Выксунский металлургический завод» (АО «ВМЗ»)
	ОАО «Кулебакский металлургический завод» (ОАО «КМЗ»)
Оренбургская область	АО «Уральская Сталь»
Саратовская область	АО «Сортовой завод Балаково»

Окончание таблицы 1.2

Регионы	Наименования предприятий
6. Уральский федеральный округ	
Свердловская область	АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ НТМК»)
	АО «Первоуральский новотрубный завод» (АО «ПНТЗ»)
	АО «Северский трубный завод»
	АО «Синарский трубный завод» (АО «СинТЗ»)
	АО «НЛМК-Урал»
	ПАО «Надеждинский металлургический завод»
	ООО «Верхнесалдинский металлургический завод» (ООО «ВСМЗ»)
	ООО «Староуткинский металлургический завод» (ООО «СтУМЗ»)
	ООО «Ревдинский метизно-металлургический союз»
Тюменская область	ООО «Завод УГМК ЭлектростальТюмени»
Челябинская область	ПАО «Челябинский металлургический комбинат» (ПАО «ЧМК»)
	ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»)
	АО «Златоустовский электрометаллургический завод» (АО «ЗЭМЗ»)
	ПАО «Ашинский металлургический завод»
7. Сибирский федеральный округ	
Кемеровская область	АО «ЕВРАЗ Объединённый Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК»)
	ОАО «Гурьевский металлургический завод» (ОАО «ГМЗ»)
Новосибирская область	ОАО «Новосибирский металлургический завод имени Кузьмина» (ОАО «НМЗ им. Кузьмина»)
8. Дальневосточный федеральный округ	
Хабаровский край	ОАО «Амурметалл»
* В настоящее время на предприятии строится конверторный цех.	

Таблица 1.3 – Регионы и наименования предприятий черной металлургии – производителей готового проката

Регионы	Наименования предприятий
1. Центральный федеральный округ	
Белгородская область	АО «Оскольский электрометаллургический комбинат имени Алексея Алексеевича Угарова» (АО «ОЭМК им. А.А. Угарова»)
Калужская область	ООО «НЛМК-Калуга»
Московская область	АО «Металлургический завод “Электросталь”»
Тульская область	ООО «Ревякинский металлургический завод» (ООО «РМК»)

Продолжение таблицы 1.3

Регионы	Наименования предприятий
2. Северо-Западный федеральный округ	
Вологодская область	ПАО «Северсталь»
Ленинградская область	АО «Металлургический завод “Петросталь”»
3. Южный федеральный округ	
Краснодарский край	ООО «Абинский ЭлектроМеталлургический завод» (ООО «АЭМЗ»)
	ООО «Новоросметалл»
Волгоградская область	АО «Волга-ФЭСТ»
	АО «ВМК “Красный Октябрь”»
	АО «Волжский трубный завод»
Ростовская область	АО «Таганрогский металлургический завод» (АО «ТАГМЕТ»)
	ООО «Ростовский электрометаллургический заводъ» (ООО «РЭМЗ»)
4. Северо-Кавказский федеральный округ	
Ставропольский край	ООО «Ставсталь»
5. Приволжский федеральный округ	
Республика Башкортостан	АО «Белорецкий металлургический комбинат»
Республика Татарстан	АО «Камский металлургический комбинат “ТЭМПО”»
Удмуртская Республика	ПАО «Ижсталь»
Пермский край	ООО «МЗ “Камасталь”»
	ООО «ММК-Лысьвенский металлургический завод» (ООО «ММК-ЛМЗ»)
	ОАО «Нытвенский металлургический завод» (ОАО «Нытва»)
Кировская область	АО «Омутнинский металлургический завод»
Нижегородская область	АО «Выксунский металлургический завод» (АО «ВМЗ»)
	ОАО «Кулебакский металлургический завод» (ОАО «КМЗ»)
Оренбургская область	АО «Уральская Сталь»
Саратовская область	АО «Сортовой завод Балаково»
6. Уральский федеральный округ	
Свердловская область	АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ НТМК»)
	АО «Первоуральский новотрубный завод» (АО «ПНТЗ»)
	АО «Северский трубный завод»
	ООО «ВИЗ-Сталь»
	АО «НЛМК-Урал»
	ООО «НЛМК-Метиз»
	ПАО «Надеждинский металлургический завод»
	ООО «Верхнесалдинский металлургический завод» (ООО «ВСМЗ»)
	ООО «Староуткинский металлургический завод» (ООО «СтУМЗ»)
	ООО «Ревдинский метизно-металлургический союз»

Окончание таблицы 1.3

Регионы	Наименования предприятий
Тюменская область	ООО «Завод УГМК “ЭлектростальТюмени”»
Челябинская область	ПАО «Челябинский металлургический комбинат» (ПАО «ЧМК»)
	ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»)
	ОАО «ММК-Метиз»
	АО «Златоустовский электрометаллургический завод» (АО «ЗЭМЗ»)
	ПАО «Ашинский металлургический завод»
7. Сибирский федеральный округ	
Кемеровская область	АО «ЕВРАЗ Объединённый Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК»)
	ОАО «Гурьевский металлургический завод» (ОАО «ГМЗ»)
Новосибирская область	ОАО «Новосибирский металлургический завод имени Кузьмина» (ОАО «НМЗ им. Кузьмина»)
8. Дальневосточный федеральный округ	
Хабаровский край	ОАО «Амурметалл»

В черной металлургии сформировалось десять крупных интегрированных холдингов вертикального и горизонтального типа, объединяющих предприятия по всей технологической цепочке производства от добычи угля и руды, и их переработки до инфраструктурных подразделений, включая ломопереработку, энергетику, порты и железнодорожный транспорт. Крупные холдинги черной металлургии России приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Крупные холдинги черной металлургии России

Вертикально интегрированные холдинги	Горизонтально интегрированные холдинги
Производят металлопродукцию, начиная с добычи железорудного сырья	Производят металлопродукцию, в основном трубы стальные, начиная с производства стали
ООО «Евраз Холдинг»	ПАО «Трубная металлургическая компания» (ПАО «ТМК»)
ПАО «Северсталь»	АО «Объединенная металлургическая компания» (АО «ОМК»)
ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ПАО «НЛМК»)	ПАО «Челябинский трубопрокатный завод» (ПАО «ЧТПЗ»)
ООО УК «Металлоинвест»	
ПАО «Мечел»	
ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»)	
ООО УК «Промышленно-металлургический холдинг» («ПМХ»)*	
* Холдинг осуществляет добычу и переработку железной руды, добычу угля и производство кокса, производство чугуна и порошковых материалов; в настоящее время строится сталеплавильный цех.	

Такая интеграция позволяет уменьшить риски как на внутреннем, так и на внешнем рынках, оптимизировать инвестиционную политику и обеспечивать собственную сырьевую безопасность. Холдинги активно развивают собственные сервисные службы по металлообработке и торговле готовой металлопродукцией в различных регионах страны и мира.

Предприятия холдингов производят 98 % чугуна, более 90 % стали и проката и 79 % труб.

1.2 Основная и побочная продукция, выпускаемая отраслью

Главная цель металлургического предприятия – это выпуск металлопродукции, удовлетворяющей своими физическими, химическими, механическими и иными свойствами требованиям, которые установлены действующими нормативными документами по стандартизации.

Продукция черной металлургии подразделяется на основную и побочную.

Основная продукция – это та, получение которой является главной целью производства, побочная – это другие продукты, которые образуются одновременно с основной продукцией.

Таким образом, основной продукцией является:

- в доменном производстве – чугун;
- в сталеплавильном производстве – сталь;
- в прокатном производстве – прокат.

В зависимости от назначения выплавляют чугуны различных видов:

- передельные для сталеплавильного производства, в том числе фосфористые, высококачественные;
- для литейного производства (содержание углерода в пределах 3,4–4,5 %);
- специального назначения (чугуны с шаровидным графитом);
- зеркальные чугуны (содержание марганца от 10 % до 25 %).

Химический состав передельного чугуна для сталеплавильного и литейного производства приведен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Химический состав передельного чугуна для сталеплавильного и литейного производства (передельный чугун изготовляют с массовой долей углерода от 0,4 % до 4,5 %)

Марка чугуна	Массовая доля, %												
	кремния	марганца				фосфора, не более			серы, не более				
		группы				класса			категории				
		1	2	3	4	А	Б	В	1	2	3	4	5
П1	Св. 0,5 до 0,9 включ.	До 0,5 включ.	Св. 0,5 до 1,0 включ.	Св. 1,0 до 1,5 включ.	–	0,1	0,2	0,3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
П2	До 0,5 включ.	До 0,5 включ.	Св. 0,5 до 1,0 включ.	Св. 1,0 до 1,5 включ.	–	0,1	0,2	0,3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
ПЛ1	Св. 0,9 до 1,2 включ.	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 0,5 включ.	Св. 0,5 до 0,9 включ.	Св. 0,9 до 1,5 включ.	0,08	0,12	0,3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
ПЛ2	Св. 0,5 до 0,9 включ.	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 0,5 включ.	Св. 0,5 до 0,9 включ.	Св. 0,9 до 1,5 включ.	0,08	0,12	0,3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

Побочным продуктом является:

- в доменном производстве – доменный газ, шлак, шламы, пыль колошниковая и от установок аспирации;
- в сталеплавильном производстве – шлак, шламы, пыль от установок аспирации, лом футеровок, отсев известняка и доломита, отсев извести;
- в прокатном производстве – обрезь металлопродукции, окалина, шламы, пыль от установок аспирации, лом футеровок.

Большинство образующихся побочных продуктов может возвращаться в технологический процесс через агломерационное, доменное и сталеплавильное производства, при этом доля утилизации вторичных ресурсов может достигать 95–98 %, что позволяет обеспечить экономию первородного сырья и топлива и улучшить экологическую обстановку вокруг металлургических предприятий.

Часть побочной продукции имеет определенные свойства и поставляется на рынок по нормативным документам по стандартизации.

Учет продукции осуществляется в стоимостном, а также натуральном и условно-натуральном выражении.

1.3 Использование производственных мощностей предприятий отрасли

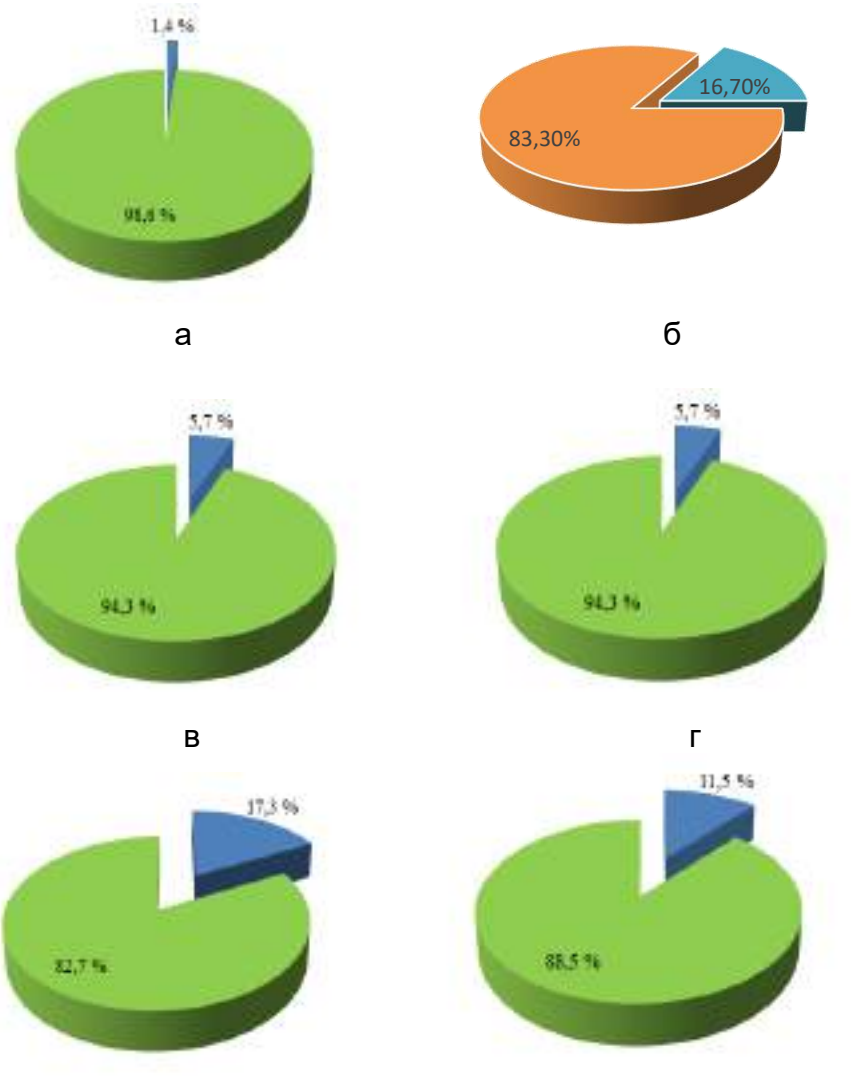
В 2020 г. использование мощностей по производству готового проката составило 81,0 %, по производству стали – 85,8 %, по производству чугуна – 83 %. Данная загрузка производственных мощностей сопоставима с показателями основных зарубежных металлургических компаний-производителей черных металлов.

1.4 Основные экономические показатели отрасли, доля в ВВП и промышленном производстве, объемы экспорта / импорта

В настоящее время черная металлургия, являясь одной из базовых отраслей, вносит существенный вклад в экономику России.

По материалам Росстата в 2020 г. доля черной металлургии составляла: в ВВП страны – около 1,4 %, в промышленном производстве – 5,7 %, в валютных поступлениях в экономику России – 5,7 %. Как потребитель продукции и услуг субъектов естественных монополий черная металлургия использует 11,5 % электроэнергии, более 17,3 % природного газа в промышленном производстве России, ее доля в грузовых железнодорожных перевозках составляет 16,7 %.

Вклад черной металлургии в экономику России в 2020 г. показан на рисунке 1.1, (доли в %).



а б

в г

д е

а – в ВВП, б – в грузовых железнодорожных перевозках, в – в промышленном производстве, г – в валютных поступлениях в экономику России, д – в потреблении природного газа в промышленном производстве России, е – в потреблении электроэнергии в промышленном производстве России

Рисунок 1.1 – Вклад черной металлургии в экономику России в 2020 г., доли, %

Начиная с 2000 г., тенденции развития отечественной черной металлургии кардинально изменились: объем инвестиций в 2020 г. вырос почти в 13 раз по сравнению с 2000 г., общий объем инвестиций в отрасль за период 2000–2020 гг. составил около 2,96 трлн. руб. Динамика инвестиций в черную металлургию России представлена на рисунке 1.2.

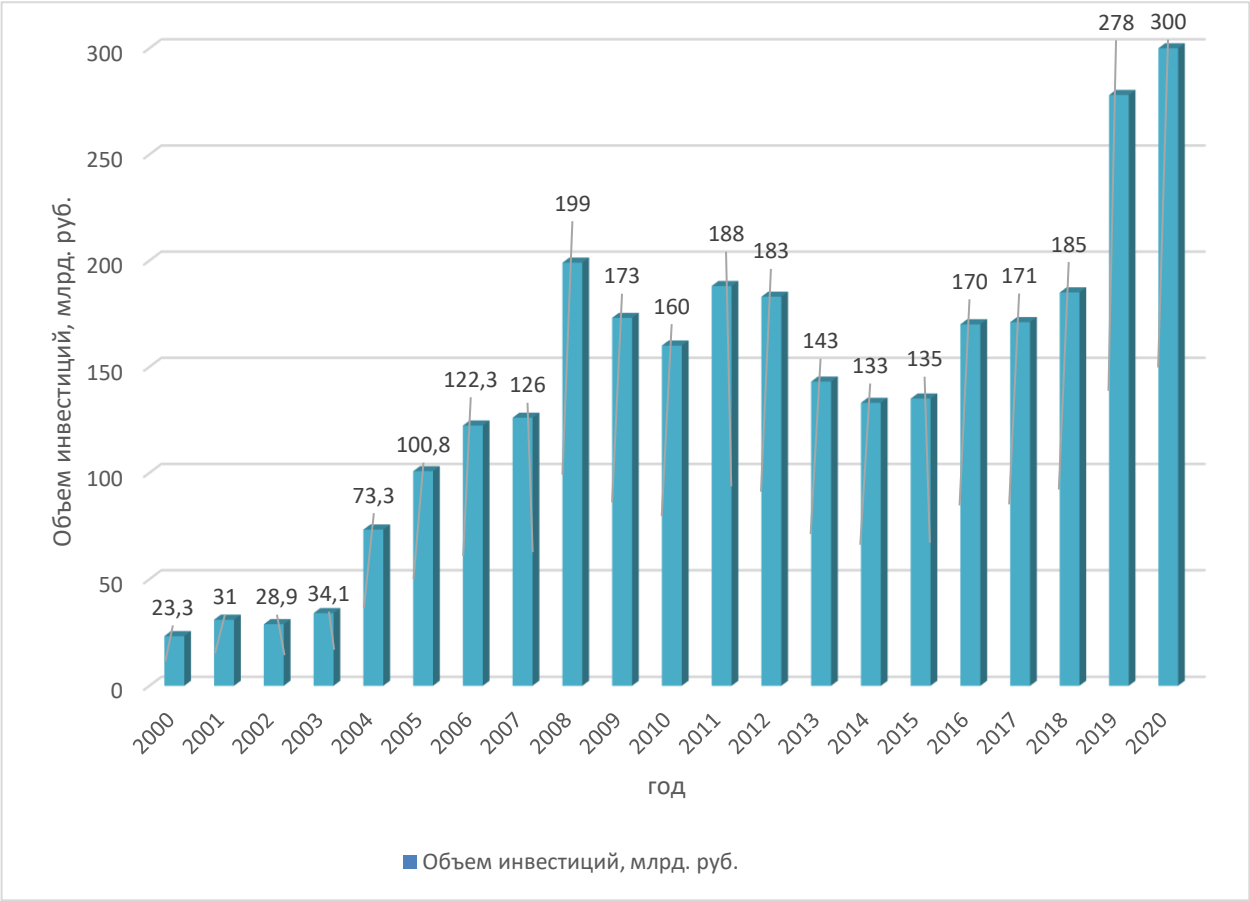


Рисунок 1.2 – Динамика инвестиций в черную металлургию России [10, 11]

Благодаря инвестициям, износ основных средств снизился с 53,5 % – в 2000 г. и до 42 % [11] – в настоящее время.

Россия занимает 4-е место в мире по производству стали (уступая Китаю, Японии, Индии), 2-е место – по производству стальных труб (уступая Китаю), 3-е место – по экспорту металлопродукции (уступая Китаю и Японии), 5-е место – по производству товарной железной руды (после Китая, Австралии, Бразилии и Индии).

1.5 Основные схемы производства стали. Объем выпуска металлургической продукции

1.5.1 Производство металлопродукции на интегрированном предприятии

Общая схема производства продукции на интегрированном металлургическом предприятии (или предприятии полного цикла) включает следующие переделы:

- агломерационное производство;
- коксохимическое производство;
- доменное производство;
- сталеплавильное производство;
- прокатное производство.

Некоторые интегрированные предприятия имеют также мощности по производству ферросплавов, извести металлургической, иное.

Агломерационное и коксохимическое производства являются производителями основных компонентов для доменного производства – агломерата и кокса.

Доменное производство специализируется на выпуске чугуна, который является не только полуфабрикатом для сталеплавильного производства, но и товарной продукцией первого передела.

Сталь, получаемая в сталеплавильном производстве при продувке жидкого чугуна и металлолома технически чистым кислородом, разливается в непрерывнолитые слябы и слитки, которые в дальнейшем используются для производства проката, а также являются товарной продукцией второго передела.

Прокатное производство представлено производством горячекатанного проката и холоднокатанного проката.

Схема производства металлопродукции на интегрированном предприятии представлена на рисунке 1.3.

1.5.2 Производство металлопродукции на мини-заводах

С середины 1980-х гг. в практику металлургического производства прочно вошло понятие мини-заводы, которые стали успешно конкурировать с заводами полного цикла.

Современное содержание понятия мини-завод включает в себя минимальные затраты на производство, минимальные эмиссии в окружающую среду, минимальные простои оборудования и агрегатов, минимальный производственный цикл при максимальной производительности. Обычно к этой категории относят заводы с объемом производства 0,1…2 млн т стали/год. Эти предприятия работают на металлическом ломе, поэтому производство проката начинается с подготовки лома и выплавки стали.

Мини-завод – это комплекс, включающий следующее оборудование: электродуговая печь, агрегаты внепечной обработки, машина непрерывной разливки стали и группа прокатных станов.

Технологическая схема производства мини-завода представлена на рисунке 1.4.

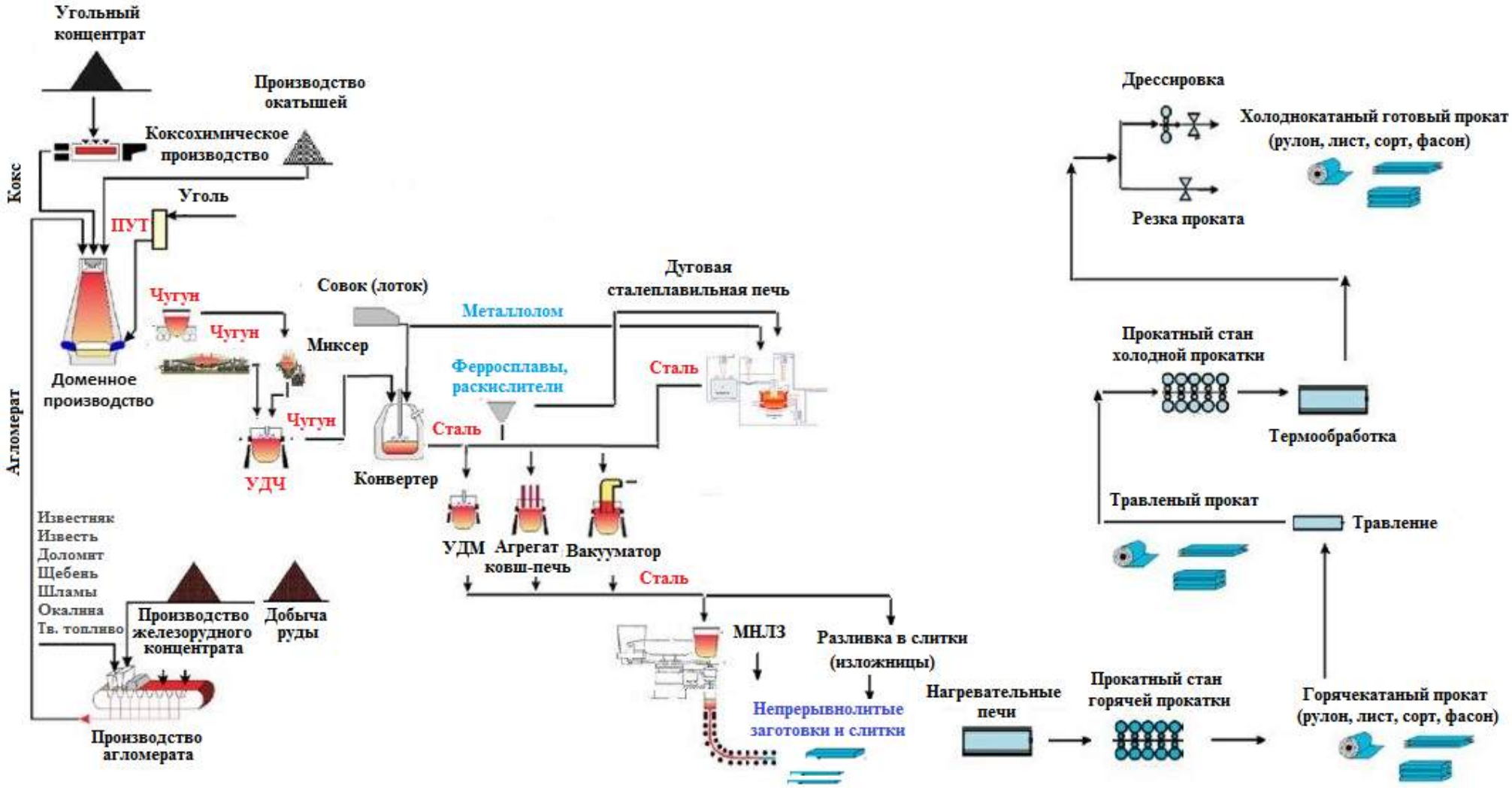


Рисунок 1.3 – Схема производства металлопродукции на интегрированном предприятии

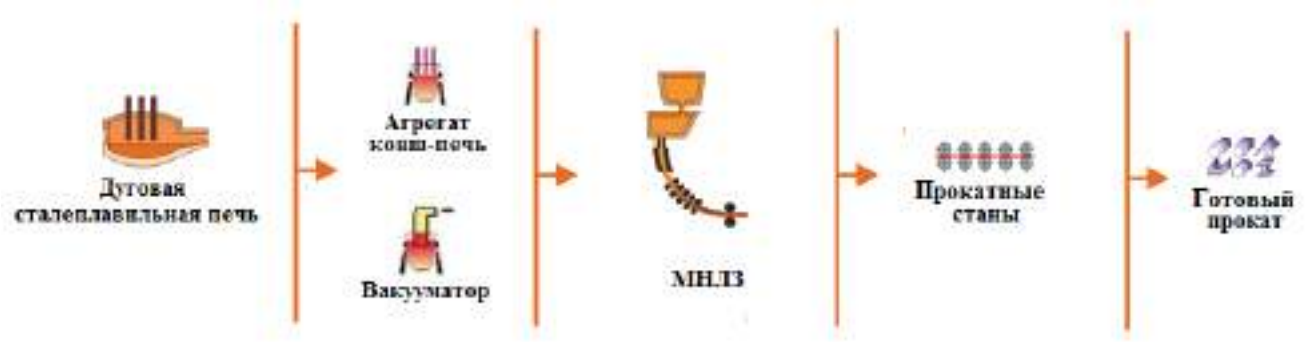


Рисунок 1.4 – Технологическая схема производства мини-завода [12]

1.5.3 Основные отраслевые показатели

Динамика производства продукции

Номенклатура продукции черной металлургии России включает около 4 тыс. горячекатаных сортовых профилей, 20 тыс. типоразмеров листа, 2 тыс. гнутых и фасонных профилей, 30 тыс. профилеразмеров труб и 50 тыс. типоразмеров метизов.

Вся эта продукция состоит более чем из 2500 марок стали и сплавов; производится около 14 млн маркопрофилеразмеров.

Динамика производства основных видов продукции черной металлургии в России представлена на рисунке 1.5.

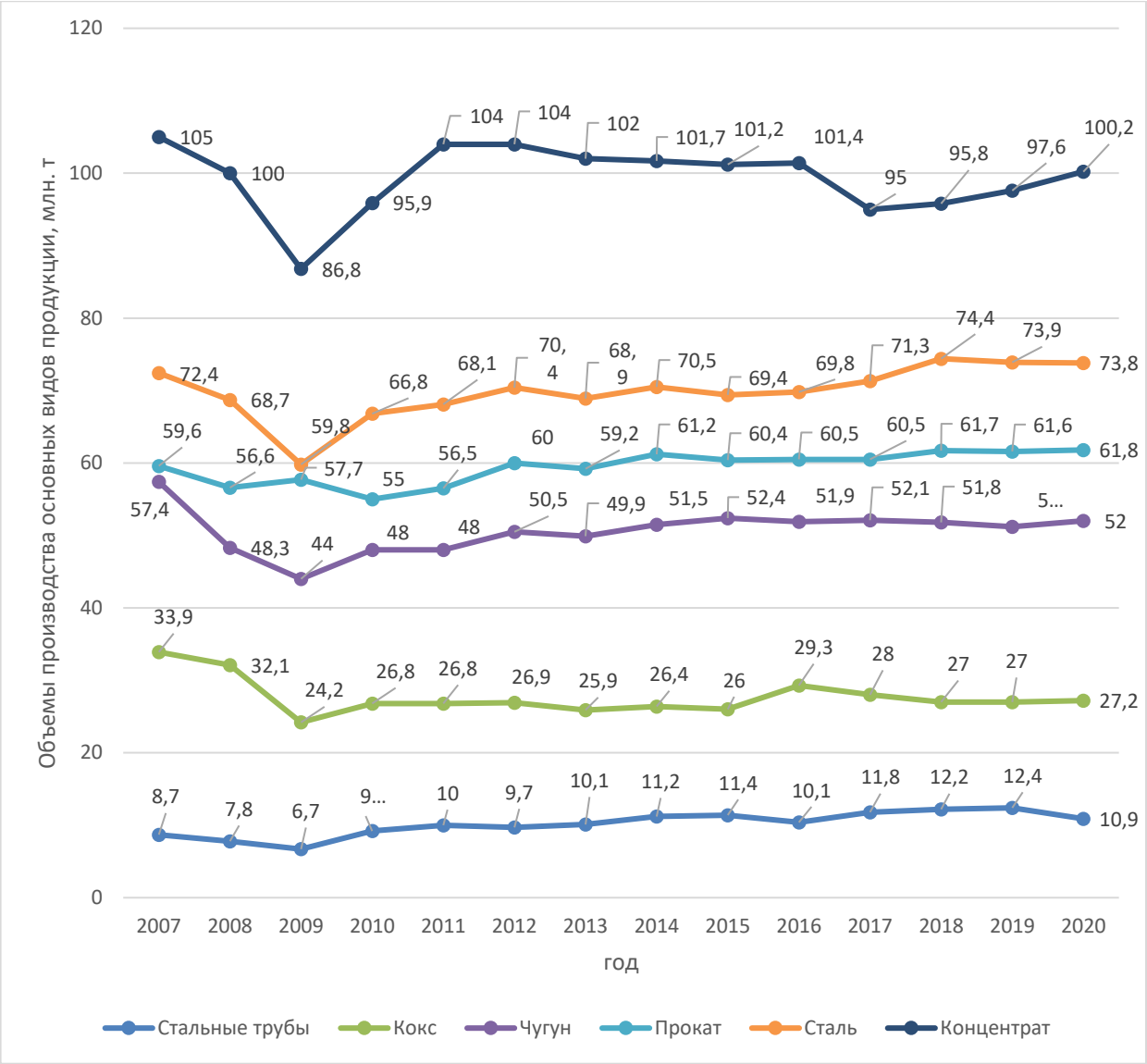


Рисунок 1.5 – Динамика производства основных видов продукции черной металлургии в России [10, 11]

Чугун выплавляется в доменных печах. Средняя удельная производительность доменных печей за период 2000–2016 гг. увеличилась на 19 % и сохранилась на этом уровне до 2020 г.

Сталь производится в конвертерах – 64,4 %; в электропечах – 33,7 %; в мартеновских печах – 1,9 %. Динамика выплавки стали по видам производства в России представлена на рисунке 1.6.

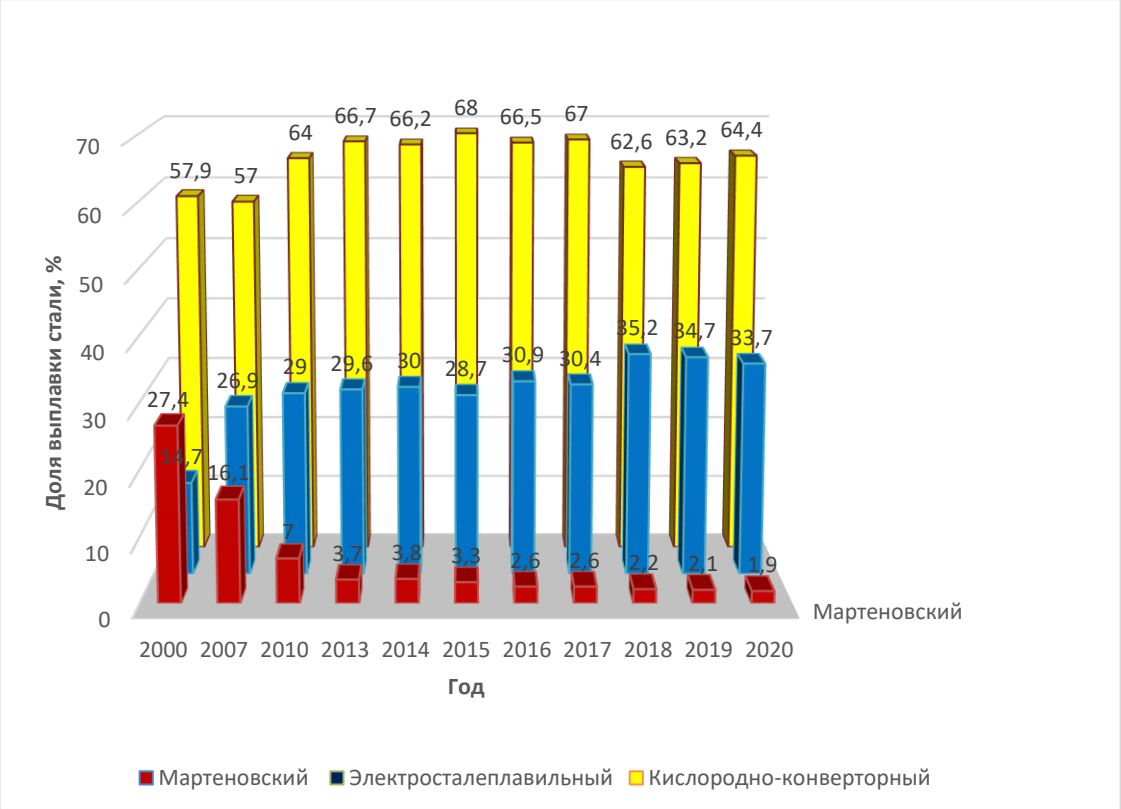


Рисунок 1.6 – Динамика выплавки стали по видам производства в России [10, 11]

Изменения за период 2000–2020 гг. в сортаменте производимого готового проката в целом по отрасли характеризуются следующими данными, представленными в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Сортамент производимого готового проката

Вид продукции	2000 г.		2016 г.		2020 г.	
	Объем производства, млн т	Доля в объеме производства, %	Объем производства, млн т	Доля в объеме производства, %	Объем производства, млн т	Доля в объеме производства, %
Готовый прокат:	46,7	100	60,3	100	61,8	100
- заготовки для переката на экспорт	11,8	25,3	14,1	24,0	13,0	21
- сортовой прокат	14,6	31,2	18,5	31	21,2	34,3
- листовой прокат, в том числе:	20,3	43,5	27,5	45	27,6	44,7
- холодно-катаный листовой прокат	6,4	31,6	8,1	29,1	7,9	28,6
- холодно-катаный листовой прокат с покрытиями	1,4	21,9	5,5	67,5	5,7	72,2

Увеличились объемы производства листового проката и холоднокатаного листа, в 4 раза выросла доля листового проката с покрытиями. Это явилось следствием реализации инвестиционных проектов на ПАО «ММК», ПАО «Северсталь» и ПАО «НЛМК».

Динамика укрупненной структуры производства готового проката за период 2007–2020 гг. показана на рисунке 1.7.

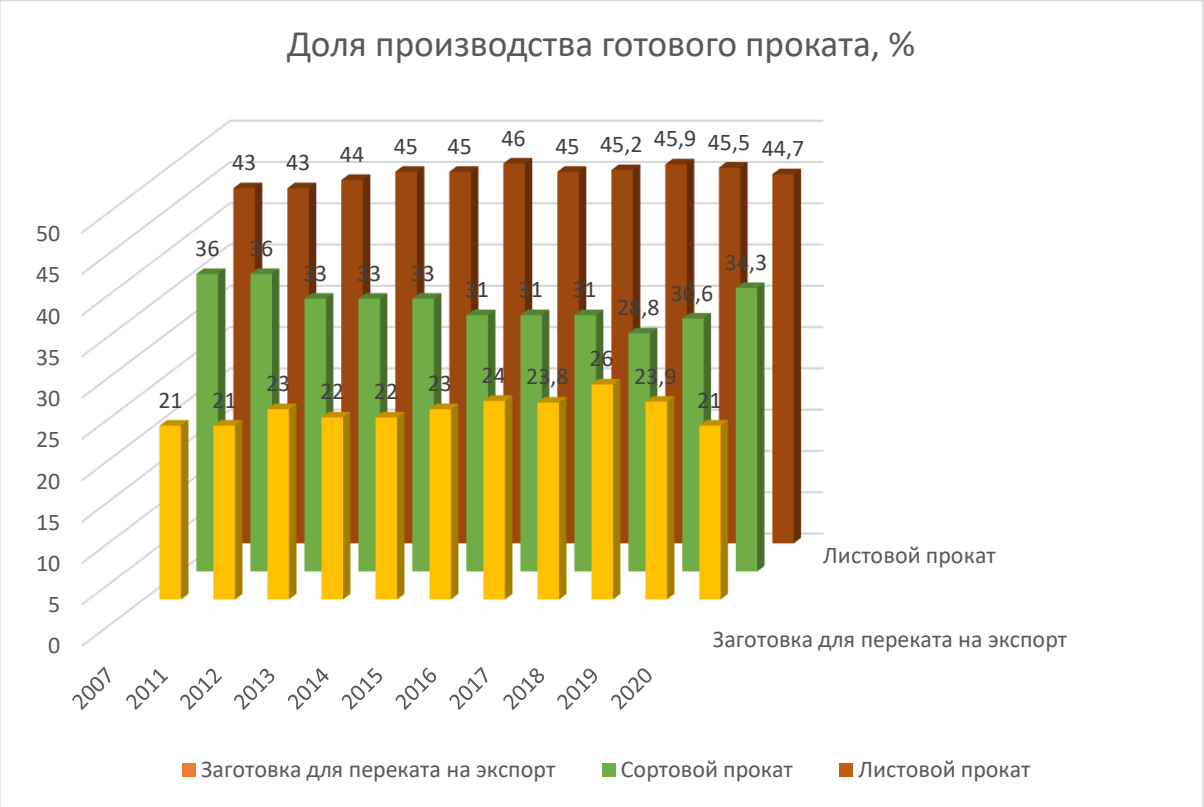


Рисунок 1.7 – Динамика укрупненной структуры производства готового проката [10, 11]

Производство, экспорт, импорт и потребление готового проката в РФ иллюстрируется динамикой производства проката и объемами его потребления, представленной в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Производство, внешняя торговля и потребление готового проката в 2000–2020 гг. [10,11]

Показатели	2000	2007	2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Производство, млн т	46,7	59,6	55,0	61,2	60,4	60,5	60,5	61,6	61,5	61,8
Экспорт*, млн т	27,0	28,0	29,3	25,4	27,5	28,9	27,9	29,7	26,4	26,7
Импорт*, млн т	1,8	6,4	5,2	5,3	3,9	3,8	5,4	5,5	5,5	5,3
Видимое потребление, млн т	21,5	38,0	30,9	41,1	36,8	35,4	38,0	37,3	40,6	40,4
Доля экспорта в производстве, %	57,8	47,0	53,3	41,5	45,5	47,8	46,1	48,3	42,9	43,2
Доля импорта в потреблении, %	8,4	16,7	16,8	12,9	10,6	10,7	14,2	14,6	13,6	13,1
* Показатели экспорта и импорта приведены с учетом листа и жести с покрытием.										

Производство и потребление ферросплавов

Ферросплавы – это сплавы железа с другими элементами (Cr, Si, Mn, Ti и др.), применяемые главным образом для раскисления и легирования стали (например, феррохром и ферросилиций). К ферросплавам условно относят также некоторые сплавы, содержащие железо лишь в виде примесей (силикокальций, силикомарганец и др.), и некоторые металлы и неметаллы (Mn, Cr, Si) с минимальным содержанием примесей.

Ферросплавы получают из руд или концентратов в электропечах или плавильных шахтах (горнах). Использование легирующего элемента в виде ферросплава при легировании и раскислении стали и сплавов повышает его усвоение расплавом, а также снижает угар.

Виды ферросплавов, применяемые при выплавке стали различного назначения:

- кремнистые ферросплавы;
- хромистые ферросплавы;
- марганцевые ферросплавы;
- ферровольфрам;
- ферромолибден;
- феррованадий;
- ферониобий;
- ферротитан и титансодержащие сплавы;
- ферробор и лигатуры с бором;
- сплавы с алюминием;
- сплавы с редкоземельными металлами;
- ферросиликоцирконий,
- ферроалюмоцирконий;
- ферроникель;
- феррокобальт.

К наиболее массовым видам ферросплавов относятся марганцевые и хромистые ферросплавы, а также ферросилиций.

Основные характеристики марганцевых и хромистых ферросплавов, а также ферросилиция приведены в таблицах 1.8, 1.9 и 1.10 соответственно.

Таблица 1.8 – Основные характеристики марганцевых ферросплавов

		Высокоуглеродистый FeMn	SiMn	Низкоуглеродистый FeMn/Mn (мет)
Применение		Для легирования и раскисления стандартных и углеродистых марок стали	Для раскисления и легирования стандартных и низкоуглеродистых марок стали	Легирующий материал для производства нержавеющих и специальных марок стали
Химический состав, %	Mn	70–82	60–70	75–85 / 95–97
	C	не более 8,0	0,1–3,5	0,1–2,0
	Si	не более 2,0	10–35	не более 2,0
	P	не более 0,5	0,05–0,35	0,15–0,35
	S	не более 0,03	не более 0,03	не более 0,03
Примечания. 1 SiMn более распространен в использовании, чем FeMn и доля его составляет около 60 % в мировом выпуске ферросплавов. 2 SiMn в основном используется для раскисления стали. Это свойство SiMn позволяет заменять FeSi и FeMn при производстве стали, в случае если цена комплексного раскислителя будет ниже суммы FeMn и FeSi.				

Таблица 1.9 – Основные характеристики хромистых ферросплавов

		FeCr высокоуглеродистый	FeCr низкоуглеродистый
Применение		Для производства нержавеющей стали	Для производства легированных хромистых сталей
Химический состав, %	Cr	60–68	65–72
	C	не более 9,0	0,02–1,00
	Si	не более 2,0	не более 1,5
	P	не более 0,035	не более 0,03
	S	не более 0,03	не более 0,02

Таблица 1.10 – Основные характеристики ферросилиция

		FeSi-45	FeSi-65/75	Особочистый FeSi
Применение		В основном в литейном производстве	Для раскисления стали и легирования	Для раскисления и легирования особых сталей (в основном электротехнических и рельсовых)
Химический состав, %	Si	42–46	63–76	63–76
	C	не более 0,2	не более 0,1	не более 0,05
	P	не более 0,05	не более 0,04	–
	S	не более 0,02	не более 0,02	–
	Al	–	–	не более 0,5
	Ca	–	–	не более 0,05
	Ti	–	–	не более 0,05
Примечание. FeSi-65/75 самый распространенный сплав среди всего FeSi.				

Ежегодно в мире производится около 35–37 млн т ферросплавов. Основным сегментом среди производимых ферросплавов является феррохром, доля в объемах производства которого в мире составляет свыше 27 %. На втором месте по объемам силикомарганец, доля которого – около 33 % в мировом производстве. Третье место занимает ферросилиций, с долей около 19 % в мировом производстве, а на четвертом месте – ферромарганец с долей около 14 %. В России среди производимых ферросплавов основным сегментом является ферросилиций. Второе место по объемам производства занимает феррохром, ферромарганец находится на третьем.

Среди стран основных производителей ферросплавов необходимо отметить в первую очередь Китай (с долей в мировых объемах свыше 46 %) и ЮАР (с долей около 15 %). Крупными производителями также являются Бразилия, Индия, Япония, Норвегия, Франция и Россия, доля которой в мировом производстве составляет около 6 %.

Потребление основных видов ферросплавов в РФ приведено в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Потребление ферросплавов в РФ, тыс. т

Ферросплавы	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Потребление в РФ, кг/т стали
FeSi	527,0	538,0	539,3	523,2	7,5
SiMn	445,0	450,5	469,8	499,3	7,1
FeMn	123,0	170,9	164,3	147,8	2,1
FeCr	33,0	176,6	154,0	164,0	2,3
Всего	1128,0	1336,0	1327,4	1334,3	19,0
Примечание. Среднее потребление ферросплавов в мире – 22,3 кг/т стали.					

Основным российским производителем ферросплавов является АО «Урало-Сибирская металлургическая компания» (УСМК). Головное предприятие холдинга – АО «Челябинский электрометаллургический комбинат» (АО «ЧЭМК»), выпускающий все крупнотоннажные ферросплавы. В состав холдинга также входят АО «Кузнецкие ферросплавы» (АО «КФ», г. Новокузнецк Кемеровской обл.), АО «Серовский завод ферросплавов» (АО «СЗФ», г. Серов Свердловской обл.). В свою очередь в состав АО «КФ» как обособленное подразделение входит Юргинский ферросплавный завод (г. Юрга). В состав АО «ЧЭМК» входят горнодобывающие предприятия: АО «Сарановская шахта «Рудная» (месторождения хрома – Главное Сарановское, Сарановская группа россыпей, Южно-Сарановское, Малый Пестерь), месторождения марганца (Парнокское) и хрома (Центральное, № 214, Енгайское III). Предприятия холдинга совокупно производят 73 % всех ферросплавов в России.

Вторым по объёму производства ферросплавов в России (7,2 %) является АО «Саткинский чугуноплавильный завод» (г. Сатка Челябинской обл.), специализирующийся на выпуске высокоуглеродистого ферромарганца в доменных печах.

Третим по объёму производства ферросплавов в России (5,0 %) является ООО «Братский завод ферросплавов» (ООО «БЗФ», г. Братск Иркутской обл.). Основными видами продукции завода являются ферросилиций и микрокремнезём. Входит в состав группы Мечел.

Следующим по объёму производства ферросплавов в России (4,8 %) является ООО «Тихвинский ферросплавный завод» (ООО «ТФЗ», г. Тихвин Ленинградской обл.), специализирующийся на производстве высокоуглеродистого феррохрома. Собственником является турецкая частная промышленная группа Yildirim, объединяющая горнодобывающие, ферросплавные предприятия, предприятия по производству удобрений, торговые и транспортные фирмы.

Замыкает пятёрку лидеров (4,2 %) ПАО «Косогорский металлургический завод» (ПАО «КМЗ», г. Тула), основной продукцией которого является чугун и ферромарганец.

ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод» (ООО «ЗСЭМЗ», г. Новокузнецк Кемеровской обл.) относится к группе компаний ООО «УК "Сибирская горно-металлургическая компания"» (СГМК). Производит силикомарганец и ферросилиций. Доля в общем объёме производства ферросплавов в России составляет 2,8 %.

Важнейшим является ПАО «Ключевский завод ферросплавов» (ПАО «КЗФ», п. Двуреченск Свердловской обл.) с долей производства около 1 %. Относится к группе компаний АО «УК «РосСпецСплав-группа МидЮрал». В номенклатуре завода присутствуют следующие ферросплавы: хром металлический алюминотермический, феррохром низкоуглеродистый и высокоуглеродистый, ферробор, ферротитан, ферониобий, ферросиликоцирконий, модификатор магнийсодержащий, лигатуры с редкоземельными металлами, лигатуры на основе ниобия и никеля и др.

Производством ферросилиция в России занимаются АО «Кузнецкие ферросплавы» (54 % объёма производства внутри России), АО «Челябинский электрометаллургический комбинат» (24 %), АО «Серовский завод ферросплавов» (5 %), ООО «Братский завод ферросплавов» (8 %), ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод», ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Объём производства ферросилиция достигает 840–940 тыс. т в год, из них от 360 до 600 тыс. т отправляют на экспорт. Небольшие объёмы импорта – 16–30 тыс. т в год – представляют собой трансграничные местные сделки.

Основными производителями феррохрома в России являются АО «Челябинский электрометаллургический комбинат», ООО «Тихвинский ферросплавный завод», АО «Серовский завод ферросплавов», АО «Ключевский завод ферросплавов», АО «Новотроицкий завод хромовых соединений», ООО «НСплав». Хром металлический производят: АО «Новотроицкий завод хромовых соединений», АО «Ключевский завод ферросплавов», АО «Полема», ООО «НСплав». Объём производства феррохрома достигает 350–430 тыс. т в год, из них до 80 тыс. т низкоуглеродистого феррохрома, 20–24 тыс. т хрома металлического. Большую часть феррохрома (100–300 тыс. т) направляют на экспорт. Объём импорта небольшой от 10 до 30 тыс. т в год.

Доменный ферромарганец производят два предприятия – АО «Саткинский чугуноплавильный завод», ПАО «Косогорский металлургический завод». Печной ферромарганец и силикомарганец – АО «Челябинский электрометаллургический комбинат», ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод». Объём производства ферромарганца составляет 190–207 тыс. т в год, силикомарганца – 370–407 тыс. т в год (2019–2020 гг.). Объём импорта ферромарганца значительно снизился за последние годы и составляет 15–25 тыс. т в год. Примерно на том же уровне (17–28 тыс. т в год) находится объём экспорта ферромарганца. Объём производства силикомарганца значительно вырос за последние годы (со 120 в 2010 г. до 342 тыс. т в

2017 г.), соответственно объём импорта силикомарганца резко сократился с 320 до 167 тыс. т в год. Объёмы экспорта незначительные – несколько тысяч тонн в год, а в 2017 г. – 54 тыс. т в год. Таким образом, потребность промышленности в сплавах на основе марганца удовлетворяется в основном продукцией отечественного производства (59–64 % для силикомарганца и 85–87 % для ферромарганца). Противоположная ситуация с металлическим марганцем, оксидами марганца и рудным сырьём для производства марганцевых ферросплавов. Потребности в них обеспечиваются импортными поставками.

С 1997 г. потребление ниобия в чёрной металлургии России возросло почти в 40 раз и составило в среднем 2965 т за 2010–2020 гг.). Серьёзной проблемой является практически полная зависимость отечественной чёрной металлургии от импортных поставок ферониобия (в среднем 98,5 % от объёма потребления в 2010–2018 гг.). Основными поставщиками являются бразильская компания Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineracao (CBMM) и канадская Niobec. Собственное производство ферониобия незначительное и составляет от 50 до 100 т в год. Основные производители – Ключевский завод ферросплавов (п. Двуреченск), Вишнёвогорский металлургический завод «Северный ниобий» (п. Вишнёвогорск) и «Молирен» (г. Рошаль). Кроме них, сплавы ниобия выпускает компания «Гранком» (г. Кулебаки). Мощности по выпуску ниобиевых лигатур и металлического ниобия имеют не менее шести предприятий.

Объём производства ферровольфрама составляет 2414 т в год в пересчёте на вольфрам. Производят ферровольфрам ООО «Унечский завод тугоплавких металлов», ООО «Кристалл», ООО «Гранком», ООО НПП «Тяжметпром», ООО «Рязанский завод ферросплавов и лигатур», ООО «Зубцовский машиностроительный завод», ООО «Молирен» и другие. Значительная часть вольфрама в виде сырья и ферровольфрама идет на экспорт. Практически весь отечественный рынок металлорежущего инструмента занят зарубежными компаниями, в связи с чем потребление в металлургии вольфрама находится на низком уровне. Потребление вольфрама в виде ферровольфрама для производства жаропрочных и конструкционных сталей в России составляет всего 814 т. При этом, по экспертной оценке, около 840 т вольфрама импортируется в Россию в виде инструментальной и быстрорежущей стали, металлорежущего инструмента и т. д.

Объём производства ферромолибдена составляет 3156 т в год в пересчёте на молибден. Производят ферромолибден ООО «Сорский ферромолибденовый завод», АО «Ключевский завод ферросплавов», ООО «Нижневолжский ферросплавный завод», ООО «Гранком», ООО «Рязанский завод ферросплавов и лигатур», ООО «Зубцовский машиностроительный завод», ООО «Молирен», ЗАО НПО «Литейные заводы» и другие. Практически весь производимый ферромолибден идёт на экспорт (94 %). На внутреннем рынке реализуется менее 10 % ферромолибдена. Низкое потребление молибдена обусловлено тем, что практически весь рынок металлорежущего инструмента, коррозионностойкой и инструментальной стали занят зарубежными компаниями.

Объём производства феррованадия составляет 3 726 т в год в пересчёте на ванадий. Производят феррованадий в основном две компании: АО «ЕВРАЗ Ванадий Тула» и АО «Чусовской металлургический завод» [9]. Видимое потребление феррованадия в России составляет около 2 993 т в год в пересчете на ванадий. Избыток феррованадия, пентаоксида ванадия и шлака продают за рубеж. С продукцией более

глубокого передела ванадий импортируется в Россию (900 т – в виде очищенного пентаоксида, 503 т – в виде стали, 47 т – в виде инструмента и т. д.). Около 2000 т пентаоксида ванадия повышенного качества поставляется из-за рубежа для легирования титана.

Объём производства ферротитана составляет 24,7 тыс. т в год в пересчёте на титан. Производят ферротитан следующие компании: ПАО «Корпорация ВМСПО-АВИСМА», АО «Ключевский завод ферросплавов», ООО «Кристалл», ООО «Нова-Мет», ОАО «Волговятскворцветмет», АО «Объединённая металлургическая компания», ОАО «Завод точных сплавов», ОАО «Кулебакский металлургический завод», ОАО «ВТЭЛП», ООО «Зубцовский машиностроительный завод», ООО «Канта» и другие. 73,3 % производимого в России ферротитана и 62,5 % титановых слитков и проката поставляется за рубеж.

По некоторым оценкам, в 2019 г. объём потребления редкоземельных металлов (РЗМ) в металлургии составляет около 120 т, из них чуть более 100 т – в чёрной металлургии. В чёрной металлургии РЗМ используют в виде их сплавов (мишметалл, ферроцерий), чистых металлов (лантан, церий, иттрий), ферросплавов на основе ферросилиция, комплексных модификаторов на основе кремния и без него. Практически все исходные материалы с РЗМ для металлургии импортируются (мишметалл, ферросплавы и чистые металлы). Ферросплавы на кремниевой основе типа ФС30РЗМ30 выплавляют Ключевский завод ферросплавов, ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», ООО «Спецферросплав», ОАО «НИИМ». Лигатуры и модификаторы с РЗМ в России производят ООО «НПП Технология», ОАО «НИИМ», ООО «Комплексные модификаторы», АО «Росредмет». С производством лигатур с РЗМ для чёрной металлургии также связаны (были связаны) ООО «НКМ Норд», ООО «НПО БКЛ», АО «Сибирский химический комбинат».

1.6 Сырьевая база отрасли

Россия располагает значительными запасами рудных и топливно-энергетических ресурсов, позволяющих не только обеспечивать дальнейшее развитие отечественной черной металлургии, но и увеличивать их поставки на внешний рынок.

1.6.1 Железорудное сырье

По подтвержденным балансовым запасам железных руд (категории А + В + C_1) Россия занимает первое место в мире. На ее долю приходится 27 % мировых запасов, т. е. больше, чем в других странах, располагающих крупными железорудными ресурсами. По объемам добычи и производству товарной железной руды Россия занимает 5 место в мире, уступая лишь Китаю, Бразилии, Австралии и Индии.

Разрабатываемые в России месторождения железных руд в основном представлены железистыми кварцитами (65,5 % добычи), титаномагнетитовыми (17,3 %) и магнетитовыми (15,3 %) рудами, которые характеризуются относительно низким содержанием железа (соответственно 35,1 %, 17,7 % и 34,3 %) и требуют глубокого обогащения. Значительные запасы указанных типов железных руд, пригодных для карьерной разработки, предопределили развитие железорудной подотрасли черной металлургии, способы добычи, обогащения и окускования железорудного сырья.

Аналогичная ситуация имеет место в железорудной промышленности Украины и Китая, разрабатывающей подобные месторождения с низким содержанием железа. В то же время Бразилия, Австралия, Индия и страны Африки разрабатывают в основном богатые гематитомартитовые месторождения руд с содержанием железа 58–64 %, которые не требуют обогащения. В России доля богатых руд в балансовых запасах составляет 12,5 %, а в объеме добычи – всего 1,2 %.

Одним из основных негативных факторов обеспечения черной металлургии железорудным сырьем является неравномерное географическое размещение балансовых запасов по территории страны. Распределение запасов железных руд и их прогнозных ресурсов по субъектам России и географическая карта размещения железорудных предприятий черной металлургии России представлены на рисунках 1.8 и 1.9 соответственно.

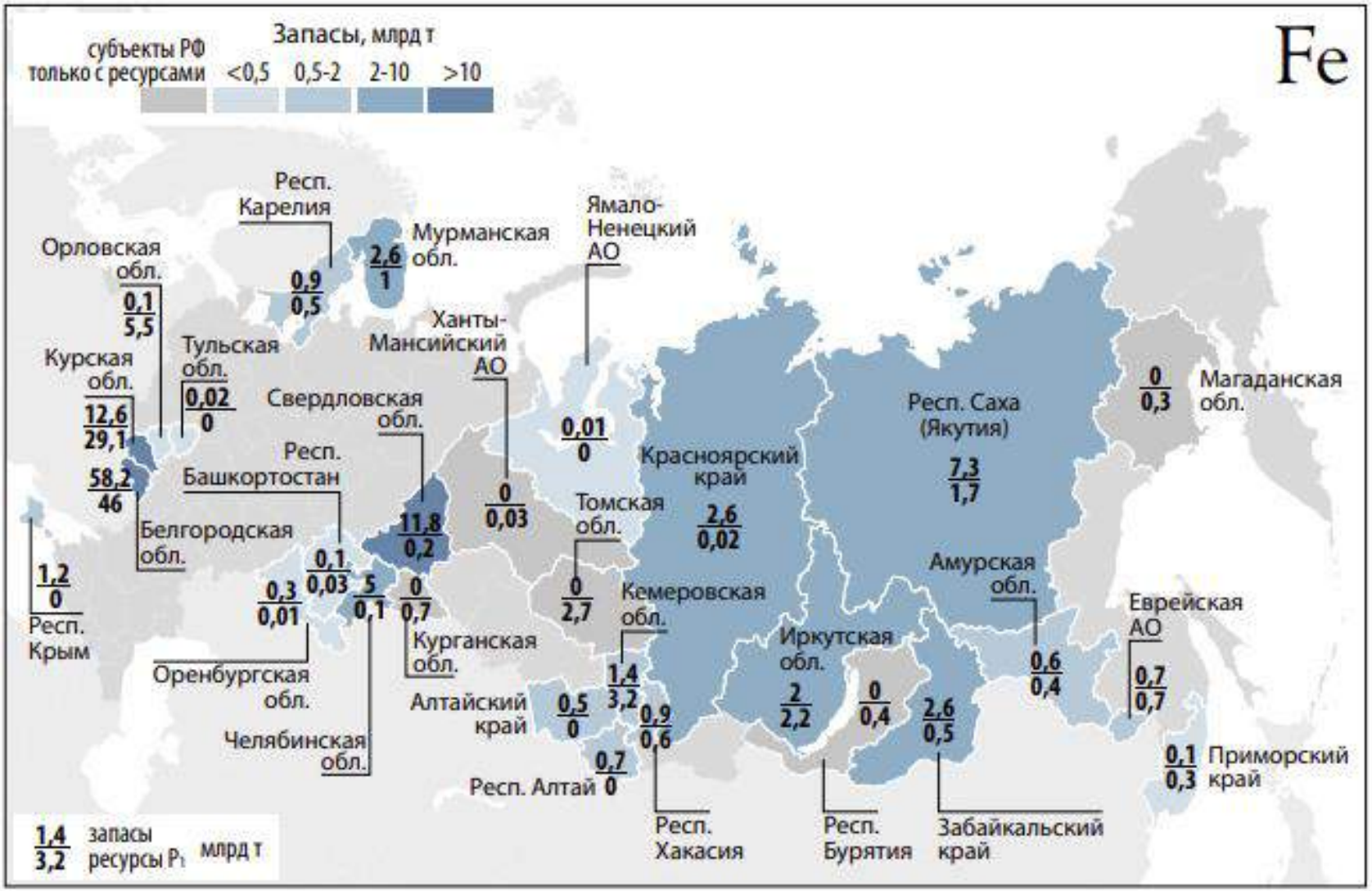


Рисунок 1.8 – Распределение запасов железных руд и их прогнозных ресурсов по субъектам России



Рисунок 1.9 – Географическая карта размещения железорудных предприятий черной металлургии России [13]

Производство товарной железной руды сосредоточено в Центральном федеральном округе, в основном в пределах КМА.

Вторым по запасам и добыче железных руд является Уральский федеральный округ. При этом производство 90 % товарной руды размещено в 25 месторождениях Свердловской области и 10 % – в 24 месторождениях Челябинской области. В результате крупнейшие металлургические комбинаты – ПАО «ММК» и ПАО «ЧЭМК» недостаточно обеспечены железорудным сырьем. По этой причине ПАО «ММК» является импортером порядка 9 млн т концентрата и окатышей из Казахстана.

В Сибирском федеральном округе основная часть запасов удалена от АО «ЕВРАЗ ЗСМК», и он недостаточно обеспечен местными рудами.

В Приволжском федеральном округе расположено около 0,5 % балансовых запасов, которые представлены в основном бедными природно-легированными рудами и были разведаны как сырьевая база ОХМК (ныне – АО «Уральская Сталь»), но в настоящее время практически мало используются.

Таким образом, в настоящее время имеется и в ближайшей перспективе сохраняется диспропорция в размещении металлургических комбинатов и их сырьевой базы, что приводит к транспортировке аглоруды, концентрата и окатышей на значительные расстояния. Среднее расстояние перевозки железной руды превышает 1800 км.

Другим негативным фактором в обеспечении металлургических комбинатов железорудным сырьем является тенденция постоянного ухудшения геологических и горнотехнических условий разработки месторождений. Основные горнорудные комбинаты находятся в эксплуатации уже более 40–50 лет и приближаются к ранее действующим нормативным срокам их службы.

Дальнейшее развитие железорудной подотрасли черной металлургии на период до 2030 г. зависит от потребности доменного производства и производства железа прямого восстановления (брикеты, окатыши).

Общий рост производства товарной железной руды предусмотрен к 2030 г. на 12,7 %, что определяется мощностями действующих горнорудных предприятий с учетом возможности вовлечения в эксплуатацию новых железорудных месторождений. Кроме того, по экономическим причинам сохраняется импорт 9 млн т концентрата и окатышей из Казахстана (АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» – АО «ССГПО»).

Из общего объема производства товарной железной руды 121,2 млн т около 70–72 % предназначается для использования в доменном производстве, 8–10 % – в производстве металлизованного сырья для выплавки стали и около 19–24 % – для поставок на экспорт.

Для удовлетворения современных требований металлургического производства добытая из недр сырая руда все в большей мере подвергается последующей подготовке к плавке. Подготовка сырья к металлургическому переделу заключается в улучшении качества шихтовых материалов, обеспечивающих повышение эффективности работы доменных печей и снижение стоимости выплавляемого металла.

Большая часть обогащенной руды (концентратов) окусковывается методом агломерации и окомкования (производство окатышей).

1.6.2 Агломерат

Агломерация – это термический процесс, который не только формирует кусковый материал из дисперсных железорудного концентрата или руды, но и обеспечивает удаление некоторых вредных примесей (сера и мышьяк), разложение карбонатов. Среднее содержание железа в агломерате – 53–58 %.

Динамика производства агломерата в России показана на рисунке 1.10. Химический состав агломерата представлен в таблице 1.12.

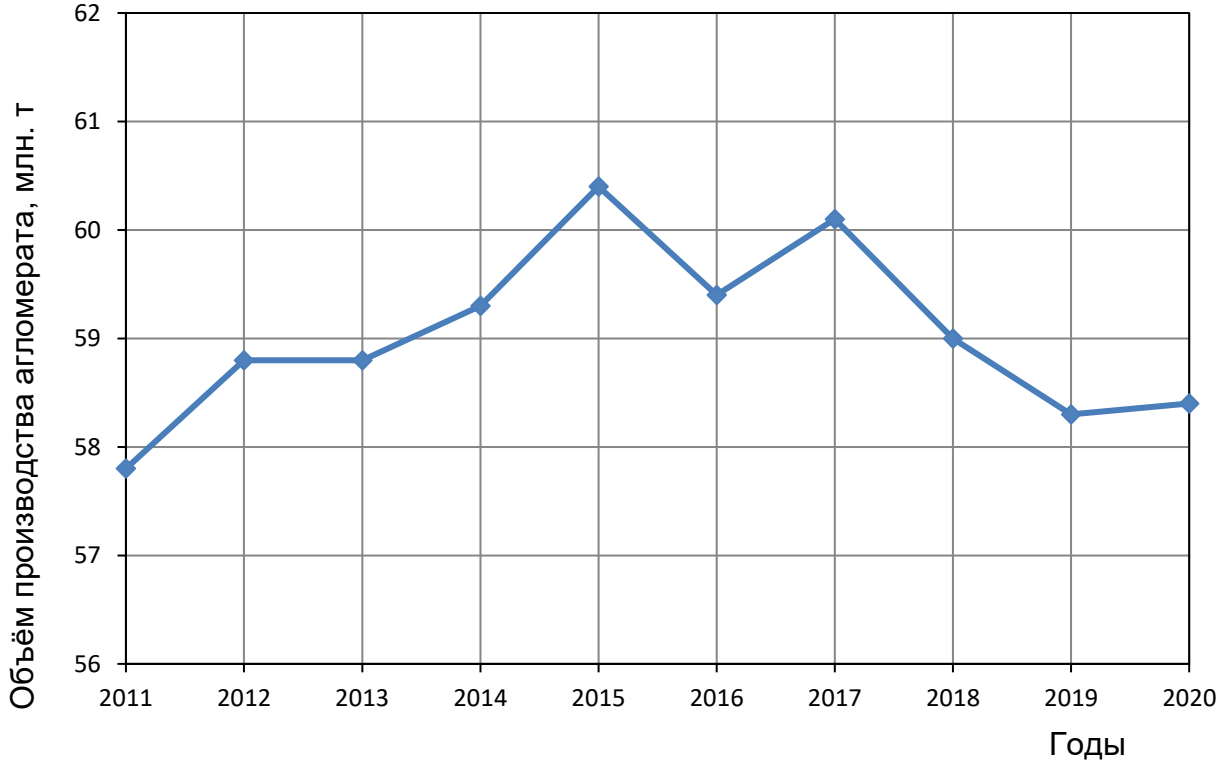


Рисунок 1.10 – Динамика производства агломерата в России

Таблица 1.12 – Примерный химический состав агломерата

Химическое соединение	Fобщ	Fe_2O3	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3
Содержание, %	48,22–60,0	53,46–60,17	11,65–21,1	4,3–12,63	1–5,66	2,6–15,63	0,4–2,30	0,04–0,5	0,04–0,13

Важное значение для оценки качества сырья имеет характеристика его прочностных свойств.

Механическую прочность агломерата (и окатышей) определяют в закрытом барабане диаметром 1000 мм и шириной 500 мм с двумя приваренными через 180° уголками 50 × 50 × 5 мм. Испытанию подвергают пробу массой 15 кг и крупностью от 5 до 40 мм для агломерата и более 5 мм – для окатышей. Обработка пробы в испытательном барабане продолжается 8 мин при скорости его вращения 25 об/мин, после чего ее рассеивают на ситах 5 × 5 мм и 0,5 × 0,5 мм. Масса частиц более 5 мм, выраженная в процентах от массы всей пробы, характеризует сопротивление дроблению, а масса частиц менее 0,5 мм – сопротивление истиранию. Показатели

прочности агломерата на дробление составляют от 55 % до 75 %, на истирание – от 4 % до 10 %.

1.6.3 Окатыши

Окатыши – твердые шарообразные тела, полученные путем окомкования тонкоизмельченных рудных материалов с добавкой связующих веществ с флюсами или без них с последующим упрочнением способами обжига, цементации (с автоклавированием или без него).

Фабрики производства окатышей входят в структуру обогатительных фабрик, что позволяет применять для подачи концентрата конвейерный транспорт.

Окатыши имеют высокую прочность (по барабанной пробе – от 88 % до 95 %), что позволяет транспортировать их к доменным цехам на большие расстояния. Химический состав окатышей приведен в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Качественные характеристики окатышей

Химическое соединение	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O+K_2O	TiO_2	S	P
Показатель % масс.	61,3–65,5	4,1–8,3	0,20–2,90	0,4–1,3	0,22–1,9	0,08–0,16	0,013–2,350	0,005–0,008	0,011–0,017

Динамика производства окатышей железорудных (окисленных) в России показана на рисунке 1.11.

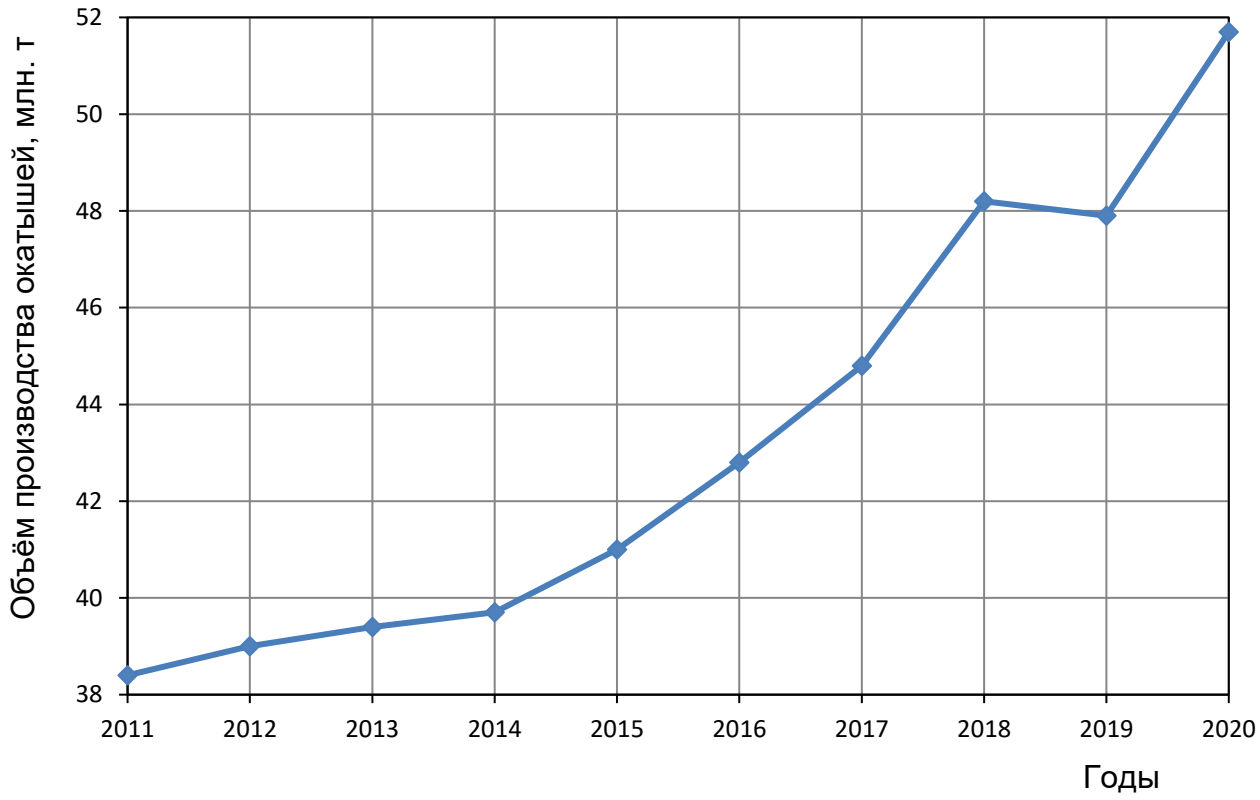


Рисунок 1.11 – Динамика производства окатышей железорудных (окисленных) в России

Механическую прочность окатышей определяют на основе барабанной пробы или испытанием на сжатие. Для этого из общей пробы выделяют 20 гранул и каждую раздавливают прессом, фиксируя разрушающую нагрузку. У офлюсованных окатышей удовлетворительного качества сопротивление раздавливанию составляет 2200–2400 Н/окатыш, у неофлюсованных – 2500–3000 Н/окатыш.

Железнорудные окатыши, в которых часть оксидов железа (до 95 %) восстановлена до металла, называются металлизованными (используются главным образом в электросталеплавильных печах для получения качественной стали).

Динамика производства металлизованных окатышей в России показана на рисунке 1.12.

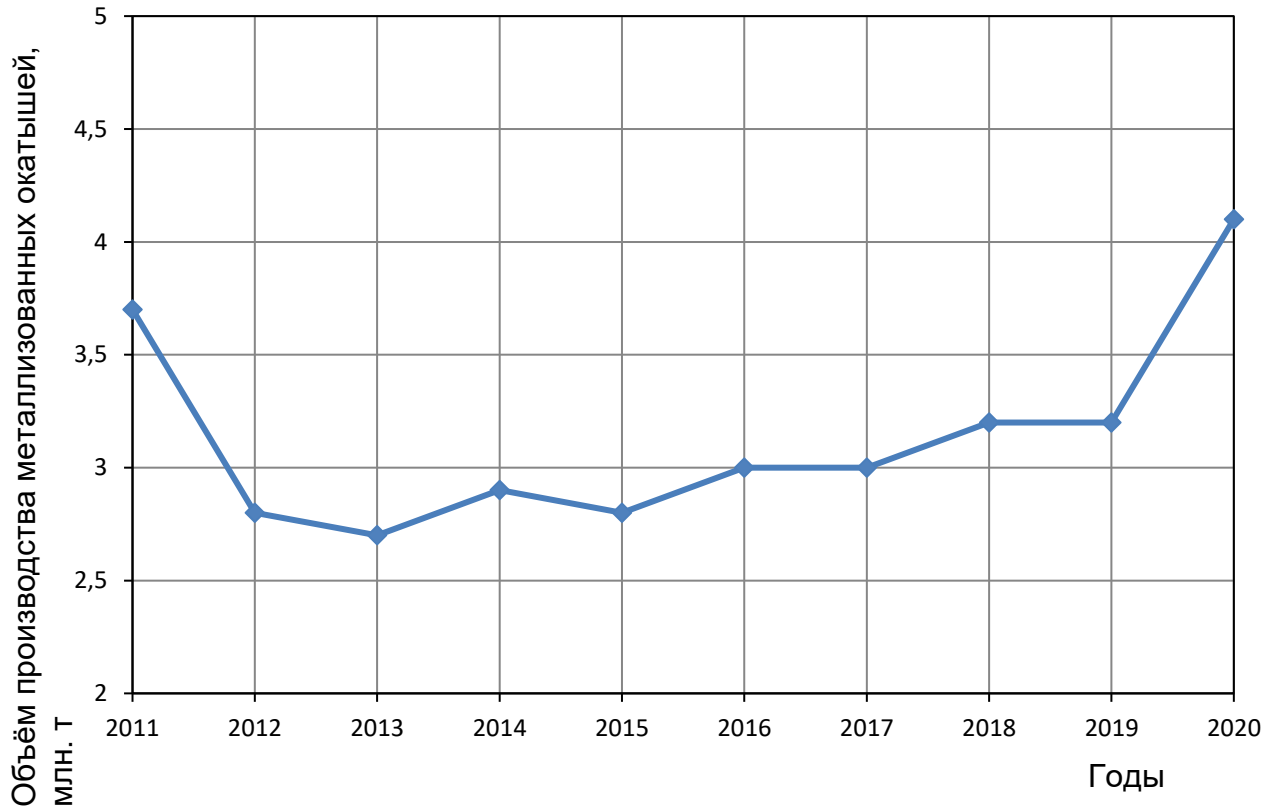


Рисунок 1.12 – Динамика производства металлизованных окатышей в России [14]

1.6.4 Горячебрикетированное железо

Горячебрикетированное железо (ГБЖ / ПВЖ) – один из продуктов восстановительного внедоменного передела железа – используется для производства высококачественной стали (с малым количеством вредных примесей) как заменитель чугуна, металлолома.

Гарантированными качественными характеристиками ГБЖ является суммарное содержание железа, которое составляет не менее 90 % (при содержании железа металлического не менее 83 %) и степень металлизации соответствует уровню не менее 92 %.

Неоспоримыми преимуществами ГБЖ являются стабильность химического состава, низкое содержание вредных примесей, таких как фосфор и сера; отсутствие

вредных элементов – меди, никеля, неметаллических субстанций; типовой размер брикетов; высокая удельная насыпная плотность.

Динамика производства горячебрикетированного железа в России показана на рисунке 1.13.

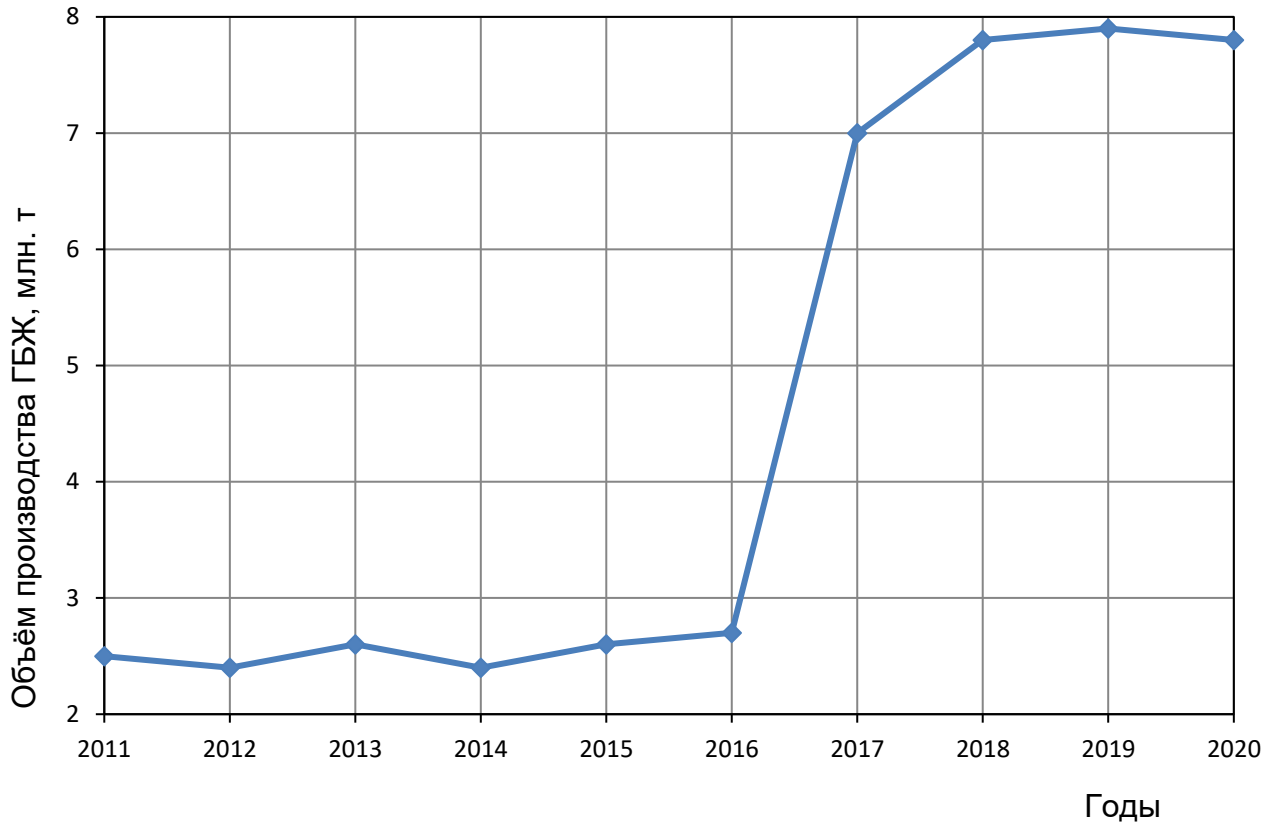


Рисунок 1.13 – Динамика производства ГБЖ / ПВЖ в России [14]

ООО УК «Металлоинвест» является единственным в России производителем металлизованных окатышей и ГБЖ. В 2019 г. компания завершила реализацию инвестиционного проекта по строительству цеха № 3 производства ГБЖ (АО «ЛебГОК») мощностью 1,8 млн т/год.

1.6.5 Марганцевая руда

Государственным балансом полезных ископаемых в России учитывается 27 месторождений марганцевых руд с суммарными балансовыми запасами 283,7 млн т. Ещё на двух месторождениях учтены только забалансовые запасы. Качество российских руд низкое, они труднообогатимы, содержат вредные примеси, по содержанию марганца относятся к бедным. Основная сфера применения марганцевых руд – получение марганцевых ферросплавов.

Более 77,1 % запасов категорий A+B+C1 в месторождениях, сложенных карбонатными рудами, 17,1 % – окисленными, 5,2 % – смешанными, 0,5 % – оксидны-ми рудами, 0,1 % – морскими железо-марганцевыми конкрециями.

Карбонатные руды характеризуются низким содержанием марганца (18–25 %), неоднородностью, большим содержанием фосфора, трудной обогатимостью. К этому

типу относятся самое крупное в стране Усинское месторождение в Кемеровской области и Парнокское в республике Коми.

Наиболее востребованный оксидный тип представлен рудами Чуктуконского месторождения в Красноярском крае и Новоберезовского месторождения в Свердловской области. Характеризуются низким содержанием марганца, большим количеством вредных примесей, хрупкостью при дроблении.

Окисленные руды развиты на Порожинском месторождении Красноярского края, Усинском, Парнокском и других месторождениях. Имеют низкую прочность, не требуют больших затрат на разработку и обогащение.

К смешанным относят руды Южно-Хинганского месторождения Еврейской АО.

Запасы железо-марганцевых конкреций заключены на шельфе Балтийского моря. Незначительный объём запасов, сложность ведения добычи, высокое содержание фосфора ограничивают возможность их отработки.

После 2012 г. промышленная добыча марганцевых руд в России не ведётся, производство товарных марганцевых руд и концентратов не осуществляется. В 2017–2019 гг. велась только опытно-промышленная добыча от 1 до 57 тыс. т в год. В то же время импорт марганцевых руд колебался от 1067 до 1318 тыс. т в год (ЮАР, Габон, Казахстан). На двух разрабатываемых месторождениях карьеры законсервированы (Парнокское в республике Коми и Громовское в Забайкальском крае). В 2018–2019 гг. велась опытно-промышленная добыча на подготавливаемом к эксплуатации месторождении Ниязгуловское 1 в Башкортостане. Ввиду этих обстоятельств марганцевые руды в России относятся к дефицитным.

На Южно-Хинганском месторождении Еврейской АО планировалось начало промышленной добычи смешанных оксидно-карбонатных железо-марганцевых руд компанией ООО «Хэмэн-Дальний Восток» (КНР). Добыча марганцевой руды в 2019 г. должна была составить 17,3 тыс. т, а в 2020 г. – 40 тыс. т, однако эксплуатация так и не началась, а финансирование прекращено.

По проекту ООО «Североуральская марганцевая компания» на Тыньинском месторождении Свердловской области планируется в течение трёх лет добыть 407 тыс. т остаточных запасов руды. Год начала добычи не определён.

После банкротства ЗАО «ЧЕК-СУ.ВК» в 2017 г. остановлен проект освоения крупного Усинского месторождения Кемероской области. Суммарная мощность ГОКа должна была составить 1375 тыс. т руды в год.

1.6.6 Хромовая руда

Балансовые запасы хромовых руд в недрах 34 месторождений России составляют 52 млн т. Ещё на четырёх месторождениях учтены только забалансовые запасы. Качество российских хромовых руд низкое, они относятся к бедным (30–45 % Cr_2O_3) и убогим (10–30 % Cr_2O_3). Четверть запасов с содержанием Cr_2O_3 более 35 % не требуют обогащения. Хромовая руда используется для получения феррохрома, огнеупоров, хрома металлического, оксида и солей хрома.

Сырьевая база хромовых руд России характеризуется низкой освоенностью. По данным на начало 2020 г. 12,1 % балансовых запасов вовлечено в разработку (Центральное, Главное Сарановское), 8 % подготавливаются к освоению (Южно-

Сарановское) и разведке. Основная часть запасов заключена в Аганозёрском и Сопче-озёрском месторождениях и находится в нераспределённом фонде недр.

Добыча хромовых руд в России в 2019 г. составила 594 тыс. т, а производство хромовых концентратов – 698 тыс. т. Добыча ведётся на разрабатываемых месторождениях: Центральное в Ямало-Ненецком АО (43,9 % добычи), Главном Сарановском (31,3 %) и Сарановской группе россыпей (14,3 %) в Пермском крае. В небольших количествах – на месторождениях Вершина реки Алапаихи и Лесное в Свердловской области. Добыча в 2019 г. велась и в подготавливаемом к освоению месторождении Малый Перстень в Пермском крае и разведываемом Аккаргинском в Оренбургской области. Импорт товарных хромовых руд и концентратов в 2019 г. составил 903 тыс. т (Казахстан, ЮАР, Турция). Видимое потребление хромовых руд растёт и по данным за 2019 г. составляет 1,6 млн т. В основном оно обеспечивается за счёт импорта, однако доля российского сырья растёт и в 2019 г. составила 43,6 %.

Самым крупным готовящимся проектом освоения хромовых руд является добыча на Южно-Сарановском месторождении массива Рай-Из в Ямало-Ненецком АО. Ввод в эксплуатацию подземного рудника запланирован на 2022 г. Проектная мощность составит 350 тыс. т хромовой руды в год. На месторождении Малый Перстень Пермского края в 2019–2020 гг. компания АО «Сарановская шахта "Рудная"» проводила опытно-промышленную разработку с добычей до 103 тыс. т руды. Компания ООО «ОборонГеоГрупп» (ООО «Хромиты Урала») ведёт опытно-промышленную разработку месторождения № 219 Свердловской области. За пять лет планируется отработать запасы месторождения с максимальным уровнем добычи 62,5 тыс. т руды. Компания ООО «Аккаргинские хромиты» ведёт опытно-промышленную разработку Аккаргинского месторождения. Компания АО «Челябинский электрометаллургический комбинат» планирует начать эксплуатацию месторождения Енгайское III массива Рай-Из. Компанией ООО «Урал Промышленный – Полярный № 1» подготавливается к освоению группа месторождений Южного рудного поля массива Рай-Из.

1.6.7 Коксующиеся угли и металлургический кокс

Россия располагает значительными запасами требуемых марок коксующихся углей. Разведанные запасы коксующихся углей оцениваются в 39,8 млрд т, в том числе только действующих угольных предприятий – 4 млрд т.

Основной продукцией коксохимического производства является кокс для доменного и литейного производств. Кроме того, кокс используется в производстве ферросплавов, производстве электродов в цветной металлургии, химической промышленности.

Качественные характеристики и содержание различных веществ в коксе представлены в таблице 1.14.

Таблица 1.14 – Качественные характеристики кокса [15]

Фракция, мм	Содержание, %				Холодная прочность	Горячая прочность	Реакционная способность
	золы	серы	летучих	влаги	единиц		
25–40	9,43–13,10	0,40–1,90	0,70–1,10	1,81–3,95	85–88	52–64	24–30

В настоящий момент в черной металлургии России функционируют 11 коксохимических предприятий, из них 8 предприятий находятся на площадках металлургических комбинатов. Общая мощность действующих батарей составляет 35,9 млн т.

Производство кокса в 2020 году составило около 27,6 млн т., коэффициент использования мощности – 76,9 %. Характеристика производства кокса в динамике за 2012–2020 гг. представлена в таблице 1.15.

Таблица 1.15 – Производство валового кокса 6 % влажности в РФ в 2012–2020 гг., тыс. т

Предприятие	Год					
	2012	2013	2014	2015	2016	2020
РОССИЯ всего: В том числе:	30879,0	29722,3	30576,8	30074,9	30345,9	27600
Компания «Группа ММК»						
ПАО «Магнитогорский МК»	5519,9	5192,3	5578,7	5524,5	5330,6	5463
ПАО «СЕВЕРСТАЛЬ»						
ПАО «Северсталь»	4089,5	4518,2	4693,0	4590,0	4560,0	4573,2
Группа «НЛМК»						
ПАО «Новолипецкий МК»	2594,3	2529,8	2504,6	2576,1	2608,9	2621
ОАО «Алтай-Кокс»	4524,9	4159,5	4326,6	4287,7	4318,4	3270
ООО «ЕвразХолдинг»						
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	3197,8	3318,3	3429,9	3161,1	3213,7	2965
АО «ЕВРАЗ НТМК»	2407,9	2174,1	2324,1	2305,6	2324,5	2444
Управляющая компания «Мечел»						
ООО «Мечел-Кокс»	2694,5	2418,3	2604,1	2313,5	2244,4	2041
АО «Москокс»	921,4	723,8	798,6	722,5	742,1	–
УК «Металлоинвест»						
АО «Уральская Сталь»	1283,9	1217,6	1233,7	1458,7	1758,8	1381
Управляющая компания «Промышленно-металлургический холдинг»						
ПАО «Кокс» (г. Кемерово)	2594,6	2552,3	2601,2	2727,3	2824,2	2741
ЗАО «Стройсервис»						
ОАО «Губахинский Кокс»	577,4	398,0	482,4	407,9	420,3	778

Основным технологическим оборудованием коксохимических предприятий являются коксовые батареи. Характеристика коксовых батарей РФ приведена в таблице 1.16.

Российская металлургия располагает достаточными мощностями по производству валового кокса для нужд доменного производства, поставок другим отраслям экономики и на экспорт.

По прогнозам в перспективе до 2030 г. потребность доменного производства в коксе существенно сократится за счет применения пылеугольного топлива и совершенствования технологии доменной плавки. Удельный расход скипового кокса снизится на 25–30 % и составит в 2030 г. в среднем 330 кг/т, что эквивалентно общему потреблению кокса в 25 млн т в год.

Таблица 1.16 – Характеристика коксовых батарей РФ (по состоянию на 31.12.2020 г.)

Наименование предприятий и номера коксовых батарей	Кол-во действ. коксовых батарей	Год ввода	Срок служ-бы, лет	Проект-ная мощ-ность, тыс. т	Коли-чество печей в ба-тарее	Характеристика печей		Примечание
						тип	Полезный объем камеры, $м^3$	
ОАО «Алтай-Кокс»	5			5000	354			
в том числе:								
к.б. № 1	1	1981	39	930	65	ПВР	41,6	
к.б. № 2	1	1982	38	930	65	ПВР	41,6	
к.б. № 3	1	1983	37	1000	71	ПВР	41,6	
к.б. № 4	1	1985	35	1000	71	ПВР	41,6	
к.б. № 5	1	2006	14	1140	82	ПВР	51,0	Комплекс трамбования шихты введен 14.09.2020
ОАО «Губахинский Кокс»	1			650	65			
в том числе:								
к.б. № 1-бис	1	2011	9	650	65	ПВР	30,9	На горячей консервации с апреля 2013 г.
к.б. № 2-бис	1	2002	8	650	65	ПВР	30,9	
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	5			3830	349		37	
в том числе:								
к.б. № 1	1	2005	15	750	77	ПВР	35,5	
к.б. № 4	1	1968	52	690	77	ПВР	30,0	
к.б. № 5	1	1971	49	730	65	ПВР	32,3	
к.б. № 6	1	1971	49	730	65	ПВР	32,3	

Продолжение таблицы 1.6

Наименование предприятий и номера коксовых батарей	Кол-во действ. коксовых батарей	Год ввода	Срок служ-бы, лет	Проект-ная мощ-ность, тыс. т	Коли-чество печей в ба-тарее	Характеристика печей		Примечание
						тип	Полезный объем камеры, м^3	
к.б. № 7	1	1989	31	930	65	ПВР	41,3	
ПАО «Кокс» г.Кемерово	4			3180	266			
в том числе:								
к.б. № 3	1	2007	13	850	71	ПВР	42,9	
к.б. № 4	1	1975	45	700	65	ПВР	30,9	
к.б. № 5	1	1979	41	930	65	ПВР	41,6	
к.б. № 6	1	2001	19	700	65	ПВР	30,7	
ПАО «Магнитогорский МК»	9			6603	573			
в том числе:								
к.б. № 1	1	1976	44	613	56	ПВР	30,9	
к.б. № 2	1	1975	45	613	56	ПВР	30,9	
к.б. № 3	1	1971	49	613	56	ПВР	30,9	
к.б. № 4	1	1984	36	594	56	ПВР	30,9	
к.б. № 7	1	1983	37	930	65	ПВР	41,6	
к.б. № 8	1	1981	39	930	65	ПВР	41,6	
к.б. № 9	1	1986	34	930	65	ПВР	41,6	
к.б. № 11-бис	1			1140	82	ПВР	51,0	Строительство законсервировано 01.12.2008
к.б. № 13	1	1964	56	690	77	ПВР	30	

Продолжение таблицы 1.6

Наименование предприятий и номера коксовых батарей	Кол-во действ. коксовых батарей	Год ввода	Срок служ-бы, лет	Проект-ная мощ-ность, тыс. т	Коли-чество печей в ба-тарее	Характеристика печей		Примечание
						тип	Полезный объем камеры, м^3	
к.б. № 14	1	1966	54	690	77	ПВР	30	
АО «Москокс»	4			1316	178			
в том числе:								
к.б. № 1	1	1996	24	385	52	ПВР	23,4	
к.б. № 2	1	1995	25	273	37	ПВР	23,4	
к.б. № 3	1	1994	26	273	37	ПВР	23,4	
к.б. № 4	1	1993	27	385	52	ПВР	23,4	
АО «ЕВРАЗ НТМК»	4			2846	264			
в том числе:								
к.б. № 5	1	2006	14	453	61	ПКр	21,6	
к.б. № 6	1	2002	18	453	61	ПКр	21,6	
к.б. № 9	1	1986	34	970	71	ПВР	41,3	
к.б. № 10	1	1989	31	970	71	ПВР	41,3	
ПАО «НЛМК»	4			2540	276			
в том числе:								
к.б. № 1	1	2005	15	460	61	ПВР	23,7	
к.б. № 2	1	2007	13	460	61	ПВР	23,7	
к.б. № 5	1	1999	21	810	77	ПВР	35,2	

Продолжение таблицы 1.6

Наименование предприятий и номера коксовых батарей	Кол-во действ. коксовых батарей	Год ввода	Срок служ-бы, лет	Проект-ная мощ-ность, тыс. т	Коли-чество печей в ба-тарее	Характеристика печей		Примечание
						тип	Полезный объем камеры, $м^3$	
к.б. № 6	1	2000	20	810	77	ПВР	35,2	
АО «Уральская Сталь»	4			1968	248			
в том числе:								
к.б. № 1	1	1992	28	426	61	ПВР	20	
к.б. № 3	1	1988	32	426	61	ПВР	20	
к.б. № 4	1	1987	33	426	61	ПВР	20	
к.б. № 6	1	2014	6	690	65	ПВР	30,3	Введена в сентябре 2014 г.
ООО «Мечел-Кокс»	7			3250	435			
в том числе:								
к.б. № 1	1	1985	35	440	61	ПК-БК	20,0	
к.б. № 2	1	1981	39	440	61	ПК-БК	20,0	
к.б. № 4	1	1983	37	440	61	ПК-БК	20,0	
к.б. № 5	1	2011	9	470	61	ПВР	21,6	
к.б. № 6	1	2011	9	470	61	ПВР	21,6	
к.б. № 7	1	2006	14	495	65	ПВР	21,6	
к.б. № 8	1	1994	26	495	65	ПВР	21,6	
ПАО «Северсталь»	9			6560	648			
в том числе:								

Окончание таблицы 1.6

Наименование предприятий и номера коксовых батарей	Кол-во действ. коксовых батарей	Год ввода	Срок служ-бы, лет	Проект-ная мощ-ность, тыс. т	Коли-чество печей в ба-тарее	Характеристика печей		Примечание
						тип	Полезный объем камеры, $м^3$	
к.б. № 3	1	2006	14	460	61	ПВР	21,6	
к.б. № 4	1	2018	2	460	61	ПВР	21,6	
к.б. № 5	1	1993	27	660	77	ПВР	29,8	
к.б. № 6	1	1994	26	660	77	ПВР	29,8	
к.б. № 7	1	2013	7	730	65	ПВР	32,3	Введена 04.04.2013 г.
к.б. № 8	1	1972	48	730	65	ПВР	32,3	
к.б. № 9	1	1978	42	730	65	ПВР	32,3	
к.б. № 10	1	1978	42	730	65	ПВР	32,3	
к.б. № 11	1	2020	0	1400	112	ПВР		1-й блок из 56 печей введен в декабре 2020 г.
ВСЕГО (действующих батарей):	56			37743	3656			
Число батарей, остановленных на перекладку:	5			2936	341	(ЗСМК КБ 2,3; «Мечел» КБ 3; «Уральская Сталь» КБ 2,5)		

1.6.8 Стальной лом

Увеличение выплавки стали в основном за счет развития электросталеплавильного производства требует особого внимания к вопросу обеспеченности стальным ломом.

По прогнозам в сравнении с 2015 г. в 2030 г. потребность в стальном ломе увеличится на 37 % – до 44,8 млн т. Для обеспечения возрастающей потребности в стальном ломе Россия располагает значительным металлофондом, оцениваемым в размере 1,6 млрд т. С учетом роста металлопотребления в машиностроении и строительстве, увеличения производства черных металлов общие ресурсы стального лома составят 46,8 млн т. Соответственно, профицит оценивается в размере 2,0 млн т.

Неравномерность образования и сбора лома по регионам страны, а также значительная волатильность заготовки лома от своевременного вывода и ремонта основных средств, ценовых и других рыночных факторов создают дополнительные риски в обеспечении ломом черной металлургии.

1.7 Воздействие металлургических предприятий на экологическую обстановку

1.7.1 Общие сведения о воздействии металлургических предприятий на экологическую обстановку

Основные технологические процессы производства чугуна, стали и их последующего передела сопровождаются образованием эмиссий в виде газообразных и твердых загрязняющих веществ, пыли, сточных вод; широкой номенклатуры отходов и побочных продуктов: шлаков, шламов, скрапа, окалины, боя огнеупоров, мусора и других воздействий, влияющих на состояние воздуха, воды и почвы.

При этом необходимо отметить, что в последние годы металлургические заводы уделяют значительное внимание экологическим вопросам и системно занимаются направлением по снижению вредного влияния промышленности на окружающую среду и здоровье человека.

Значительная часть инвестиционных средств (за 2000–2020 гг. объем инвестций составил 2.96 трлн руб.) направлена на обеспечение мероприятий по сокращению воздействия производственной деятельности на окружающую среду, энергосбережение и развитие транспортной инфраструктуры.

Черная металлургия имеет высокий уровень оборотного водоснабжения (93,0 %), а сброс загрязненных вод в водоемы составляет менее 3 %. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу для черной металлургии составляют 5–6 % от общего объема данных выбросов по России в целом [10].

В черной металлургии снижение удельных показателей энергоемкости проводится путем внедрения инновационных технологий: энерго- и ресурсосберегающих технологий переработки железных и других руд; дальнейшее внедрение в доменном производстве технологии пылеугольного топлива; рециклинга доменного газа и др.; внедрения совмещенных процессов производства металлопродукции с целью сокращения технологических операций.

Начиная с 2013 г., дополнительные ежегодные затраты металлургических предприятий на оснащение стационарных источников автоматическими средствами измерения объемов выбросов, сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами передачи информации об их объеме в государственную автоматизированную систему экологического контроля превышают 50 млрд руб.

Все крупные металлургические предприятия России сертифицированы на соответствие стандартам серии ISO 14000 Система экологического менеджмента.

1.7.2 Краткая информация по предприятиям

ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

В 2015 г. была принята Стратегия развития комбината до 2025 г[1)], одним из приоритетов которой является инициатива «Чистый город» [16]. В рамках реализации Стратегии в 2015–2020 гг. осуществлены и начаты строительством ряд объектов:

- введена в строй аглофабрика № 5 (выведена из эксплуатации аглофабрика № 4), стоимость проекта 30 млрд руб., экологичский эффект – сокращение в 2019 г. выбросов пыли на 175 т, сокращение в 2020 г. выбросов пыли на 1900 тонн;

- реконструирована сероулавливающая установка № 2 (в 2020 г. выбросы сернистого ангидрида снизились на 3500 т);

- завершено строительство гидротехнического сооружения (дамбы), позволившей организовать замкнутую систему водооборота;

- за счет вовлечения накопленных шлаков в хозяйственный оборот в 2021 г. планируется ликвидировать шлаковый отвал мартеновских шлаков;

- начато строительство (готовность – в 2022 г.) коксовой батереи № 12 производительностью 2,5 млн т кокса (с последующим выводом нескольких старых коксовых батарей), стоимость проекта – 66 млрд руб., экологический эффект – сокращение выбросов загрязняющих веществ на 11350 т в год;

- приступили к проекту строительства доменной печи № 11 мощностью 3,7 млн т чугуна в год (завершение строительства – в 2024 г.) с последующей остановкой доменных печей № 1, 2, 9), стоимость проекта – 69 млрд руб., экологический эффект – сокращение выбросов на 6600 т в год.

В 2019 г. была разработана «Экологическая программа ПАО "ММК"», включающая в себя 88 мероприятий, направленных на сокращение и предотвращение негативного воздействия на окружающую среду:

- 47 мероприятий по снижению и предотвращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;

- 23 меры по снижению и предотвращению сбросов загрязняющих веществ в водные объекты;

- 18 мероприятий по утилизации и экологически безопасному размещению отходов, рекультивации земель.

Динамика снижения валовых и удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, снижения валовых и удельных сбросов сточных вод в водоемы и динамика показателей переработки и использования отходов и шлаков на ПАО «ММК» показаны на рисунках 1.14, 1.15 и 1.16 соответственно.

Качество атмосферного воздуха города Магнитогорска улучшилось (КИЗА уменьшилось на 24 % с 9,0 в 2018 г. до 6,8 в 2019 г.), уровень загрязнения снизился с «высокого» до «повышенного» благодаря сокращению валовых выбросов (рисунок 1.14). В 2019 г. Магнитогорск был исключен из списка городов с очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

Валовые сбросы в водные объекты уменьшились (по отношению к 2018 г.) на 35 тыс. т (или 58,4 %) и составили 24,9 тыс. т/год. Удельные сбросы (по отношению к 2018 году) уменьшились на 56,1 % и составили 2,3 кг/т металлопродукции (рисунок 1.15)

Количество отходов и шлаков, использованных для рекультивации отработанных карьеров горы Магнитной, увеличилось на 3,9 % и составило 10,7 млн т; в 2019 г. (в сравнении с 2018 г.) количество отходов 1–5 класса опасности (без учёта пустой породы), размещаемых на разрешенных объектах, увеличилось на 86,7 тыс. т (на 6,7 %) и составило 1 285,5 тыс. т/год (рисунок 1.16).

Затраты на природоохранную деятельность в 2019 г. составили 6,781 млрд руб., в том числе затраты на капитальное строительство природоохранных объектов составили 3 506 млрд руб.

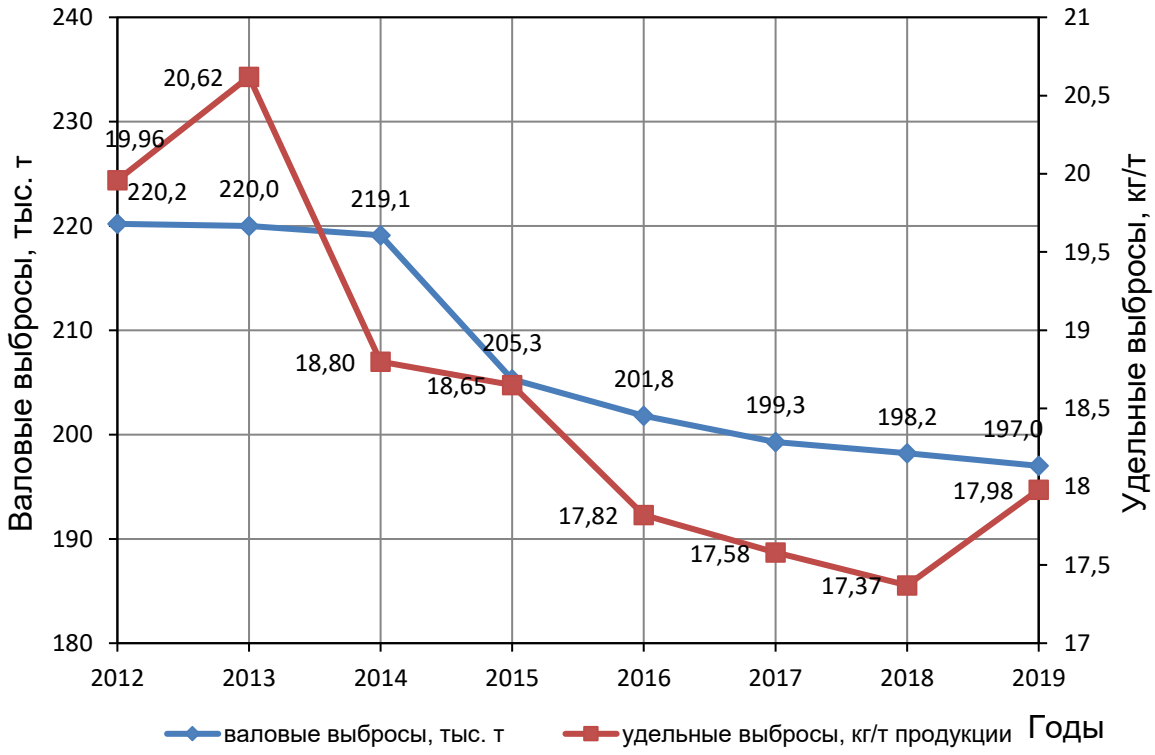


Рисунок 1.14 – Динамика снижения валовых и удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в ПАО «ММК»

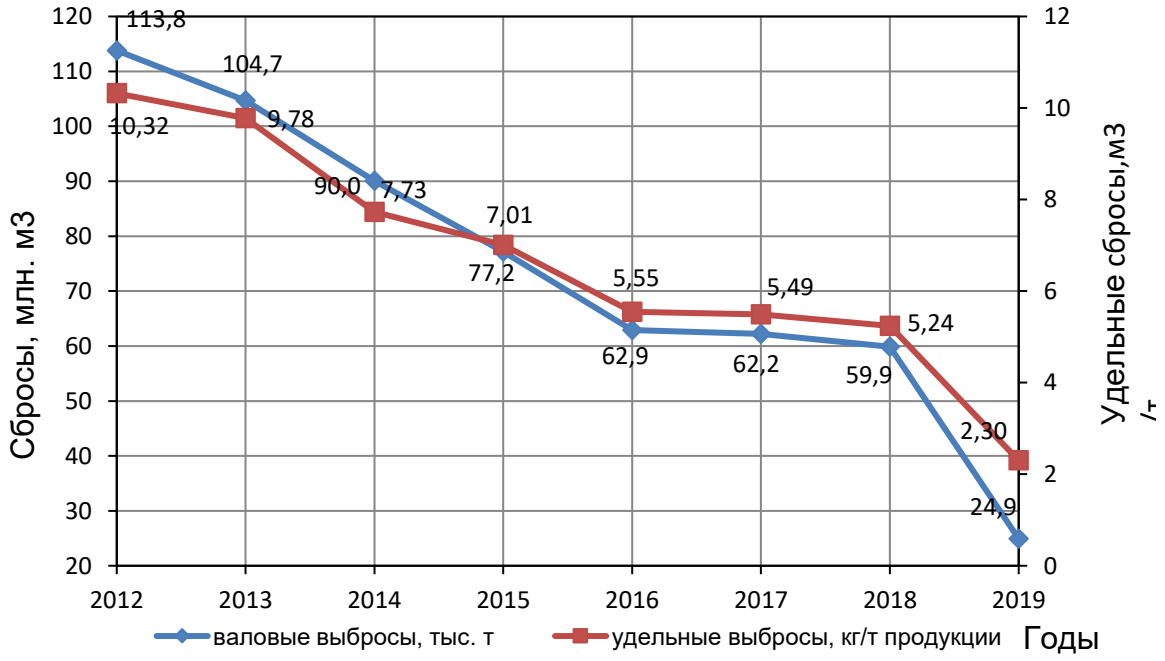


Рисунок 1.15 – Динамика снижения валовых и удельных сбросов сточных вод в водоемы в ПАО «ММК»



Рисунок 1.1 – Динамика показателей переработки и использования отходов и шлаков в ПАО «ММК»

ПАО «Северсталь»

«Северсталь-групп» реализует масштабную программу мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия производственной деятельности на окружающую среду и повышение эффективности использования ресурсов. Среди целей компании до 2025 г: снизить массу сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод в водные объекты, превышающих НДС, на 12 %; снизить массу размещаемых отходов на 20 %; достигнуть снижения выбросов в атмосферу загрязняющих веществ на 13 % [17].

Приоритетные направления деятельности компании в сфере охраны окружающей среды: предупреждать и минимизировать воздействие на окружающую среду; участвовать в решении проблемы выбросов парниковых газов; экономно и рационально использовать энергию и природные ресурсы; эффективно управлять образующимися отходами.

В 2018 г. «Северсталь» стала победителем конкурса People Investor в номинации «Экологическая эффективность» с проектом по доочистке сточных вод с помощью водных растений на площадках активов в Оленегорске и Череповце [12].

В 2020 г. затраты на природоохранную деятельность составили 3,69 млрд руб., удельные выбросы снизились на 6,3 % по сравнению с 2019 г., 98,4 % от общего водопотребления Череповецкого металлургического комбината составляет оборотная вода.

Мероприятия по природоохранной деятельности:

Череповецкий металлургический комбинат:

- завершение технического перевооружения с модернизацией системы газоудаления сталеплавильных печей МЦ «ССМ-Тяжмаш»;

- техническое перевооружение участка переработки шламов газоочисток доменных печей (выполнение пуско-наладочных работ);

- выполнение предпроектных проработок по строительству системы доочистки сточных вод выпуска № 3;

- модернизация установки биологической очистки сточных вод, сбрасываемых в Рыбинское водохранилище.

АО «Северсталь Дистрибуция»:

- запуск в эксплуатацию очистных сооружений № 2 после реконструкции.

АО «Северсталь Метиз»:

- модернизация агрегата № 7 в сталепроволочном цехе 2 (замена ванны травления на ванну переливного типа) для снижения массы выбросов паров серной кислоты в атмосферный воздух.

АО «Воркутауголь»:

- повышение эффективности существующих схем очистки на шахтах «Воркутинская» и «Заполярная»;

- продолжение рекультивации Юньягинского месторождения.

АО «Олкон»:

- продолжение внедрения технологии очистки карьерных вод от веществ азотной группы методом биоремедиации;

- завершение прокладки пульпопроводов и водоводов для исключения сбросов загрязняющих веществ в водные объекты.

АО «Карельский окатыш»:

- выполнение программы по снижению выбросов диоксида серы в атмосферный воздух;

- разработка технических решений по реконструкции хвостового хозяйства (новый метод укладки хвостов);

- подбор оптимальных реагентов на участке сгущения хвостов; улучшение качества осветленной воды, подаваемой на технологические нужды;

- завершение строительства установки по переработке отходов производства методом пиролиза; частичное обезвреживание и утилизация отходов III–IV класса опасности (перевод отходов в продукцию).

ПАО «Новолипецкийметаллургическийкомбинат» (ПАО «НЛМК»)

Группа НЛМК инвестировала в 2000–2020 гг. в природоохранные проекты около $ 1,3 млрд (более 51 млрд руб.). За это время объем производства удвоился, и компания стала крупнейшим производителем стали в России. При этом воздействие на окружающую среду существенно снизилось благодаря внедрению современных технологий и масштабной модернизации оборудования [18].

Динамика инвестиций Группы НЛМК в природоохранные мероприятия показана на рисунке 1.17.

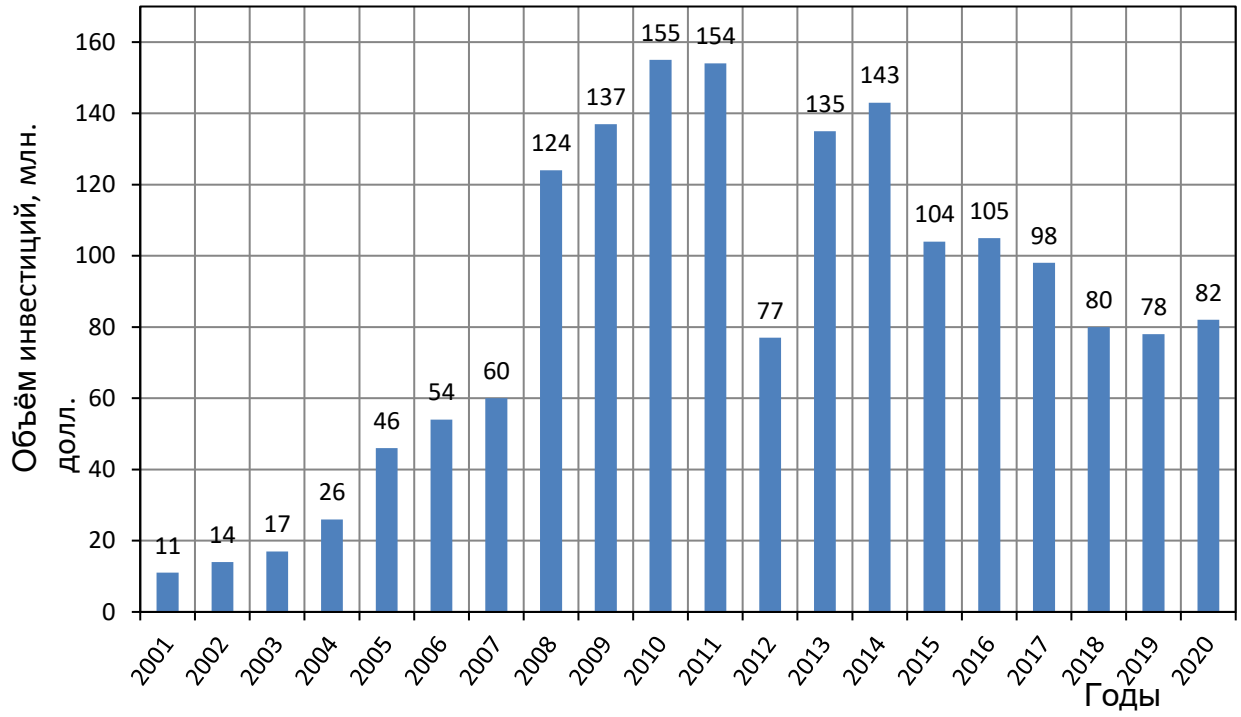


Рисунок 1.17 – Динамика инвестиций в природоохранные мероприятия Группы НЛМК

Группа НЛМК последовательно сокращает удельные эмиссии в атмосферу. В 2020 г. данный показатель составил 19,8 кг/т стали. Эти результаты были достигнуты за счет комплекса управленческих мер и инвестиционных проектов – реконструируются производственные агрегаты, устанавливаются пылегазоочистные установки, монтируется или модифицируется фильтровальное оборудование, внедряются технологии нейтрализации, улавливания и рециклинга вторичных ресурсов в производственный оборот, в том числе:

- проведение капитального ремонта доменных печей №№ 4,6 с реконструкцией и заменой аспирационных систем на более эффективные в доменных цехах;

- реконструкция конвертеров №№ 2–3 с системой улавливания неорганизованных эмиссий конвертерного цеха № 2;

- строительство нового участка для обеспечения безводного охлаждения всего образующегося шлака доменного цеха № 1;

- реконструкция пылегазоочистной установки АТУ-24 в огнеупорном цехе, позволяющая более чем на 90 % снизить эмиссию пыли на участке (суммарный эффект – 100 тонн/год);

- реконструкция отделений улавливания с объединением потоков коксового газа коксовых батарей в коксохимическом цехе.

Сокращение эмиссий от указанных проектов составило 8 тыс. т/в год.

В настоящее время реализуются стратегически значимые для НЛМК проекты, которые позволят сократить валовые выбросы на 11 тыс. т в год:

- строительство утилизационной теплоэлектроцентрали;

- реконструкция воздухонагревателей на доменной печи № 4.

Динамика снижения удельных выбросов предприятий группы НЛМК показана на рисунке 1.18.

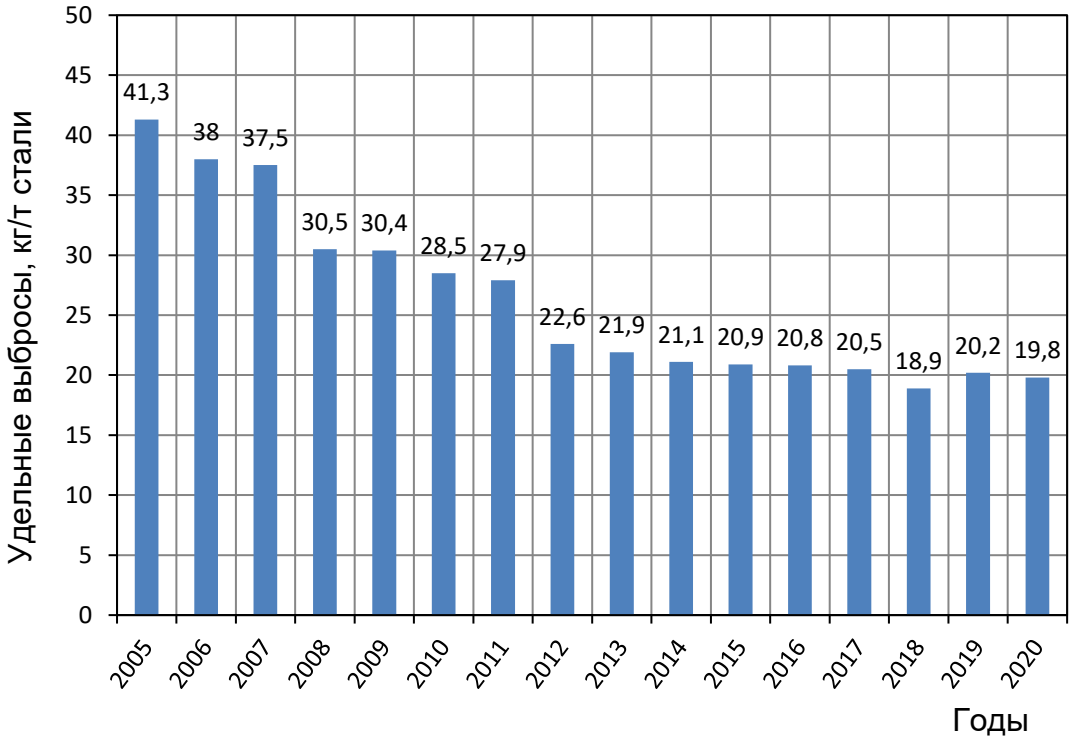


Рисунок 1.18 – Динамика снижения удельных выбросов предприятий Группы НЛМК

Удельное водопотребление (на тонну произведенной стали) последовательно сокращается и в 2020 г. снизилось до 5,1 м^3/т против лучших мировых практик в 7,0 м^3/т. На большинстве предприятий Группы НЛМК организовано оборотное водоснабжение. На НЛМК, «Алтай-Кокс», «ВИЗ-Сталь», «НЛМК-Калуга», «Стойленский ГОК», «НЛМК-Урал», «НЛМК-Метиз» созданы водооборотные схемы, как локальные по отдельным производствам, так и замкнутые. Это позволяет снижать водозабор и водоотведение промышленных сточных вод в поверхностные водные объекты.

Доля оборотного водоснабжения в Группе НЛМК находится на стабильно высоком уровне – 97 %. Благодаря мероприятиям по контролю за водопотреблением в 2020 г. отмечен самый низкий за пять лет объём потребления воды.

В 2020 г. на Липецкой площадке завершен проект по модернизации локальных очистных сооружений хозяйственно-бытовых стоков с объёмом инвестиций 118 млн руб. За пять лет снижение объёма водоотведения на Липецкой площадке составило 4,2 млн м^3 (−34 %). За последние 40 лет использование воды из реки Воронеж на основной площадке Группы НЛМК в Липецке сокращено в девять раз.

Динамика снижения удельного водопотребления предприятий Группы НЛМК показана на рисунке 1.19.

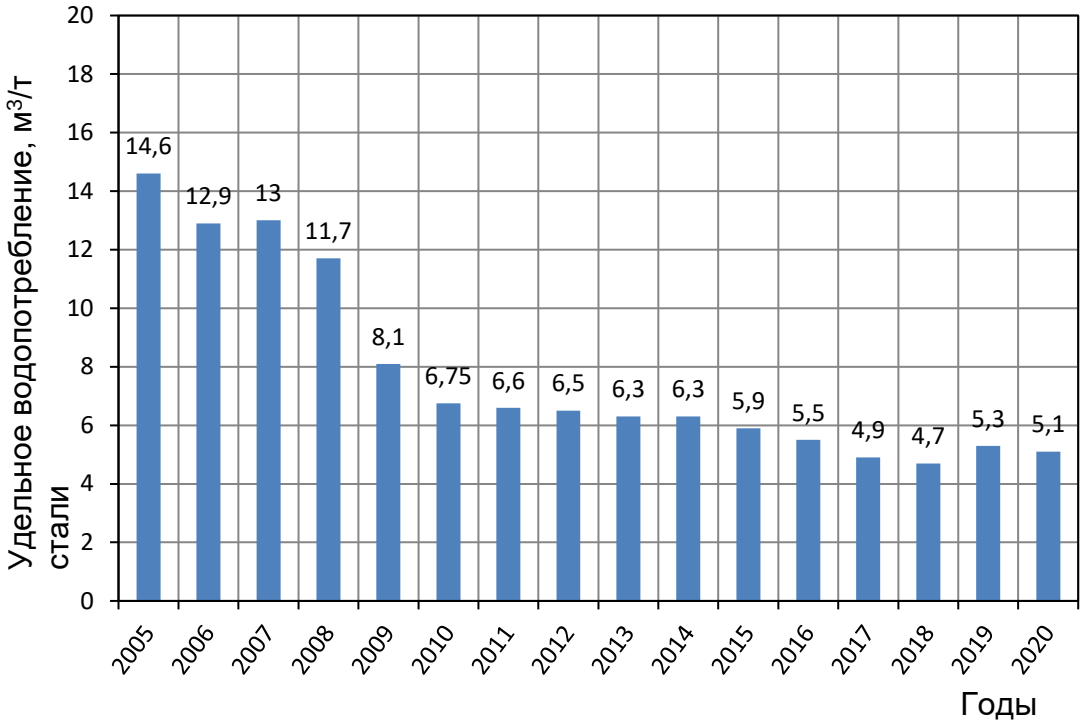


Рисунок 1.29 – Динамика снижения удельного водопотребления предприятий Группы НЛМК

Применение современных технологий по переработке вторичных ресурсов, а также реализация различных инициатив по рециклингу позволяют эффективно использовать вторичные ресурсы. В 2020 г. доля повторного использования железосодержащего сырья на предприятиях Группы НЛМК без учета отходов горной добычи составила 99 %.

В 2020 г. завершено строительство отделения по производству железосодержащих брикетов производительностью 700 тыс. т в год с целью вовлечения в рециклинг доменных шламов с заменой части традиционной доменной шихты (окатышей и агломерата).

В 2020 г. в Липецке был построен новый комплекс по переработке доменного шлака на месте шлакового отвала, накопленного с 70-х годов прошлого столетия. Переработано почти 6 млн т различных материалов и извлечено более 300 тыс. т железа, повторно использованного для производства стали. В хозяйственный оборот возвращено около 25 га полезной площади.

Уровень переработки отходов российских металлургических активов группы НЛМК в процентах от образования отходов показан на рисунке 1.20.

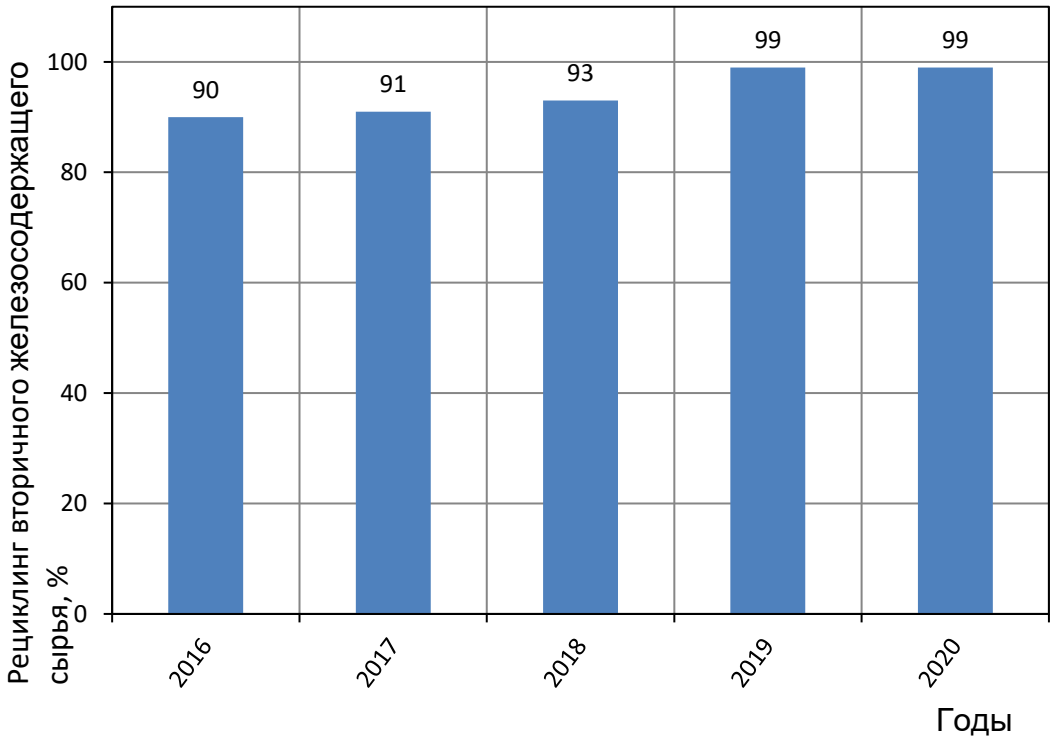


Рисунок 1.20 – Динамика рециклинга вторичного железосодержащего сырья в Группе НЛМК, %

ООО УК «Металлоинвест»

Компанией разработана комплексная экологическая программа, включающая, в том числе вопросы биоразнообразия и изменения климата. На предприятиях ООО УК «Металлоинвест» ежегодно реализуются программы, позволяющие сохранять уровень воздействия на окружающую среду существенно ниже установленных норм [19]. Динамика валовых выбросов предприятий ООО УК «Металлоинвест» представлена на рисунке 1.21. Так, в 2020 г. объем валовых выбросов составил 136,9 тыс. т., увеличившись сравнительно с 2019 г. на 9,7 % в связи с выходом на проектную мощность цеха № 3 по производству ГБЖ на ЛебГОКе.

Динамика сбросов загрязняющих веществ по металлургическому сегменту компании (ОЭМК, «Уральская Сталь») приведена на рисунке 1.22. В 2020 г. объем сточных вод составил 0,472 млн м^3. Весь объем отводимых сточных вод на ОЭМК им. А.В. Варичева проходит комплекс очистных сооружений. Предприятие АО «Уральская Сталь» имеет замкнутый (бессточный) водооборот.

В 2019 г. на 12 % увеличилась доля утилизации отходов, при этом на 4,1 % снизился объем размещаемых отходов.

Компания реализует крупные инвестиционные проекты (в 2020 г. затраты на эти цели составили $ 496 млн) в соответствии с концепцией наилучших доступных технологий:

- выведено из эксплуатации мартеновское производство стали на АО «Уральская Сталь» [14];
- введена в работу МНЛЗ № 3 на АО ОЭМК им. А.А. Угарова;

- завершена реконструкция газоочистного оборудованияна обжиговой машине № 4 ЛебГОК с установкой новых электрофильтров, что в 4 раза повысило эффективность улавливания и очистки);

- на 4-х технологических секциях обогатительной фабрики АО «МГОК им. А.В. Варичева» запущена первая очередь технологии тонкого грохочения концентрата с использованием оборудования Derrick; это позволило повысить содержание железа в концентрате с 65 до 67 % (годовое производство дообогащенного концентрата – 3,7 млн т);

- на АО «Уральская Сталь» проведена модернизация комплекса доменных печей №№ 2, 3 в целях обеспечения возможности работы печи с составом шихты 95 % окатышей;

- разрабатывается проект реконструкции системы аспирации бункерной эстакады доменных печей №№ 3, 4 в АО «Уральская Сталь»;

- модернизирована установка очистки сточных вод на ОЭМК им. А.А. Угарова (глубокая очистка – технология ультрафильтрации и двухступенчатого обратного осмоса), достигнута эффективность очистки более 99 %;

- завершено строительство дробильно-конвейерного комплекса на юго-восточном борту карьера МГОК им. А.В. Варичева (сократит выбросы в атмосферу и образование отходов рыхлой вскрыши).

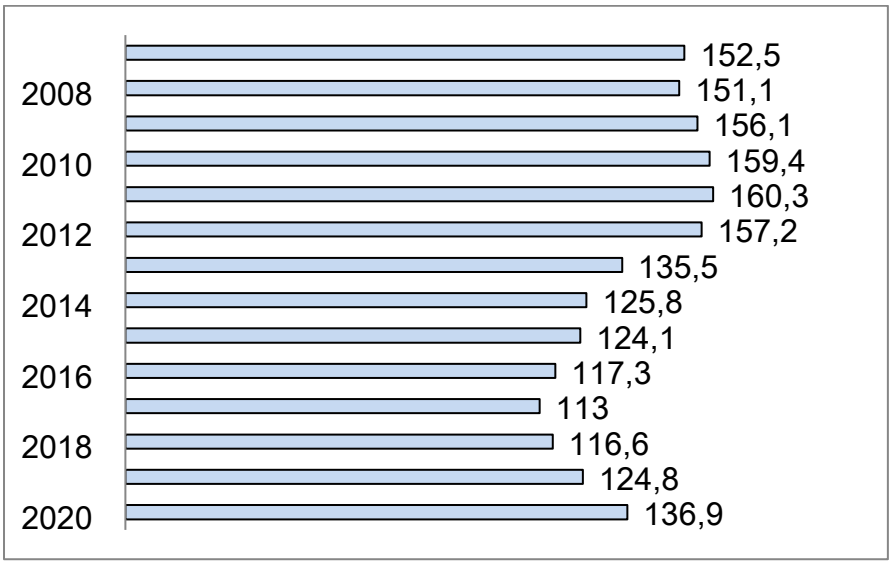


Рисунок 1.21 – Динамика валовых выбросов на предприятиях ООО УК «Металлоинвест», тыс. т



Металлургический сегмент- ОЭМК им. А.А. Угарова, АО «Уральская Сталь»

Рисунок 1.22 – Динамика сброса сточных вод на предприятиях металлургического сегмента ООО УК «Металлоинвест»

К 2025 г. ООО УК «Металлоинвест» в соответствии с комплексной экологической программой поставила следующие цели:

- снизить валовые выбросы на 7 % (по сравнению с 2020 г.);
- обеспечить переход систем водоотведения предприятий ОЭМК им. А.А. Угарова, МГОК им. А.В. Варичева на бессточную схему;
- снизить на 33 % объем образования вскрышных пород на ЛебГОКе и МГОКе им. А.В. Варичева (за счет строительства дробильно-конвейерных комплексов).

ООО «ЕвразХолдинг»

В 2020 г. ООО «Евраз Холдинг» [20] обновил свою экологическую стратегию до 2030 г. и разработал 2 сценария по уровню эффектов и капитальных вложений: реалистичный и стрессовый. С целью оправдать ожидания инвесторов и общественности группа поставила новые цели до 2030 года в рамках реслистического сценария, приняв за базовый 2019 г.:

- снижение общего объема эмиссий в атмосферу на 33 % в сегменте производства стали (в сегменте угледобычи снижения пылевыделения в 1,5 раза);
- нулевой сброс сточных вод в сегменте производства стали;
- утилизация 95 % металлургических и иных отходов в сегменте производства стали (в сегменте горнодобычи – повторное использование 50 % отходов горного производства).

Одним из приоритетных направлений для предприятий ООО «Евраз Холдинг» в области охраны окружающей среды является снижение выбросов в атмосферу. Стратегия по сокращению выбросов предусматривает модернизацию систем газоочистки, внедрение современных технологий и изъятие из производства устаревшего оборудования.

В 2020 г. объем ключевых выбросов в атмосферу (рисунок 1.23) по сравнению с уровнем 2019 г. снизился примерно на 5 % (общий объем эмиссий сократился лишь на 3,7 %; при этом пылевыделение в сегменте угледобычи уменьшилось на 10,1 %).

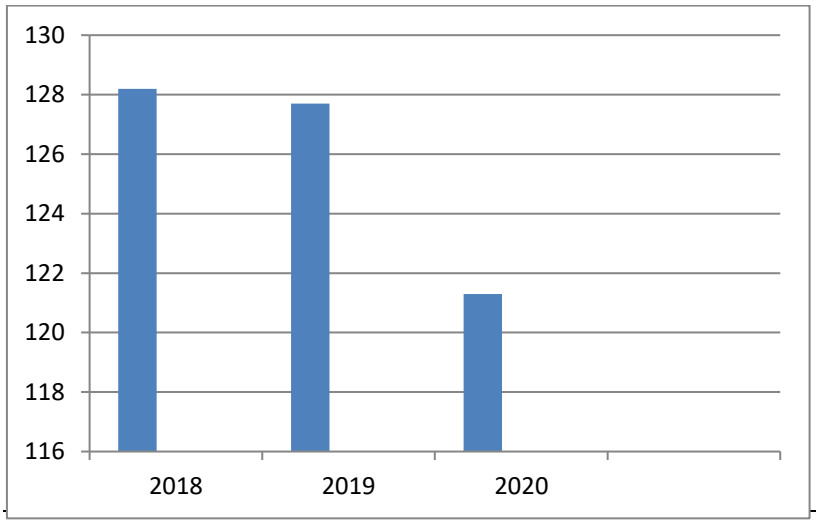


Рисунок 1.23 – Динамика выбросов ключевых эмиссий предприятий ООО «Евраз Холдинга», тыс. т

ООО «Евраз Холдинг» стремится эффективно использовать водные ресурсы и предотвращать негативное воздействие на качество воды в результате экологических аварий.

В 2020 г. потребление воды предприятиями холдинга снижено до уровня 206 млн м^3, при этом сброс сточных вод составил 68,6 млн м^3 (снижение сброса относительно 2019 г. составило 0,4 %).

В результате горнодобывающих и металлургических операций генерируется существенный объем отходов, в том числе пустая порода, отработанная руда, хвосты (отходы от обогащения руды и производства концентратов). ООО «Евраз Холдинг» стремится сократить объемы отходов производства, при возможности повторно использовать имеющиеся природные ресурсы, и удалять отходы таким образом, чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду, при этом максимально повышая операционную и экономическую эффективность своей деятельности.

В соответствии со стратегией группы по сокращению объемов хранения отходов и расширению объемов утилизации, предприятия ООО «Евраз Холдинг» систематически изыскивают возможности рециркуляции отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот. Так, в 2020 г. объем утилизации (полезного использования отходов) составил 102,7 % (с учетом ранее накопленных отходов).

Стратегия ООО «Евраз Холдинг» по обращению с безопасными отходами горного производства, такими как пустая порода, хвосты, вскрыша, заключается в их использовании, насколько это возможно, в восстановлении земельных участков, строительстве дамб и дорог. Отходы, не подлежащие переработке, хранятся в специальных комплексах, предотвращающих попадание вредных субстанций, содержащихся в таких отходах, в окружающую среду. Безопасность в таких комплексах поддерживается на исключительно высоком уровне, предпринимаются меры по предотвращению ущерба третьим сторонам в экстренных случаях [15].

В ООО «Евраз Холдинг» во исполнение обновленной экологической стратегии реазован и планируется комплекс проектов и мероприятий:

- на Распадской введена в эксплуатацию новая мобильная установка пылеподавления с замкнутым водно-шламовым циклом; снижает выбросы пыли на производственном участке на 85–90 %;

- в АО «Евраз ЗСМК» начато (в 2020 г.) строительство водоочистных сооружений сточных вод (многостадийная обработка воды производительностью 600 м^3/ч с целью последующего ее возврата в производство);

- в доменном цехе АО «Евраз ЗСМК» завершен проект по техническому перевооружению воздухонагревателей доменной печи № 2, что позволит уменьшить выбросы оксида углерода в атмосферу; кроме того, в связи с повышением температуры дутья снизить на 6 % расход кокса в доменной плавке;

- начаты строительные работы на площадке АО «Евраз НТМК» в г. Кушва по капитальному ремонту обжиговой печи для производства извести мощностью 150 тыс. т сырья для нужд агломерационного производства АО «Евраз КГОК»;

- ведется проектирование в АО «Евраз ЗСМК» печи для обжига известняка, оснащенной современными очистными устройствами (рукавными фильтрами с эффективностью очистки 99 %), что снизит выбросы в атмосферу г. Новокузнецка от цеха обжига известняка на 30 %;

- модернизация электрофильтров на котлах № 7,8 в АО «Евраз ЗСМК», что снизило выбросы пыли на 10000 т в год;

- на АО «Евраз НТМК» после пусконаладочных мероприятий введена в работу мощная аспирационная установка в миксерном отделении конвертерного цеха – это одно из важных мероприятий холдинга в рамках федеральной программы «Чистый воздух» национального проекта «Экология».

Группа «Мечел»

Группа «Мечел» ведет целенаправленную работу, направленную на улучшение экологической обстановки на всех входящих в Группу предприятиях и в регионах присутствия [21]. Все реализованные и текущие проекты модернизации предусматривают использование передовых технологий производства и современного природоохранного оборудования, что обеспечивает существенное снижение негативного воздействия на окружающую среду. Кроме того, выстроен постоянный диалог с населением регионов, где размещены предприятия «Мечел», что позволяет оперативно реагировать на волнующие жителей экологические проблемы и, соответственно, совершенствовать природоохранные программы.

Динамика выбросов загрязняющих веществ предприятий Группы «Мечел» показана на рисунке 1.24.

Общий объем эмиссий загрязняющих веществ в 2020 г. снизился на 8,4 % сравнительно с 2019 г. за счет реализации воздухоохранных проектов, в том числе:

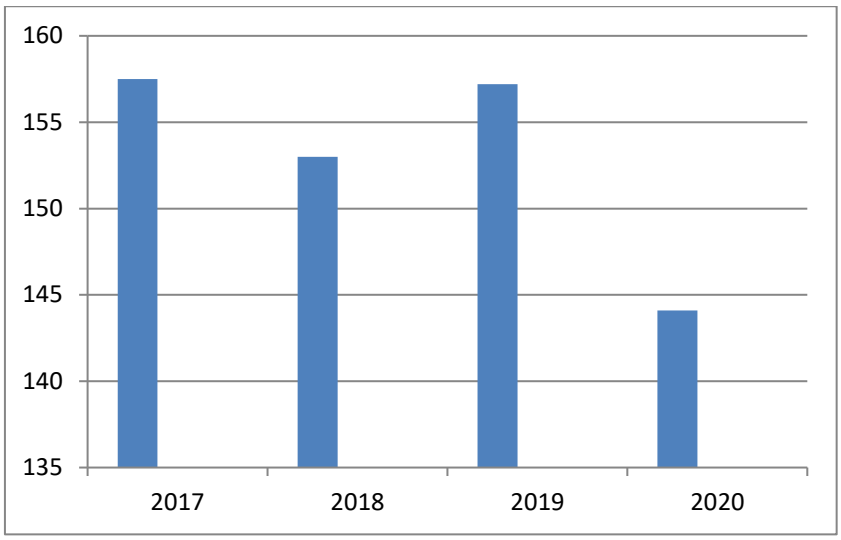


Рисунок 1.24 – Динамика выбросов загрязняющих веществ предприятий Группы «Мечел», тыс. т

- замена конвертера № 1 с газоотведящим трактом на ПАО ЧМК;
- техническое перевооружение руднотермической печи № 3 на ООО «Братский завод ферросплавов».

Группа «Мечел» реализует мероприятия, исключающие загрязнение водного бассейна:

- запущен замкнутый (бессточный) цикл водоснабдения на предприятии ООО «Мечел-Кокс» и АО «МосКокс».

Общие затраты на природоохранные мероприятия в 2011–2020 гг. составили 14,4 млрд руб.

На 2025 г. (в сравнении с 2019 г.) по Челябинской площадке Группа «Мечел» обозначила следующие цели:

- сократить валовые выбросы на 17 %;
- снизить массу сбросов загрязняющий веществ со сточными водами на 10 %.

На природоохранные цели до 2024 г. Группа «Мечел» предполагает выделить 9,8 млрд руб.

В настоящее время металлургические компании уделяют большое внимание вопросам охраны окружающей среды, стремясь:

- повысить эффективность использования имеющихся природных ресурсов, ориентируясь тем самым на лучшие зарубежные и отечественные практики в области металлургии;
- сократить объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов в водоемы, размещения отходов производства, в том числе увеличивая вторичное их использование в производстве металлопродукции (рециклинг);
- активно выводить из эксплуатации устаревшие агрегаты и объекты инфраструктуры с высокой степенью негативного воздействия на окружающую среду;
- внедрять современные технологические комплексы и новейшие технические решения с улучшенными экологическими показателями на уровне наилучших доступных технологий.

1.8 Перспективы развития отрасли

1.8.1 Модернизация основных переделов

В период после 2000 г. в отрасли активно производились работы по строительству новых и модернизации существующих объектов черной металлургии, в том числе:

- 4-х 160-тонных конвертеров на АО «ЕВРАЗ НТМК»;
- толстолистовых станов 5000 в ПАО «ММК» и в АО «ОМК» (АО «ВМЗ»);
- пятиклетьевого стана 2000 холодной прокатки в ПАО «ММК»;
- рельсобалочного стана в АО «ЕВРАЗ ЗСМК»;
- агрегатов по производству оцинкованного листа с полимерными покрытиями на ПАО «ММК»; ПАО «НЛМК»;
- 4-х и 5-ти ручьевых машин непрерывной разливки стали на ПАО «ММК», АО «Уральская Сталь», АО «Первоуральский новотрубный завод», АО «Северский трубный завод», АО «Волжский трубный завод», АО «ТАГМЕТ»;
- 2-х ручьевых слябовых МНЛЗ ПАО «НЛМК»;
- агрегатов «ковш-печь» в ПАО «НЛМК»;
- однопозиционных вакууматоров для АО «ОЭМК»;
- двухпозиционного агрегата «ковш-печь» в АО «ОЭМК»;
- двухпозиционных вакууматоров для АО «ЕВРАЗ НТМК», ПАО «ММК», ПАО «Северсталь», ПАО «НЛМК»;
- рельсобалочного стана в ПАО «Мечел» (ПАО «ЧМК»);
- мелкосортно-проволочного стана «170»; мелкосортно-среднесортного стана «370» и среднесортного стана «450» для ПАО «ММК»;
- агрегатов для производства оцинкованного листа в ПАО «НЛМК», и в ПАО «ММК»;
- литейно-прокатного комплекса для АО «ОМК» (АО «ВМЗ);
- доменной печи «Россиянка» в ПАО «НЛМК» объемом 4300 м^3;
- нового конвертера № 1 в ПАО «НЛМК» садкой 320 т;
- вращающейся печи № 11 для производства извести в ПАО «НЛМК»;
- двух 180-тонных дуговых сталеплавильных печей в ПАО «ММК»;
- 120-тонной электродуговой печи для мини-завода ООО «НЛМК-Калуга»;
- 4-х 100-тонных электродуговых печей на мини-заводе АО «НЛМК-Урал» на металлургическом заводе АО «Сортовой завод Балаково», на ОАО «Амурметалл»;
- строительство 2-х агрегатов «ковш-печь»; строительство 2-х пятиручьевых МНЛЗ и полный переход на непрерывную разливку стали; строительство 2-х ДСП-135 с выводом из работы двух мартеновских цехов; строительство 2-х двухпозиционных вакууматоров на АО «СТЗ» и АО «ТАГМЕТ», входящих в ПАО «ТМК»;
- реконструкция ДСП-150 и 2-х УНРС на АО «ВТЗ», входящего в ПАО «ТМК»;
- двухванных стационарных конвертеров на ПАО «ММК» (ПАО «ММК» реконструировал бывшие мартеновские цеха (из прежнего оборудования в цехе остался двухванный сталеплавильный агрегат (ДСА)) и ввел в строй электросталеплавильные мощности по производству стали; первый этап реконструкции начался в 2003 г. (в мартеновском цехе были установлены агрегат печь-ковш, агрегат доводки стали и 2 сортовые машины непрерывной разливки стали (МНЛЗ)).

В связи с объявлением 2017 г. Года экологии [7] предприятия металлургической отрасли (члены ассоциации «Русская сталь») предложили и к настоящему моменту реализовали ряд проектов, направленных на сокращение воздействия на компоненты окружающей среды, в том числе:

- техническое перевооружение установки сухого тушения кокса (УСТК) коксохимического производства – передача сбросных газов с холодных свечей УСТК в газопровод доменного газа АО «ЕВРАЗ НТМК»;
- реконструкция сероулавливающих установок в аглоцехе ПАО «ММК»;
- строительство системы аспирации литейного двора ДП № 10 в доменном цехе ПАО «ММК»;
- реконструкция и техническое перевооружение основного технологического оборудования (цех улавливания коксохимических продуктов и реконструкция доменных печей) ПАО «НЛМК»;
- ввод в эксплуатацию третьей очереди завода горячебрикетированного железа АО «Лебединский ГОК», ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»;
- строительство третьей очереди полигона захоронения отходов производства и потребления АО «ОЭМК»;
- строительство объединенной газоочистки для агрегатов «ковш-печь» № 2 и установки доводки металла ПАО «Северсталь».

Суммарный объем инвестиций в мероприятия «Года экологии» определен в размере более 52,3 млрд руб. [10].

В целом металлургическими компаниями России с 2001 г. импортировано металлургического оборудования более, чем на $ 6 млрд При абсолютном преобладании использования импортного оборудования для отдельных нужд российских металлургических предприятий, особенно для модернизации и реконструкции ранее построенных агрегатов, используется оборудование российских машиностроительных предприятий, а также предприятий машиностроения Украины.

В последние годы российские машиностроительные фирмы стали наращивать выпуск металлургического оборудования. Так, ОАО «Сибэлектротерм» поставило оборудование для ряда электросталеплавильных цехов: агрегаты «ковш-печь» и установки для вакуумирования стали.

ПАО «Уралмаш» были изготовлены и поставлены для ПАО «ММК» и других предприятий отрасли агрегаты продольной резки, оборудование для замены агломашин и т. д. ПАО «Уралмаш» является основным поставщиком оборудования для обжиговых машин по производству металлизованных окатышей для ООО УК «Металлоинвест».

1.8.2 Основные прогнозные параметры развития черной металлургии

Основными стратегическими целями развития черной металлургии на перспективу до 2030 г., обусловленными как внутренними, так и внешними вызовами, являются:

- увеличение доли продукции, поставляемой на внутренний рынок;
- увеличение поставок на экспорт продукции с высокой добавленной стоимостью;
- рост импортозамещения;

- повышение требований к служебным характеристикам продукции, совершенствование ее сортамента и конкурентоспособности;
- ресурсо- и энергосбережение, снижение негативного воздействия на окружающую среду;
- оптимизация избыточных производственных мощностей;
- строительство мини-заводов, передельных и сервисных центров;
- внедрение новой техники и передовых технологий.

Развитие черной металлургии в перспективе будет определяться ростом экономики страны и соответствующим ростом внутреннего потребления черных металлов.

Главной целью развития черной металлургии России на период до 2030 г. является удовлетворение спроса внутреннего и мирового рынков на металлопродукцию в необходимой номенклатуре, качестве и объемах с использованием наилучших доступных технологий при условии стабильного сырьевого обеспечения и эффективной реализации мер государственной промышленной политики в сфере черной металлургии.

В основу Стратегии развития черной металлургии на период до 2030 г. [22] положен долгосрочный прогноз социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г. [23] (опубликован в марте 2013 г., в настоящий момент актуализируется), а также нормативно-правовые акты, касающиеся прогнозов развития других отраслей: оборонно-промышленного комплекса, тяжелого и атомного машиностроения, транспортной отрасли, энергетики, авиационной промышленности, судостроения, химического и нефтехимического комплекса, гражданского строительства.

Стратегия* предусматривает три варианта развития металлургической отрасли отрасли: вариант 1 – консервативный (инерционный), вариант 2 – умеренно-оптимистичный (энерго-сырьевой) и вариант 3 – форсированный (инновационный).

В соответствии с этими сценариями прогнозируются следующие объемы производства чугуна, стали и готового проката, показанные в таблице 1.17.

Таблица 1.17 – Прогнозируемые объемы производства чугуна, стали, готового проката

Вид продукции	Объемы производства, млн т		
	2020 г.	2020 г.**	2030 г.**
Чугун			
Факт	52,0		
Вариант 1		53,0	54,8
Вариант 2		53,4	57,0
Вариант 3		55,6	58,3
Сталь			
Факт	64,4		
Вариант 1		71,0	82,2
Вариант 2		71,5	86,0
Вариант 3		74,5	89,0

Окончание таблицы 1.17

Вид продукции	Объемы производства, млн т		
	2020 г.	2020 г.**	2030 г.**
Вариант 1		61,9	71,9
Вариант 2		62,4	75,0
Вариант 3		64,8	77,7

* В 2021 г. должна быть пересмотрена. ** Контрольные цифры Стратегии.

Наиболее вероятен сценарий умеренно-оптимистичного развития. Он опирается на использование конкурентных преимуществ России в энергетическом секторе, устойчивое наращивание экспорта сырья и повышения глубины его переработки, модернизацию транспортной инфраструктуры страны. Реализация данного сценария позволяет сформировать новые источники роста, основанные на ускоренном развитии энерго-сырьевых отраслей (ТЭК), металлургического и химического комплексов, а также транспорта. Соответствующий импульс технологического развития получат обрабатывающие отрасли, связанные с обеспечением развития энергетики, сырьевого сектора, транспорта.

При определении спроса на металлопродукцию в перспективе учитывались прогнозные показатели ВВП, промышленного производства и инвестиций в основной капитал, представленные в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Прогноз макроэкономических показателей развития Российской Федерации на период до 2030 г. [23]

	Темпы прироста к предыдущему году, %				Среднегодовые темпы прироста, %	
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021–2025 гг.	2026–2030 гг.
Валовой внутренний продукт	2,0	1,5	2,2	2,5	3,6	3,1
Промышленность	1,5	1,7	2,1	2,7	2,8	2,5
Инвестиции в основной капитал	0,3	2,5	3,9	4,2	6,3	4,2

Достаточно мощный инновационный потенциал, созданный в металлургическом комплексе, особенно благодаря высокому объему вложенных после 2003 г. инвестиций, является надежной базой для значительного наращивания производства.

В перспективе душевое потребление металлопродукции из черных металлов составит 403 кг/чел. в 2030 г. (256 кг/чел. – в 2020 г.) по сравнению с 249 кг/чел. – в 2015 г. По данным WSA, душевое потребление металлопродукции составляло 411,0 кг/чел. – в Японии, 364,2 кг/чел. – в Германии, 387,3 кг/чел. – в США, 271,0 кг/чел. – в Европейском Союзе (27 стран), в Китае – 478,8 кг/чел.

В результате увеличения спроса на металлопродукцию со стороны практически всех отраслей-потребителей прогнозируется прогрессивный сдвиг в направлении увеличения доли поставок продукции на внутренний рынок.

Основным результатом реализации стратегических планов должен стать рост конкурентоспособности продукции в требуемых экономике России номенклатуре,

качестве и объемах ее поставок на внутренний рынок (с учетом развития металлопотребляющих отраслей), а также на внешний рынок на базе инновационного обновления отрасли.

Основными факторами, определяющими рост спроса внутреннего рынка в периоды 2018–2030 гг., будут являться:

- реализация проектов утвержденных отраслевых стратегий развития промышленности;
- строительство новых предприятий и развитие инфраструктуры регионов Дальневосточного и Сибирского федеральных округов и Арктической зоны;
- развитие инфраструктурных проектов, связанных с развитием оборонно-промышленного комплекса (строительство аэродромов и космодромов, морских баз и т. д.);
- строительство новых объектов топливно-энергетического комплекса;
- техническое обновление отраслей машиностроительного комплекса;
- реконструкция жилищного фонда и развитие жилищного строительства;
- реализация региональных проектов по развитию промышленности, транспорта и строительства.

Исходя из этих предпосылок, производство стали и проката в 2030 г. по умеренно-оптимистичному сценарию составит соответственно 71,5 млн т и 62,4 млн т.

Россия в перспективе останется крупным экспортером металлопродукции и будет по-прежнему занимать одно из ведущих мест в мире. Абсолютные объемы экспорта металлопродукции могут сократиться до 17,0–18,0 млн т в 2030 г. за счет уменьшения объемов экспорта заготовок и полуфабрикатов.

Таким образом, доля экспортных поставок от объема производства готового проката в 2030 г. может составить 23,0–24,0 %.

Импортные поставки металлопродукции будут обусловлены в основном экономической целесообразностью обеспечения готовым прокатом районов, географически удаленных от российских предприятий-производителей, и развитием взаимной торговли со странами Таможенного союза и могут составить к 2030 г. около 4,5 млн т, а доля импортных поставок в видимом потреблении готового проката будет сокращаться и составит в 2030 г. 4,5 %.

В структуре производства готового проката будет расти доля листового и сортового проката и сокращаться доля заготовки для переката на экспорт.

Вероятность снижения потребления металлопродукции из черных металлов в перспективе в связи с расширением применения заменителей (полимеры, алюминий и его сплавы, композиты и т. п.) невелика. Масштабы применения композиционных и др. альтернативных материалов в прогнозируемом периоде не смогут существенно повлиять на потребление металлопродукции.

В настоящее время в России сегменты рынка конструкционных композиционных материалов и изделий из них, за исключением авиации, космонавтики и атомной промышленности (применение композитов в которых на сегодняшний день существенно ограничено), практически не освоены [23].

Основным ожидаемым результатом реализации мероприятий по развитию производства композиционных материалов и указанной подпрограммы является рост объема их производства. Суммарный объем потребления прогнозируется на уровне 220 тыс. т.

В перспективе основным потребителем готового проката остается производство листового проката с защитными покрытиями, гнутых профилей, труб стальных и других видов продукции дальнейших металлургических переделов. К 2030 г. объем потребления готового проката, идущего на дальнейший передел, может увеличиться в 1,4 раза (по сравнению с 2015 г.), прежде всего – за счет опережающего роста потребности в листовом прокате с защитными покрытиями и, следовательно, холоднокатаного листового проката и листового проката в целом.

В результате ускорения темпов внедрения инноваций прогнозируется улучшение производственной структуры черной металлургии, в первую очередь – за счет повышения доли конкурентоспособных мощностей (на всех переделах), а также за счет увеличения доли мощностей для выпуска продукции более глубокой степени переработки, доли импортозамещающих и новых производств. Все это позволит улучшить структуру товарной продукции металлургии и повысить ее конкурентоспособность.

В сталеплавильном производстве предусматривается опережающее развитие производства стали в электропечах, доля ее составит в 2030 г. – 40,1 %,-в конвертерах в 2030 г. – 59,9 %; доля разлитой стали на МНЛЗ достигнет в 2030 г. 98 %.

Мартеновское производство на предприятиях черной металлургии практически ликвидируется. Ожидаемое изменение структуры производства стали соответствует мировым тенденциям.

Доля листового металла в общем производстве листового и сортового проката (без учета заготовки для переката на экспорт) составит 54,6 %.

В прогнозируемый период будет освоено производство высококачественного проката для оборонно-промышленного комплекса, судостроения, атомного машиностроения; ожидается расширение производства высококачественного автомобильного листа.

Главным объектом в инвестиционной программе отрасли в период 2021–2030 гг. будет создание нового металлургического комплекса на Дальнем Востоке мощностью 2,5 млн т стали.

Для обеспечения развития отрасли и удовлетворения растущего спроса в металлопродукции по умеренно-оптимистичному варианту необходим ввод новых мощностей по производству:

- 6 млн т электростали на мини-заводах;
- 5,5–6 млн т горячекатаного листового проката;
- 6,5 млн т холоднокатаного листа;
- 3,5 млн т листового проката с защитными покрытиями;
- 4,4 млн т стальных труб;
- 15 тыс. т прецизионных сплавов;
- 8 тыс. т аморфных электротехнических сталей.

Наряду с этим предусматривается большой комплекс работ по модернизации действующего производства на предприятиях, представленный в таблице 1.19.

Таблица 1.19 – Планируемый комплекс работ по модернизации действующего производства на предприятиях металлургической отрасли (выборочно)

Наименование предприятия	Планируемый комплекс работ по модернизации действующего производства
ПАО «ММК»	Строительство новой коксовой батарей № 12 с целью замены изношенного оборудования
ПАО «ММК»	Строительство доменной печи № 11 с целью замены изношенного оборудования
ПАО «Северсталь»	Техническое перевооружение доменной печи № 5
ПАО «Северсталь»	Реконструкция агломерационных машин под внедрение системы рециркуляции отходящего газа
ПАО «НЛМК»	Строительство системы сбора и хранения и транспортировки конвертерного газа
ПАО «НЛМК»	Строительство утилизационной ТЭЦ (для использования конвертерного газа)
ООО «ЕвразХолдинг»	Установка ГУБТ на доменной печи № 7 на АО «ЕВРАЗ НТМК»
ООО «ЕвразХолдинг»	Строительство установки десульфурации отходящих газов на аглофабрике АО «Евраз ЗСМК»
ООО УК «Металлоинвест»	Строительство дробильно-конвейерного комплекса на северо-восточном борту карьера в АО «МГОК им. А.В. Варичева»
ООО УК «Металлоинвест»	Строительство завода горячебрикетированного железа производительностью 2 млн т в год (в АО «МГОК им. А.В. Варичева»)
ООО «Тулачермет-Сталь»	Строительство литейно-прокатного комплекса в г. Туле для производства высококачественного сортового проката с целью переработки чугуна ПАО «Тулачермет» в продукцию с более высокой добавленной стоимостью – высококачественный сортовой прокат

Раздел 2. Основные технологические процессы, применяемые для производства чугуна, стали и ферросплавов

2.1 Агломерация

Агломерация – один из методов окускования – превращения мелких руд и концентратов в кусковый материал – агломерат, применение которого улучшает ход металлургических процессов при производстве различных металлов из руд. В шихте доменных печей доля агломерата в зависимости от сырьевых условий составляет 40–90 %.

Агломерат производят методом спекания железорудной шихты на ленточных машинах непрерывного действия – агломашинах. На предприятиях черной металлургии России работают 49 агломерационных машин, которые производят около 58 млн т агломерата в год. В России эксплуатируются несколько типов агломерационных машин (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1 – Техническая характеристика отечественных агломашин [24, 25]

Характеристики	КЗ-50	АКМ-75	АКМЗ-85/160	МАК-240/138	АКМ-312
Общая рабочая площадь, $м^2$	50	75	160	240	312
Площадь спекания, $м^2$	50	75	85	138	312
Площадь охлаждения, $м^2$	–	–	75	102	–
Количество вакуум-камер, шт.	13	15	17/15		26
Ширина паллет, м	2,0	2,5	2,5	2,5	4,0
Длина рабочей части, м	25	30	64		78
Число паллет, шт.	70	86	151		130
Мощность привода, кВт	11	13	32		85
Число эксгаустеров, шт.	1	1	1	2	2
Производительность эксгаустеров, $м^3$/мин	3500	6500/7500*	6500		9000
* После модернизации с уширением верхней части паллет и установки ротора эксгаустера с увеличенным числом лопаток на 2 шт с каждой стороны					

В зависимости от требований доменной плавки производят различные виды агломерата: неофлюсованный с естественной основностью, офлюсованный с основностью 1,0–1,2 по CaO/SiO_2, высокоофлюсованный с основностью 1,4–1,8, железофлюс с основностью 3,0–5,0, промывочный агломерат с основностью 0,4–0,7, марганцевый агломерат.

2.1.1 Общая характеристика технологии агломерации железных руд

Агломерация железных руд методом просасывания заключается в спекании агломерационной шихты, состоящей из мелкой руды, концентрата, железосодержащих добавок, дробленого известняка и измельченного твердого топлива, которые предварительно смешивают, увлажняют и окомковывают до образования гранулированной зернистой структуры. Полученную гранулированную (окомкованную)

шихту загружают на колосниковую решетку спекательных тележек-паллет агломерационной машины ленточного типа. Под паллетами создают разрежение 700–1100 мм вод. ст. для просасывания через окомкованную газопроницаемую шихту наружного воздуха. Сразу после загрузки шихты паллеты поступают под зажигательный горн, где под воздействием интенсивного горения газового топлива в горелкахповерхность шихты нагревается до температуры 1100–1200 °С, твердое топливо воспламеняется и горит в атмосфере просасываемого воздуха. По мере выгорания твердого топлива зона горения продвигается от поверхности шихты вниз до колосниковой решетки. В зависимости от расхода твердого топлива и состава компонентов аглошихты температура в зоне горения топлива достигает 1250–1450 °С.

По высоте слоя спекаемой шихты образуются характерные зоны – готового агломерата, горения, подготовки, сушки и переувлажнения (см. рисунок 2.1).

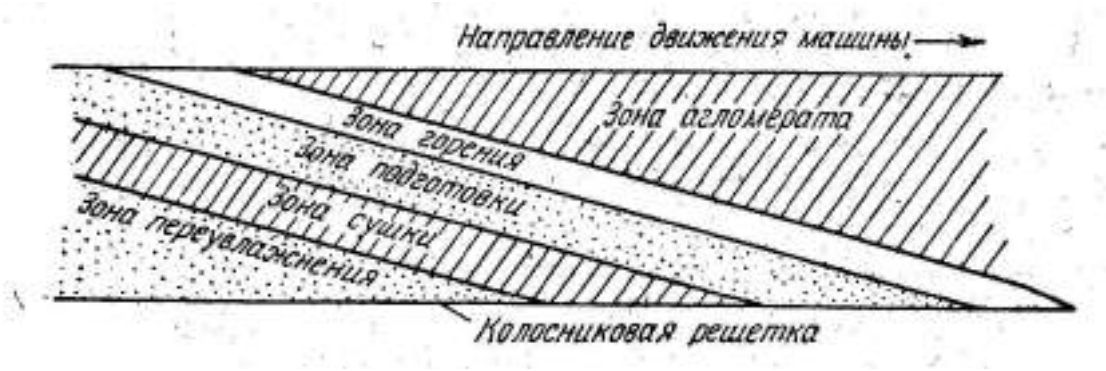


Рисунок 2.1 – Зоны в слое спекаемой шихты на аглоленте [26]

В ходе процесса образовавшиеся зоны перемещаются вниз к колосникам паллеты. Спекание заканчивается при достижении зоны готового агломерата колосников паллеты.

При спекании агломерационной шихты сначала происходит термическое разложение гидратных соединений оксидов, карбонатных соединений рудной части и флюсов, затем происходит оплавление частиц шихты в зоне горения топлива. В высокотемпературной зоне происходит окисление сернистых соединений шихтовых материалов с их удалением в газовую фазу в виде SO_x (SO_2 % – 80 % и SO_3 % – 20 %). С отходящими газами также удаляются образующиеся в процессе горения твердого топлива оксиды углерода и азота в виде CO, CO_2 и NO_x (NO, NO_2). Формирование готового агломерата происходит при охлаждении и кристаллизации образовавшегося из легкоплавких соединений расплава в пористую массу – агломерат [27, 28].

Основным сырьем для получения агломерата являются железные руды различных месторождений в виде агломерационной руды фракции менее 10 мм и железорудного концентрата фракции менее 0,1 мм (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Химический состав некоторых железных руд и концентратов

Наименование	Содержание, %								
	Fe	Mn	S	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	TiO_2	ППП
Лебединская аглоруда	55,74	0,10	0,042	11,08	1,60	1,40	2,91	–	4,59
Яковлевская аглоруда	60,50	–	0,10	5,10	3,40	0,60	2,40	–	3,40
Бакальский сидерит	34,20	1,16	0,16	6,88	2,96	8,92	2,52	–	11,35
Михайловский концентрат	63,83	0,014	0,005	10,16	0,20	0,21	0,08	0,006	0,65
Качканарский концентрат	62,71	0,12	0,006	3,35	1,17	2,31	2,82	2,67	–
Ковдорский концентрат	63,52	0,51	0,32	1,0	0,75	6,12	2,33	0,92	–

Кроме рудного сырья, в агломерационную шихту добавляют оборотный возврат агломерата фракции менее 5 мм, различные добавки: окалину прокатных цехов, колошниковую пыль доменных печей, уловленную в циклонах или электрофильтрах сухую пыль, обезвоженные и высушенные шламы мокрой газоочистки и пр. Приход вредных веществ в аглошихту, например, P_2O_5, ZnO и R_2O, контролируют (где R – щелочные металлы: Na,K).

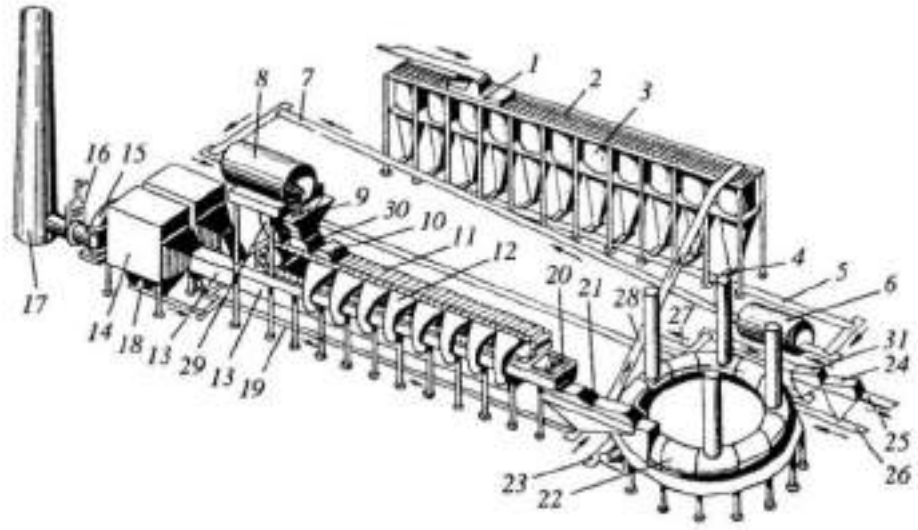
При производстве офлюсованного агломерата необходимым компонентом являются флюсы – известняк и доломит – для обеспечения необходимого химического состава шлака в доменной печи.

Основным видом твердого топлива при спекании агломерационной шихты служит коксовая мелочь. Возможно применение заменителей – антрацита и тощих углей с небольшим количеством летучих веществ. Примерный химический состав компонентов агломерационной шихты и расходные коэффициенты приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Примерный состав компонентов агломерационной шихты, %

Материал	Расход, кг/100 кг	$Fe_{общ.}$	SiO_2	CaO	MgO	S	C
Аглоруда	29,0	55,5	13,5	1,5	0,7	0,07	–
Концентрат	69,0	65,2	8,5	0,16	0,15	0,05	–
Железосодержащие добавки	8,0	40,0	16,5	15,3	0,97	0,21	
Известняк	20,0	0,4	1,4	53,0	0,8	0,02	–
Коксовая мелочь, кг/т	6,2	3,3	8,4	1,3	0,3	0,6	78,8

Общая принципиальная схема производства агломерата с основным технологическим оборудованием представлена на рисунке 2.2 [24].



1 – реверсивный ленточный конвейер; 3 – бункеры компонентов шихты; 6 – смесительный барабан; 8 – барабан-окомкователь; 9 – бункер окомкованной шихты; 10 – зажигательный горн; 11 – агломерационная лента; 12 – вакуум-камеры; 13 – коллектор отходящих газов; 14 – пылеуловитель; 15 – эксгаустер; 20 – дробилка пирога агломерата; 21 – грохот; 22 – кольцевой охладитель

Рисунок 2.2 – Общая принципиальная схема производства агломерата [24]

Технологическая схема процесса агломерации с указанием материальных потоков и эмиссий представлена на рисунке 2.3.

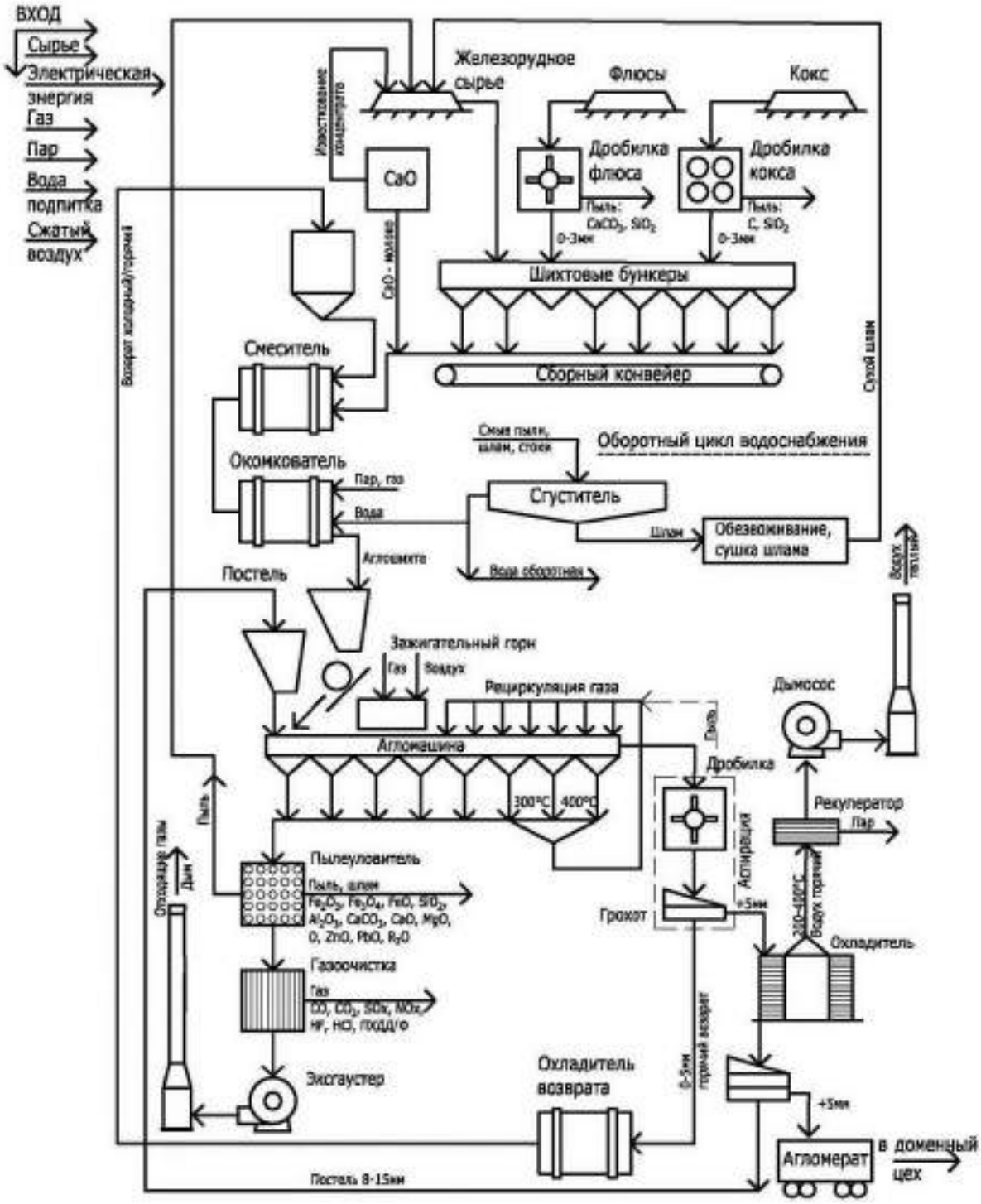


Рисунок 2.3 – Технологическая схема агломерационного процесса с указанием материальных потоков и мест выделения эмиссий

Мелкие руды, тонкоизмельченные концентраты, железосодержащие отходы производства поступают на накопительный или усреднительный склад агломерационного производства. Кусковые флюсы, известняк и доломит измельчают, как правило, в молотковых или роторных дробилках, иногда в стержневых мельницах до крупности 0–3 мм. Твердое топливо дробят в четырехвалковых дробилках также до крупности 0–3 мм. Все шихтовые компоненты поступают в бункеры шихтового отделения, где их в нужном соотношении весодозаторами дозируют на сборный ленточный конвейер.

Далее шихта направляется в смеситель барабанного типа для первичного смешивания, куда также подают горячий возврат для подогрева шихты, если работают по схеме с его выделением. Для устранения зоны переувлажнения при спекании шихту в барабане-окомкователе нагревают острым паром или сжиганием газа до температуры 55–65 °С. После окомкования (грануляции) шихты ее укладывают на спекательные тележки-паллеты слоем высотой от 200 до 650 мм в зависимости от качества окомкования, конструкции машины и состояния оборудования – газоотводящего тракта и эксгаустера. Полученный пирог спеченного агломерата дробят, охлаждают, отсевают от него фракцию менее 5 мм. Для постели выделяют фракцию 8–15 мм. При работе с горячим возвратом фракцию с частицами неспекшейся шихты и кусочками агломерата менее 5 мм выделяют на грохотах после валковой дробилки горячего агломерата перед охладителем. Годный агломерат крупностью более 5 мм отправляют в доменный цех.

Основными требованиями к качеству агломерата являются:

- прочность на удар и истирание;
- минимальное количество фракции менее 5 мм;
- стабильность гранулометрического состава;
- стабильность химического состава, в том числе по содержанию FeO.

Содержание железа и основность агломерата по CaO/SiO_2 или по $(CaO + MgO) / SiO_2$ на предприятиях регламентируют в зависимости от химического состава, поступающего сырья на агломерационное производство, а также от состава всех компонентов доменной шихты. Основность агломерата устанавливают такой, чтобы основности первичного и конечного доменного шлаков обеспечивали удовлетворительную его жидкотекучесть в течение доменной плавки и при выпуске продуктов плавки из печи, а также требуемое содержание серы в чугуне. В таблице 2.4 приведены технологические показатели работы некоторых аглофабрик и качество производимого агломерата.

Таблица 2.4 – Технологические показатели работы аглофабрик и качество агломерата

Показатели	Уральская Сталь	Тулачермет	ЧМК
Удельная производительность, т($ч*м^2$)	1,095	1,52	1,253
Разрежение в сборном коллекторе, кПа	5,56	10,24	740
Высота слоя шихты, мм	266	391	560
Температура шихты, °С	51	69	
Скорость движения аглоленты, м/мин		1.95	1,65
Вертикальная скорость спекания, мм/мин		23,3	
Расход извести, кг/т	28,3		31
Содержание углерода в шихте, %	4,08		

Окончание таблицы 2.4

Показатели	Уральская Сталь	Тулачермет	ЧМК
Расход газообразного топлива, $м^3/т$			
в т. ч.: - природного - доменного		5,14 24,14	31
Расход электроэнергии, кВт*ч/т		27,97	45,4
Расход воды, $м^3/т$		1,36	
Качество агломерата:			
Содержание железа, %	52,07	55,14	
Основность, CaO/SiO_2	1,65	1,59	
Прочность, %: - на удар - на истирание	68,26 5,19	71,0 7,79	76
Содержание в агломерате фр. 0–5 мм, %	16,2	19,74	16,7
Равномерность по железу, % +/- 1,0 %	94,24	90,44	100
Равномерность по основности,% +/- 0,1	90,89	82,14	97,2

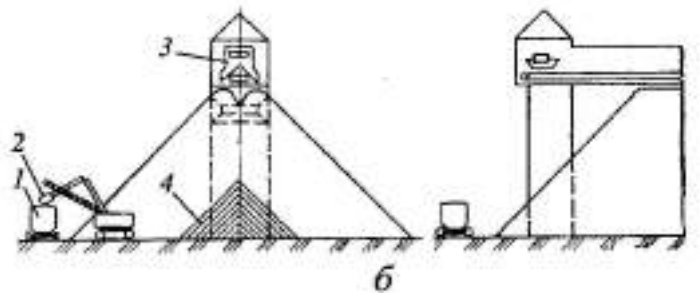
2.1.2 Прием сырья, складирование, усреднение

В агломерационном производстве создают технологические производственные запасы железорудного сырья, флюсов и твердого топлива, которые должны обеспечить бесперебойную работу в течение как минимум 5 сут. Минимальный запас компонентов сырья на складе зависит от удаленности поставщиков, объемов и ритмичности поставок. На современных агломерационных производствах каждый вид поступающего сырья складируют в отдельный штабель. В случае поставок железорудного сырья свыше 500 тыс. т в месяц с разных месторождений для повышения степени усреднения железорудной смеси, поступающей на агломерацию, практикуется формирование предварительного усреднительного штабеля железорудного сырья объёмом от 100 тыс. т. Затем формируют общий штабель из всех железорудных компонентов агломерационной шихты.

Флюсы и твердое топливо, как правило, вводят в шихтовом отделении аглофабрики при дозировании компонентов на сборный ленточный конвейер. От качества усреднения шихты на усреднительном складе и точности дозирования отдельных компонентов в шихтовом отделении зависит стабильность качества агломерата по химическому составу, прочности и восстановимости. Стабильность показателей качества агломерата существенно влияет на ровность хода доменных печей, удельный расход кокса и производительность. Содержание железа в отдельных партиях не должно отличаться от среднего на ±0,5 абс. % – ±0,7 абс. %, а основность ±0,05 абс. ед – ±0,08 абс. ед. Для стабилизации восстановимости агломерата нормируют содержание FeO в агломерате и допустимые отклонения.

На металлургических предприятиях существуют различные схемы и технологии приема и складирования компонентов шихты. Поступающее сырье выгружают из вагонов роторными или передвижными вагоноопрокидывателями. При поступлении в зимнее время смерзшихся грузов вагоны перед выгрузкой предварительно нагревают в специальных гаражах размораживания. Открытые штабели формируют рудно-грейферными перегружателями или саморазгружающейся тележкой-конвейером по

всей длине штабеля. Для усреднения поступающих партий сырья его забор производят грейферным краном или экскаватором с одного торца вразрез штабеля (см. рисунки 2.4 и 2.5).



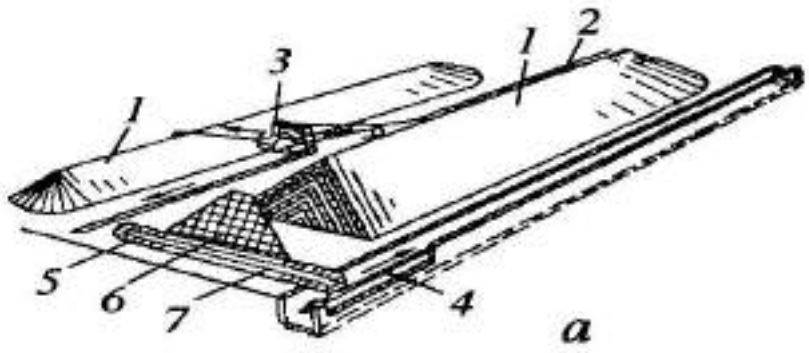
1 – вагон; 2 – экскаватор; 3 – разгрузочный конвейер; 4 – забор сырья вразрез штабеля

Рисунок 2.4 – Открытый усреднительный склад [26]



Рисунок 2.5 – Склад железорудного сырья

На современных агломерационных производствах для формирования штабелей на усреднительных складах применяют одно- или двухконсольные штабелеукладчики, роторные заборно-усреднительные машины, обеспечивающие высокое качество усреднения сырья (см. рисунки 2.6 и 2.7).



1 – штабель; 3 – штабелеукладчик; 6 – разрыхлитель-реклеймер
Рисунок 2.6 – Схема усреднительного комплекса с реклеймером

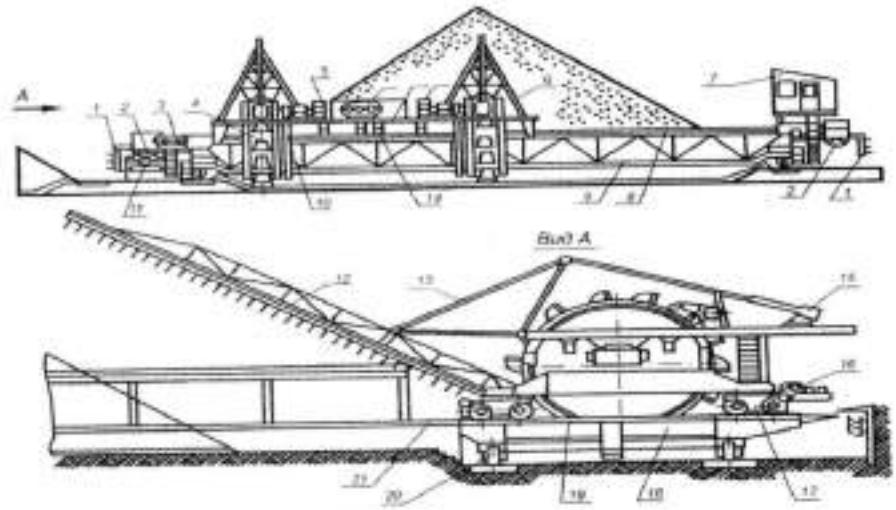


Рисунок 2.7 – Усреднитель роторный У2Р-600

Усреднительная установка при движении с торца штабеля зубьями разрыхлителя (реклеймера) срезает слой материала, который ссыпается вниз и подбирается ковшами роторов. Процессы укладки сырья в штабели и отгрузки управляются с помощью АСУ, все механизмы работают в атоматизированном режиме.

Использование закрытых складов сырья предпочтительно по условиям охраны окружающей среды от тонкодисперсной пыли (см. рисунок 2.8).

С усреднительного склада материал через бункера погружается на ленточный конвейер для транспортировки в шихтовое отделение аглофабрики.

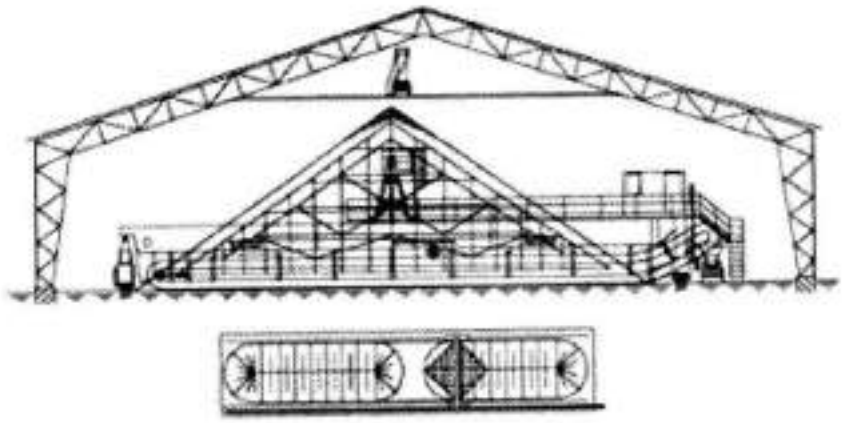


Рисунок 2.8 – Закрытый усреднительный склад

2.1.3 Подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию: измельчение, смешивание, грануляция

Качество агломерата в значительной степени определяется качеством подготовки компонентов агломерационной шихты к спеканию. Для повышения качества агломерата в агломерационных рудах и возврате необходимо ограничить содержание фракции более 5 мм, так как частицы более 5 мм за время прохождения зоны высоких температур высотой 20–30 мм не успевают усвоиться расплавом. На практике в поступающих агломерационных рудах регламентируют содержание фракций более 10 мм.

При производстве офлюсованного агломерата в качестве флюса используют известняк и доломит. Подготовка флюсов заключается в измельчении известняка до крупности менее 3 мм. Такой размер частиц флюса позволяет им в процессе спекания полностью декарбонизироваться и усвоиться расплавом. По техническим условиям большинства агломерационных производств содержание фракции 0–3 мм должно составлять не менее 95 %. Измельчение известняка производят в основном молотковыми дробилками. Иногда применяют дробилки роторного типа или стержневые мельницы. Для отсева из дробленого известняка фракции более 3 мм используют вибрационные грохоты. Крупную фракцию направляют на повторное измельчение.

Для интенсификации агломерационного процесса и улучшения качества агломерата на некоторых аглофабриках используют известь. Предпочтительно известь вводить в железорудный концентрат при его поступлении на приемно-усреднительный склад. Это препятствует смерзанию влажного концентрата зимой и обеспечивает лучшее окомкование аглошихты.

При наличии в шихтовом отделении печи кипящего слоя или конвейерной машины небольшой площади для обжига извести возможна подача свежеобожженной извести поверх агломерационной шихты на сборном ленточном конвейере. Далее агломерационная шихта со свежеобожженной известью поступает в первичный смесительный барабан, затем в барабан-окомкователь. Свежеобожженная известь, поданная в аглошихту, значительно улучшает окомкование и газопроницаемость шихты, что позволяет повысить высоту спекаемого слоя, улучшить качество агломерата и повысить производительность агломашины.

Твердое топливо, используемое для спекания агломерационной шихты, должно иметь содержание фракции 0–3 мм не менее 95 %. Более крупные частицы твердого топлива дольше горят в спекаемом слое, что увеличивает протяженность высокотемпературной зоны с соответствующим уменьшением максимальной температуры в зоне горения. Это приводит к снижению качества агломерата по показателям прочности и содержанию мелочи, а также повышенному расходу топлива. Повышенное количество фракции менее 0,1 мм в твердом топливе также нежелательно. В качестве твердого топлива используют коксовую мелочь. Ее получают дроблением отсева мелкой фракции от крупного кокса в доменном и коксохимическом цехах. В большинстве случаев кокс дробят в четырехвалковых дробилках. При недостатке коксовой мелочи дополнительно используют антрацит или тощие угли с низким содержанием летучих веществ.

Все подготовленные компоненты агломерационной шихты – аглоруда, железорудные концентраты, окалина, колошниковая пыль, железосодержащие добавки, флюсы, твердое топливо – загружают в бункеры шихтового отделения аглофабрики. В шихтовом отделении имеются две технологические линии с одинаковыми бункерами и всеми компонентами агломерационной шихты. Бункеры оборудованы ленточными весовыми дозаторами, с помощью которых компоненты шихты дозируют в нужном соотношении на сборный ленточный конвейер. Управление дозированием компонентов агломерационной шихты и работой всех ленточных конвейеров производят из диспетчерского пункта, оборудованного необходимыми информационными системами о работе всего основного оборудования аглофабрики.

Для обеспечения стабильности химического состава аглошихты на конвейере в шихтовом отделении до дозировки флюсов применяют оборудование для онлайн контроля в потоке на конвейере содержания $Si0_2$, CaO, Fe и др. элементов; полученная информация передается в АСУТП шихтового отделения и автоматически регулируется дозировка смеси флюсов.

Смешивание и окомкование (гранулирование) компонентов аглошихты производят во вращающихся барабанах, как правило, в две стадии (см. рисунки 2.2 и 2.3). На первой стадии весь поток сдозированной аглошихты поступает в барабан-смеситель, где смешивается с подаваемым в него горячим возвратом (если работают с его выделением), и частично увлажняется. После этого аглошихта поступает в спекательное отделение в приемный бункер агломашины. Из приемного бункера агломашины смешанную с возвратом шихту подают в барабан-окомкователь для ее озернения в виде небольших гранул полидисперсного состава. Смесительные барабаны установлены на специальных металлических или резиновых катках под углом к горизонту 1,2–2,2 град, с частотой вращения 5–9,5 об./мин, что обеспечивает перемешивание и перемещение шихты от загрузочного конца к разгрузочному.

В барабане-окомкователе на пересыпающуюся шихту подают воду для образования гранулированной структуры шихты. Вода обеспечивает сцепление тонкодисперсных минеральных частиц с образованием при перекатывании шихты гранулированной структуры полидисперсного состава. Капиллярные силы удерживают образовавшиеся комочки шихты от разрушения. Оптимальная влажность окомкованной шихты зависит от удельной поверхности шихтовых материалов и свойств поверхности частиц компонентов шихты. Для различного состава шихт оптимальная влажность может изменяться от 5,5 % до 9,5 %. Чем лучше окомкована шихта, тем выше

газопроницаемость слоя шихты после ее укладки на паллеты агломашины, тем лучше идет спекание агломерата методом просасывания. На газопроницаемость слоя шихты при спекании агломерата оказывает влияние температура шихты, так как при температуре шихты 50–65 °С при просасывании газов в процессе спекания уменьшается явление конденсации влаги в нижележащих слоях, что устраняет разрушение гранул при их переувлажнении. Подогрев шихты осуществляется различными приемами:

- вводом горячего возврата на стадии первичного смешивания;
- подачей пара в барабан-окомкователь;
- факелом при сжигании газа.

Таким образом, на первой стадии смешивания получают более однородный химический состав шихты в отдельных разовых пробах шихты, а на второй – получают окомкованную (гранулированную) газопроницаемую шихту для спекания на аглоленте.

2.1.4 Спекание шихты на конвейерных машинах

Из барабана-окомкователя шихта поступает в загрузочное устройство, состоящее из загрузочной воронки, барабанного питателя с шибером и загрузочного лотка. Для равномерного распределения шихты применяют челноковый распределитель (см. рисунок 2.9).

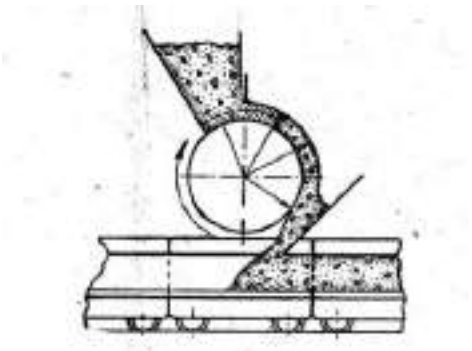
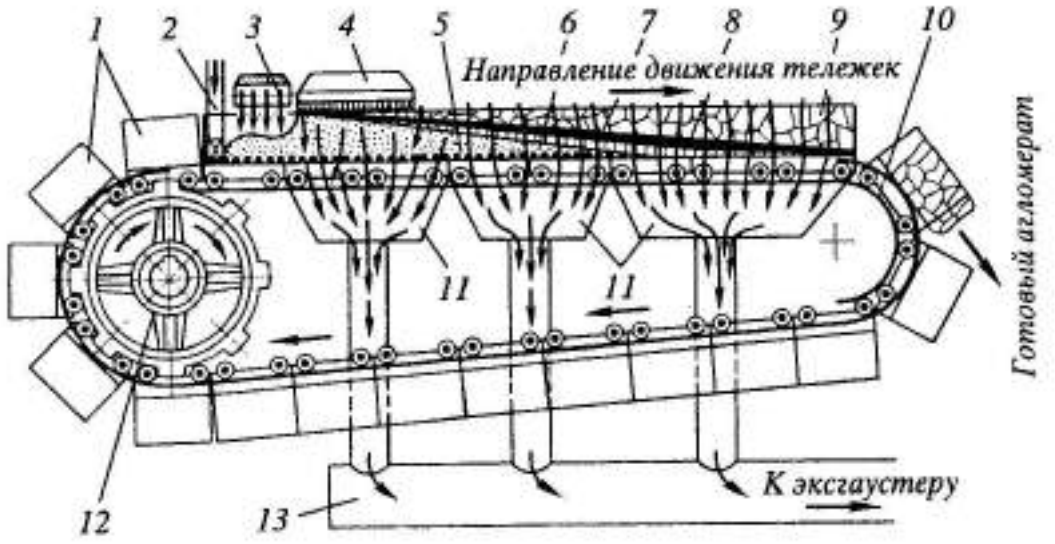


Рисунок 2.9 – Барабанный питатель с наклонным загрузочным лотком

Шихту укладывают на колосниковую решетку паллет конвейерной ленточной агломерационной машины. На колосниковую решетку сначала укладывают защитную постель фракции 8–15 мм толщиной слоя 30–50 мм. Это предотвращает припекание пирога готового агломерата к колосникам, уменьшает разгар колосников с увеличением живого сечения колосниковой решетки, а также уменьшает просыпание и вынос мелких частиц шихты.

Постель выделяют из готового агломерата. На аглофабриках, где нет выделения постели, защитный слой создают из наиболее крупных комочков шихты за счет естественной сегрегации при поступлении шихты из барабанного питателя на наклонный загрузочный лоток. Загрузочный лоток регулирует высоту слоя по ширине аглоленты. Высота слоя спекаемой шихты может быть от 200 до 650 мм.

На рисунке 2.10 представлена схема агломерационной машины.



1 – паллеты; 2 – укладчик постели; 3 – челноковый питатель шихты; 4 – зажигательный горн; 5 – постель; 6 – зона сырой шихты; 7 – зона сушки и подогрева шихты; 8 – зона горения твердого топлива; 9 – зона готового агломерата; 10 – разгрузочный конец машины; 11 – вакуум-камеры; 12 – ведущая звездочка привода ленты; 13 – сборный коллектор отходящих газов

Рисунок 2.10 – Схема агломерационной машины и хода процесса спекания

Спекание шихты в агломерат на конвейерной ленточной агломерационной машине состоит из трех этапов:

- зажигание под зажигательным горном верхнего слоя уложенной шихты;
- спекание аглошихты в пористый пирог в зоне горения твердого топлива;
- охлаждение готового агломерата просасываемым воздухом по мере перемещения зоны горения топлива к колосникам паллет.

На рисунке 2.11 показан выход аглоленты со спечённым агломератом из-под зажигательного горна.

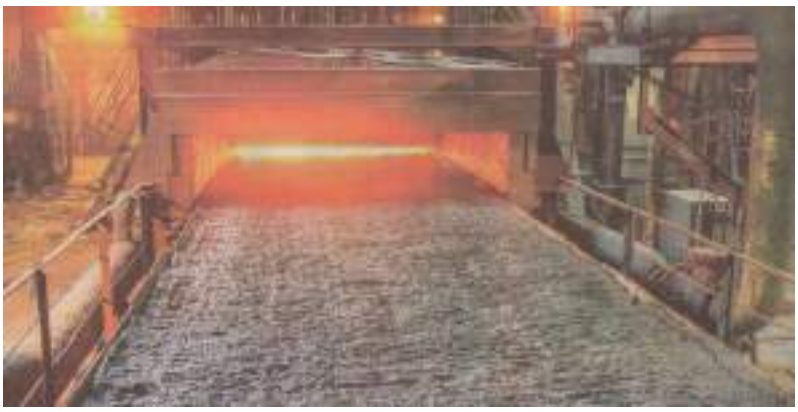


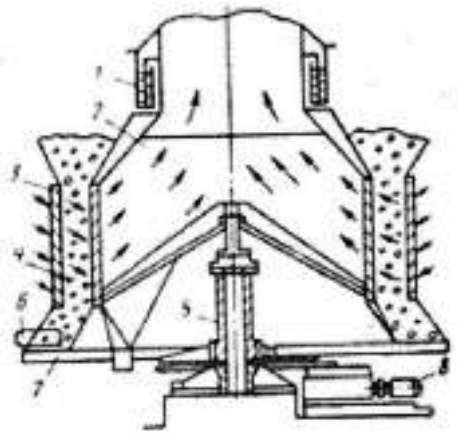
Рисунок 2.11 – Выход аглоленты со спеченным агломератом из-под зажигательного горна

Скорость движения паллет агломашины поддерживают такой, чтобы окончание спекания нижних слоев шихты заканчивалось на последней вакуум-камере. Готовый спеченный пирог агломерата снимают специальным ножом при переходе паллет на нисходящую ветвь аглоленты.

2.1.5 Охлаждение и дробление агломерата, сортировка, отсев мелочи и отгрузка годного агломерата

Сошедший с паллет большой пирог агломерата разрушают одновалковой или щековой дробилкой на куски размером менее 80–100 мм. От общей массы готового агломерата на вибрационном грохоте отсевают возврат крупностью менее 5 мм, который горячим сразу идет в аглошихту для ее подогрева или на предварительное охлаждение перед подачей в шихту. Технология агломерации с охлаждением возврата обеспечивает меньшую запыленность и лучшие условия труда. Горячий агломерат поступает на охлаждение в специальные охладители:

- чашевые с просасыванием воздуха (см. рисунки 2.12 и 2.13);
- линейные охладители агломерата с продувом воздуха (см. рисунок 2.14);
- кольцевые охладители с продувом воздуха (см. рисунок 2.15).

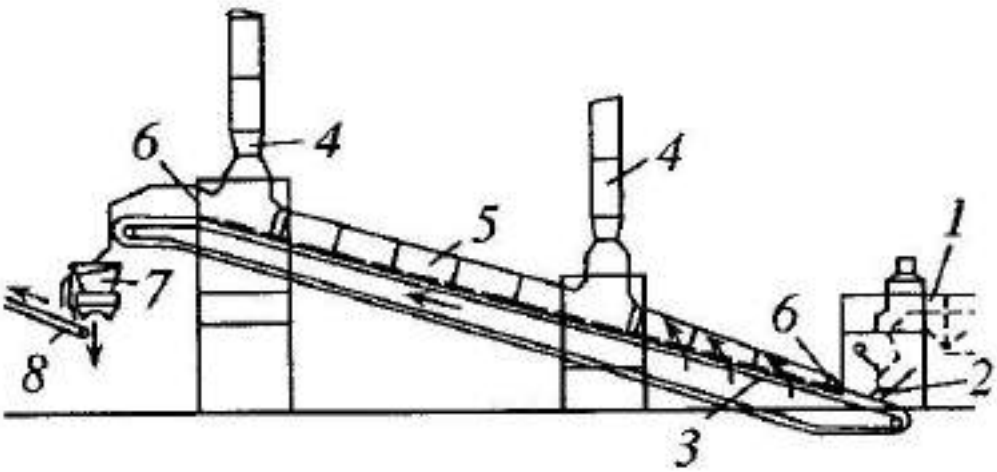


1 – гидрозатвор; 2 – надконусное пространство; 3 – жалюзийная решетка;
4 – бункер агломерата; 5 – центральная колонка;
6 – сбрасывающий нож; 7 – тарель; 8 – электропривод
Рисунок 2.12 – Чашевый охладитель агломерата с прососом воздуха

На рисунке 2.13 представлен модернизированный чашевый охладитель с увеличенной емкостью, возможностью отдельной замены внешних и внутренних жалюзи, улучшением условий охлаждения агломерата [29]. Данная конструкция охладителя позволяет на газоходе с горячим воздухом установить теплообменники для получения пара для нагрева аглошихтыили горячего воздуха для горелок зажигательного горна.



Рисунок 2.13 – Чашевый охладительагломерата с прососом воздуха модернизированный



1 – дробилка агломерата; 3 – колосниковые тележки; 7 – грохот для отсева мелочи

Рисунок 2.14 – Линейный охладитель агломерата



Рисунок 2.15 – Кольцевой охладитель агломерата

В некоторых конструкциях конвейерных аглолент (МАК-240/138) охлаждение агломерата предусмотрено непосредственно на спекательной ленте при соотношении площадей спекания / охлаждения 138 / 102, что при высоте постели 40 мм и слоя спекаемой аглошихты 510 мм дает вполне удовлетворительный результат по конечной температуре охлажденного агломерата. Эксплуатационные затраты на производство агломерата с охлаждением на ленте ниже на 27 % по сравнению с технологией с охлаждением агломерата в автономных охладителях [30]. Температура охлажденного агломерата 100–120 °С.

После охлаждения агломерат рассевают на фракции. Фракция 0–5 мм поступает в возврат. Часть фракции 8–15 мм направляется для создания постели на паллетах перед укладкой окомкованной шихты. Годный агломерат крупностью более 5 мм отправляют по конвейерам или в агловозах в доменный цех.

2.1.6 Основное технологическое и природоохранное оборудование

Назначение, описание, технологические характеристики основного оборудования, используемого при производстве агломерата, приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Основное технологическое оборудование, используемое при производстве агломерата

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
1	2	3
Гараж размораживания	Размораживание смерзшихся грузов в зимнее время	Закрытое помещение на 6–30 вагонов, оборудованное газовыми топками получения горячего воздуха для обогрева стенок и днищ вагонов

Продолжение таблицы 2.5

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
1	2	3
Вагоноопрокидыватель	Выгрузка поступающих грузов	Вагоноопрокидыватель роторный или передвижной
Грейферные краны	Разгрузка вагонов на склад сырья в усреднительный штабель, забор сырья	Грейферные краны: козловые, портальные, мостовые
Штабелеукладчик, усреднитель	Формирование штабеля, усреднение и забор сырья	Усреднительный комплекс для формирования штабеля и забора усредненной шихты с конвейерами и другим специальным оборудованием
Конвейер ленточный резиновый	Транспортировка сыпучих грузов	Ленточный резиновый с поддерживающими валками
Конвейер ленточный металлический	Транспортировка горячего возврата	Конвейер ленточный секционный металлический
Дробилки флюсов	Дробление и измельчение флюсов	Молотковые, роторные, валковые дробилки, стержневые мельницы
Дробилки топлива	Дробление и измельчение твердого топлива	Дробилка четырехвалковая
Смесительные барабаны с оборудованием для увлажнения и нагрева шихты	Смешивание, окомкование и нагрев шихты	Тщательное смешивание компонентов шихты и увлажнение для окомкования перед спеканием. Нагрев шихты до температуры 55–70 °С острым паром или факелом газовой горелки
Челноковый распределитель шихты	Распределение шихты по ширине паллет агломашины	Равномерная укладка окомкованной шихты по ширине паллеты
Барабанный питатель с отражательным листом	Укладка аглошихты на паллеты	Укладка шихты на паллеты на заданную высоту слоя
Агломерационная конвейерная агломашина	Спекание агломерата	Спекание агломерата методом просасывания воздуха через слой окомкованной газопроницаемой шихты за счет горения твердого топливом внутри слоя
Зажигательный горн	Нагрев верхнего слоя шихты для воспламенения твердого топлива	Нагрев верхнего слоя аглошихты для начала спекания методом просасывания
Дробилка агломерата	Дробление пирога агломерата	Дробление спеченного пирога агломерата, сошедшего с аглоленты

Окончание таблицы 2.5

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
1	2	3
Грохот агломерата	Отсев мелочи менее 5 мм в возврат, сортировка годного агломерата	Выделение мелкого горячего возврата перед подачей в охладитель. Сортировка годного агломерата для выделения постели и отсева мелочи из товарного агломерата
Охладитель агломерата	Охлаждение готового агломерата	Охлаждение готового агломерата перед отгрузкой
Эксгаустер	Эвакуация газов от агломашины в атмосферу после очистки от пыли и загрязняющих веществ	Создание разрежения в вакуум-камерах под паллетами агломашин и по всему газоотводящему тракту
Водооборотный цикл Насосы, трубопроводы, отстойники	Перекачивание технологических жидкостей	Уборка шламов циклонов газоочистки, сбор пыли от гидросмыва помещений, очистка и осветление оборотной воды
Отстойники, сгустители шлама, вакуум-фильтры, сушильные барабаны	Обезвоживание шламов	Сгущение и обезвоживание шламов на вакуум-фильтрах, сушка обезвоженных шламов в сушильных печах

Основное природоохранное оборудование

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду процесса производства агломерата на технологических участках и в отделениях устанавливается природоохранное оборудование:

- газоочистное и аспирационное оборудование, обеспечивающее необходимый уровень очистки технологических газов и аспирационного воздуха от содержащихся в них загрязняющих веществ перед отводом газов или воздуха в атмосферу или возвратом обратно в рабочую зону;

- водоочистные сооружения, обеспечивающие очистку загрязнённых промышленных сточных вод.

Назначение, описание, технологические характеристики природоохранного оборудования, используемого при производстве агломерата, приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Назначение и описание природоохранного оборудования, используемого при производстве агломерата

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
1	2	3
Циклоны сухие	Улавливание грубой пыли вентиляционных систем дробильного оборудования	Тип ЦН-15 и ВЗП. Эффективность очистки – от 70 % до 85 %. Остаточная запыленность – до 600 мг/нм^3
Батарейные мультициклоны циклоны	Улавливание пыли отходящих технологических газов	Тип БМЦ. Эффективность очистки частиц более 10 мкм – до 90–95 %. Частиц менее 10 мкм – от 60 % до 80 %. Остаточная запыленность – от 100 до 200 мг/нм^3
Электрофильтры	Улавливание пыли отходящих технологических газов	Тип Alston, MEEP. Эффективность очистки – до 95–99 %. Остаточная запыленность – до 30 мг/нм^3
Тканевые (рукавные) фильтры	Очистка от пыли отходящих технологических газов. Очистка от пыли аспирационного воздуха	Эффективность очистки от тонкой пыли – до 90–98 %
Тканевые фильтры с комбинированными сорбционными процессами	Очистка технологических газов от тонкой пыли и газов SO_x, HCl, HF, ПХДД/Ф	Тип – AIRFINE, SIMETALMEROS. Выбросы SO_x сокращаются на 30–90 %
Сероочистка	Улавливание из отходящих газов SO_x раствором с $Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$, $CaCl_2$с образованием гипса $CaSO_4$ и сульфата магния $MgSO_4$	Степень десульфурации – до 85–95 %. Остаточная концентрация SO_x в газе на выходе – до 200 мг/нм^3
Скрубберы мокрые	Улавливание пыли отходящих технологических газов с помощью воды	Тип – скрубберы оросительные, скрубберы с трубой Вентури, скрубберы AIRFINE. Остаточная запыленность – от 40 до 170 мг/нм^3

2.1.7 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание

По всей технологической цепочке производства агломерата в местах выгрузки сырья, складирования, подготовки компонентов шихты на различном оборудовании, спекании агломерата, транспортировки отходов производства и готовой продукции имеют место организованные и неорганизованные выбросы (эмиссии) загрязняющих

веществ в виде пыли, газов, образования отходов. Также возможно образование сточных вод.

Материальные потоки, характерные основные эмиссии при производстве агломерата представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Перечень материальных потоков и эмиссий

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
1	2	3	4	5
Железные руды, концентраты, железосодержащие отходы, флюсы, твердое топливо, газ на размораживание грузов	Приемка, складирование, усреднение сырья	Усредненное железорудное сырье	Железнодорожные весы, гараж размораживания смерзшихся грузов, вагоноопрокидыватель, краны-перегружатели, усреднители сырья, ленточные конвейеры	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, MnO, Al_2O_3, $CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$; Газовые компоненты: CO, CO_2, NO_x, шум
Флюсы: известняк, доломит 40–100 мм	Подготовка флюсов	Измельченные флюсы 0–3 мм	Дробилки молотковые, роторные, валковые, стержневые мельницы, конвейеры, циклон-пылеуловитель	Взвешенные вещества состава: $CaCO_3$, SiO_2, $MgCO_3$, $FeCO_3$, $MnCO_3$, шум, вибрация
Твердое топливо: кокс, антрацит	Подготовка твердого топлива	Коксовая мелочь (коксик) 0–3 мм	Дробилки четырехвалковые, циклоны-пылеуловители, конвейеры	Взвешенные вещества состава: C, SiO_2, шум, вибрация
Известняк 5–12 мм, коксик 0–3 мм, природный газ	Обжиг извести	Известь обожженная 5–12 мм	Установка для обжига извести, конвейеры, циклоны-пылеуловители	Взвешенные вещества состава: C, CaO, MgO, SiO_2, Газовые компоненты: CO, CO_2, SO_2, NO_x, шум, вибрация
Железные руды, концентраты, железосодержащие отходы, возврат, флюсы, топливо	Дозирование компонентов аглошихты	Сдозированная шихта	Бункеры, объемные и весовые дозаторы, ленточные конвейеры	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, MnO, Al_2O_3 $CaCO_3$,$MgCO_3$, $FeCO_3$, $MnCO_3$ шум, вибрация

Продолжение таблицы 2.7

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
1	2	3	4	5
Сдозированная шихта, возврат, вода, пар, газ	Смешивание, увлажнение, окомкование шихты	Смешанная, увлажненная и окомкованная шихта	Смесительные барабаны-окомкователи, ленточные конвейеры	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, MnO, Al_2O_3 $CaCO_3$, SiO_2, $MgCO_3$, $FeCO_3$, $MnCO_3$, шум, вибрация
Окомкованная шихта, газ	Спекание агломерата	Готовый агломерат	Челноковый распределитель шихты, загрузочный барабан, зажигательный горн, конвейерная агломашина	Взвешенные вещества: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, MnO, Al_2O_3, MgO,CaO; газовые компоненты: CO, CO_2, SO_x,NO_x, бенз(а)пирен, тепловое излучение, шум, вибрация
Пирог спеченного агломерата	Дробление, грохочение агломерата	Горячий годный агломерат, горячий возврат 0–5 мм	Валковая дробилка, щековая дробилка, вибрационный грохот, конвейеры, циклоны-пылеуловители	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, MnO, Al_2O_3, тепловое излучение, шум, вибрация
Дробленый агломерат	Охлаждение агломерата, сортировка и отсев мелочи	Охлажденный годный агломерат+5 мм, возврат 0–5 мм, постель 8–20 мм	Чашевые, линейные, кольцевые охладители	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, MnO, Al_2O_3, тепловое излучение, шум, вибрация
Запыленный воздух	Пылеочистка аспирационных систем	Обеспыленный воздух с выбросом в атмосферу, пыль сухая, шламы	Циклоны, мокрые скрубберы	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, MnO, Al_2O_3, шум, вибрация

Окончание таблицы 2.7

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
1	2	3	4	5
Сточные воды гидросмыва пыли помещений, шлам мокрых газоочисток	Оборотный цикл водо-снабжения	Осветленная вода оборотного цикла, сгущенные шламы	Отстойники грязной воды, сгустители шламов	Шлам состава: C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3, ZnO, $(Na, K)_2O$
Шламы газоочисток	Обезвоживание и сушка шламов	Осветленная вода в оборотный цикл, шлам сухой	Сгустители шламов, вакуум-фильтры, сушильные барабаны	Шлам и взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3, ZnO, $(Na, K)_2O$,$CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$, $MnCO_3$; газовые компоненты (для сушильных барабанов): CO, SOx, NOx; шум, вибрация

Неорганизованные выбросы возникают при транспортировке, выгрузке сырья, при хранении пылящих твердых материалов на открытых складах, при дроблении компонентов шихты, транспортировании материалов на открытых конвейерах, выбросов от агрегатов в технологических процессах при отсутствии или недостаточной герметичности укрытий, утечках из фланцев, насосов, вентиляторов.

2.1.8 Факторы негативного воздействия на окружающую среду

Факторами негативного воздействия на окружающую среду являются следующие.

Выбросы в атмосферу

При производстве агломерата имеют место неорганизованные и организованные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ с твёрдыми компонентами (взвешенными веществами): C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3, MnO; газообразными компонентами: NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2, бенз(а)пирен.

Сточные воды

В агломерационном производстве используется техническая вода из водооборотного цикла для увлажнения шихты при её смешивании и окомковании, в установках мокрых систем пылегазоочистки (или систем с гидроудалением), охлаждения элементов зажигательных горнов, а также смыва осевшей пыли в производственных

помещениях. Водоснабжение осуществляется по локальным водооборотным системам. Сбросы воды не производятся.

Отходы и побочные продукты

В процессе производства агломерата образуются отходы и побочные продукты: просыпь шихтовых материалов, пыль и шламы газоочисток с различных участков, отходы футеровок при ремонтах зажигательных горнов, резиновые транспортёрные ленты, отходы строительных материалов, стекла, кабельной продукции и резинотехнических изделий. Все производственные отходы утилизируются.

Вредные производственные факторы

При производстве агломерата вредными производственными факторами являются:

- повышенное напряжение в электрической цепи свыше 50 В;
- движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная температура поверхности оборудования и материалов;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли;
- повышенный уровень инфракрасного излучения свыше 140 Вт/м^2;
- повышенный уровень производственного шума на рабочем месте свыше 80 дБ;
- повышенная загазованность и запылённость неорганической пылью (ПДК окиси углерода – 20 мг/м^3, неорганической пылью – 6 мг/м^3).

2.2 Производство кокса

2.2.1 Основные способы производства кокса

Вещество кокса представляет собой спекшуюся углеродную массу, содержание углерода 82–89 %, зольность 10–12 %. Кокс является основным восстановительным агентом, опорным материалом и фильтрующей матрицей в доменной печи, применяется в производстве ферросплавов, литейном производстве, производстве электродов в цветной металлургии, химической промышленности.

Кокс получают в процессе пиролиза угля, который заключается в нагреве угля до высоких температур без доступа воздуха. В отопительных простенках коксовой батареи между печными камерами сгорает газовое топливо. Температура дымовых газов составляет 1150–1350 °С, что обеспечивает непрямой нагрев угля до температуры 1000–1100 °С. В течение 14–24 ч в результате нагрева получают кокс, а сам процесс назвают коксованием (карбонизацией).

Образующийся при работе печей коксовый газ подвергают охлаждению и очистке от смолистых веществ и бензольных углеводородов. Эти процессы сопровождаются улавливанием и получением ценных химических продуктов.

Традиционный способ производства кокса в камерных печах, объединенных в коксовые батареи, остается единственным. Изменяются лишь масштабы печей и применяются некоторые усовершенствования оборудования, включая установки для

защиты окружающей среды от загрязнения. Разрабатываются новые технологии, в первую очередь – непрерывного и непрерывно-периодического коксования в кольцевых, шахтных печах и печах с наклонным подом. Эти технологии прошли опытно-промышленную проверку, но до настоящего времени в промышленных масштабах не используются.

За рубежом существуют технологии производства кокса в горизонтальных и вертикальных камерных печах специальной конструкции без химического блока цехов, т. е. с отоплением батарей неочищенным коксовым газом. Выбрасываемые в атмосферу дымовые газы при такой технологии сильно загрязнены и нуждаются в очистке, что при больших объемах этих газов представляет достаточно серьезную проблему.

Принципиальная схема традиционной технологии производства кокса приведена на рисунке 2.16.

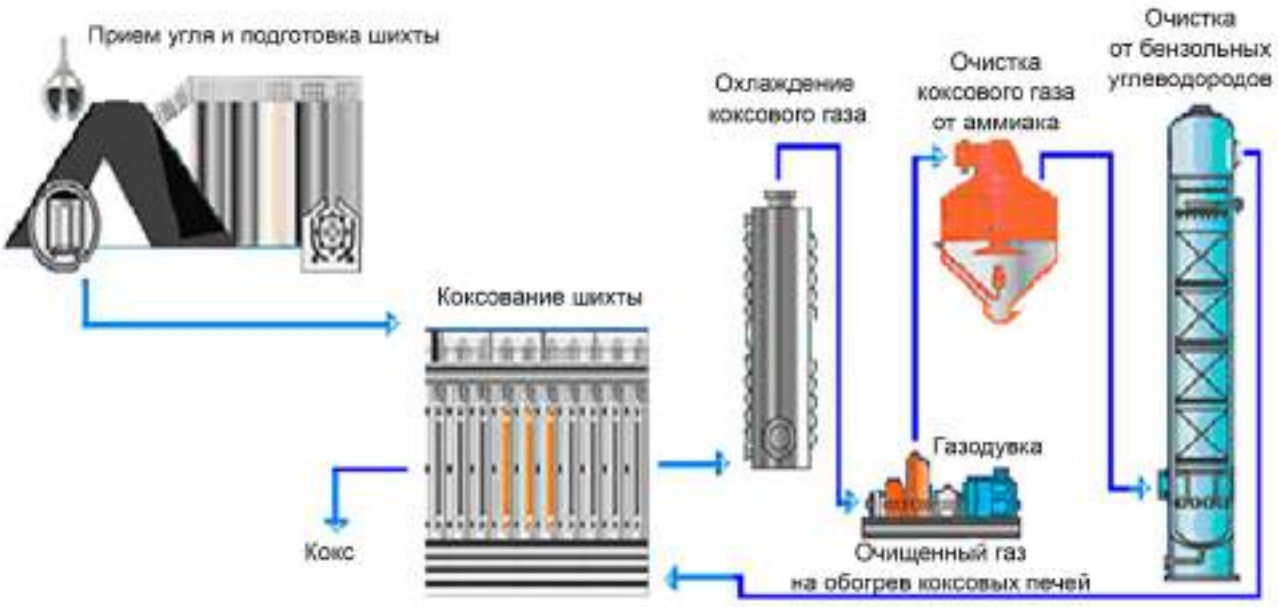


Рисунок 2.16 – Принципиальная схема традиционной технологии производства кокса

2.2.2 Сырьевые материалы

Только некоторые типы углей, обладающие необходимыми пластическими свойствами, пригодны для производства кокса. Сырьевой базой для коксохимического производства являются угли различных угольных бассейнов, обогащенные на фабриках или сортированные с шахт и разрезов.

При использовании каменных углей для коксования необходимо знать их технический состав, спекаемость, коксуемость, распределение минеральных примесей в классах углей по их крупности и насыпной вес угольной шихты.

Под техническим составом топлива обычно подразумевают данные, характеризующие техническую применимость топлива. Технический состав угля определяется содержанием влаги и минеральных примесей, выходом летучих веществ, содержанием серы и фосфора, углерода, водорода и азота, а также теплотой сгорания топлива.

Влажность углей. При нагревании угля до 100–105 °С из него испаряется вода. Количество испаренной воды при этих условиях обычно выражают в процентах к весу топлива и называют содержанием влаги в углях, или влажностью углей.

Содержание минеральных примесей в угле характеризуется его зольностью. Зольность топлива определяется по выходу остатка после сжигания угля при температуре 800 °С. Зольность угля, как и влажность, выражается в процентах к его весу. Чем меньше зольность исходной шихты, тем меньше зольность получаемого металлургического кокса.

Выход летучих веществ представляет собой количество образовавшихся газообразных продуктов в результате различных химических реакций в процессе термического разложения топлива. Выход летучих веществ характеризует химический возраст (зрелость) углей. Чем меньше выход летучих веществ из углей, тем больше их возраст.

Коксуемость углей обусловливается совокупностью всех процессов, которые протекают при нагреве их до более высоких температур (1000–1100 °С) и включают, кроме процессов спекания, упрочнение и усадку материала полукокса и кокса, образование трещин и другие явления. Поэтому коксуемостью называют способность угля самостоятельно или в смеси с другими углями при определенных условиях подготовки и нагревания до высоких температур образовывать кусковой пористый материал – кокс, обладающий определенной крупностью и механической прочностью.

Группы углей обычно обозначаются начальными буквами их названий. Буквами Д, Г, Ж, К, О, С и Т обозначают длиннопламенные, газовые, жирные, коксовые, отощенные, спекающиеся и тощие угли. Вышеприведенный ряд углей характеризуется увеличением степени их химической зрелости (возраста). Часто для обозначения групп углей применяют их сочетание или дополнительные индексы, подразделяющие группы углей на подгруппы. Систематизация углей по группам и маркам представляет собой их классификацию.

Для получения кокса используют только те угли, которые при нагревании способны размягчаться, вспучиваться под действием выделяющихся летучих веществ и затвердевать с образованием прочных кусков. Наилучшими для этой цели являются так называемые коксующиеся угли с выходом летучих веществ в пределах 18–27 %. Угли с большим выходом летучих (газовые) или с меньшим (тощие) обычно спекаются плохо или не спекаются совсем. В настоящее время для получения кокса используют и неспекающиеся или плохо спекающиеся угли, примешивая их к коксующимся. Для коксования применяют угли следующих марок: коксовые (К), жирные (Ж), отощенные спекающиеся (ОС) и газовые (Г).

В настоящее время на всех КХП России коксованию подвергают не отдельные сорта углей, а угольную шихту из нескольких марок.

2.2.3 Подготовка углей к коксованию

Подготовка угольной шихты проводится в углеподготовительных цехах. Углеподготовительный цех (УПЦ) предназначен для приема, хранения, усреднения и измельчения углей, дозирования компонентов угольной шихты и обеспечения готовой шихтой заданного качества коксовых цехов.

Технологическая схема подготовки углей к коксованию включает:

- гаражи размораживания углей;
- вагоноопрокидыватели;
- открытый или закрытый склад угля;
- отделение предварительного дробления;
- дозировочное отделение;
- отделение окончательного дробления;
- оборудование и сооружения для транспортировки угля и шихты (перегрузочные станции с ленточными конвейерами);
- угольные башни коксовых батарей.

Прием угля на предприятие

Прибывающие вагоны с углем разгружаются на стационарных роторных вагоноопрокидывателях в приемные бункера, из которых уголь подается транспортерами на угольный склад или непосредственно на участок углеприема в отделение предварительного дробления (ОПД). Производительность вагоноопрокидывателя по выгрузке угля в зависимости от условий выгрузки и времени года составляет от 6 до 15 вагонов в час.

Технологией процесса выгрузки угля из вагона предусмотрено, что ротор вагоноопрокидывателя переворачивает вагон и уголь падает в приемные бункера в течение нескольких секунд. Падающая масса угля увлекает (эжектирует) окружающий воздух, создавая воздушный поток, направленный вниз. Одновременно из бункера вытесняется находящийся там воздух, этот поток направлен вверх. Сталкивающиеся между собой потоки воздуха образуют завихрения и захватывают мелкие частицы, образующиеся при высыпании угля из вагона и рассыпания его в бункере. Запыленный воздух образует пылевое облако, которое загрязняет пылью рабочие места и территорию коксохимпроизводства, а также территории населенных мест и селитебных зон, расположенных вблизи

предприятия. Для предотвращения этого выброса сооружаются аспирационные установки, предусматривающие окожушивание ротора с отсосом и очисткой запыленного воздуха. В качестве пылеуловителей применяются мокрые аппараты (циклоны с водяной пленкой, газопромыватели СИОТ и др.).

В зимнее время смерзшийся в вагонах уголь перед разгрузкой размораживается в гаражах размораживания. Теплоносителем для разогрева углей в железнодорожных вагонах в гараже размораживания служат дымовые газы, получаемые от сжигания коксового или природного газа в топках печей. Продукты горения нагнетаются в помещение гаража через патрубки распределительных металлических боровов, проходящих вдоль стен гаража. По всасывающим трубопроводам 80 % газов из гаража размораживания возвращаются обратно на рециркуляцию в смесительные камеры топок, где, смешиваясь с продуктами горения газа, вновь подаются дымососами в помещение гаража. Остальная часть отводится в атмосферу через вытяжные трубы, расположенные на крыше гаража.

Усреднение и хранение углей

Хранение и усреднение поступающих на производство углей производится на угольных складах открытого или закрытого типа.

Открытые склады имеют различные схемы, но независимо от этого все снабжены мостовыми грейферными кранами, называемыми углеперегружателями, для складирования углей в штабеля и выдачи их со склада. Обычно открытый склад состоит из нескольких траншей по 200–250 м длиной каждая и нескольких площадок, оборудованных углеперегружателями. На складе угли усредняются путем послойной укладки их в штабеля и забора на производство вразрез уложенным слоям с помощью грейфера. Полная высота штабелей достигает 14–16 м. Оперативная емкость склада рассчитывается на обеспечение работы коксовых батарей в течение 12 суток.

Закрытые склады представляют собой ряд железобетонных бункеров (силосов), снабженных ленточными конвейерами для подачи угля на склад и выдачи его на производство. В закрытых складах совмещаются функции хранения, усреднения и дозирования углей в одном сооружении.

Подготовка угольной шихты

С угольного склада уголь транспортерами подается на участок углеприема в отделение предварительного дробления. Обычно подготовка углей осуществляется по схеме ДШ – дробление шихты или ДК – дробление компонентов (см. рисунок 2.17). Возможно применение схемы ГДК – групповое дробление компонентов. Выбор схемы подготовки углей зависит прежде всего от качества применяемых для приготовления шихты углей и от имеющегося на предприятии технологического оборудования.

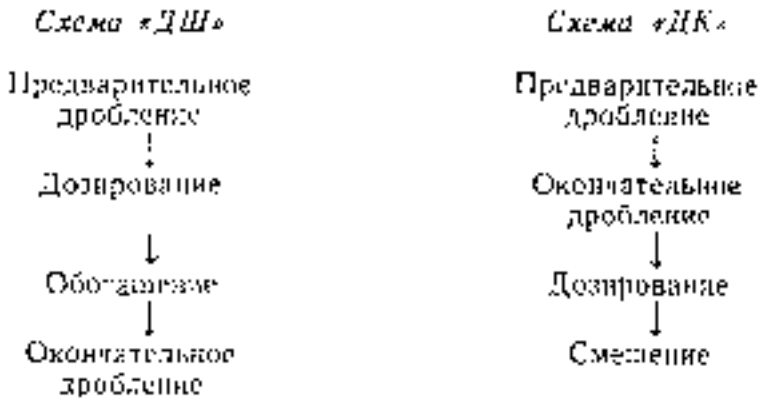


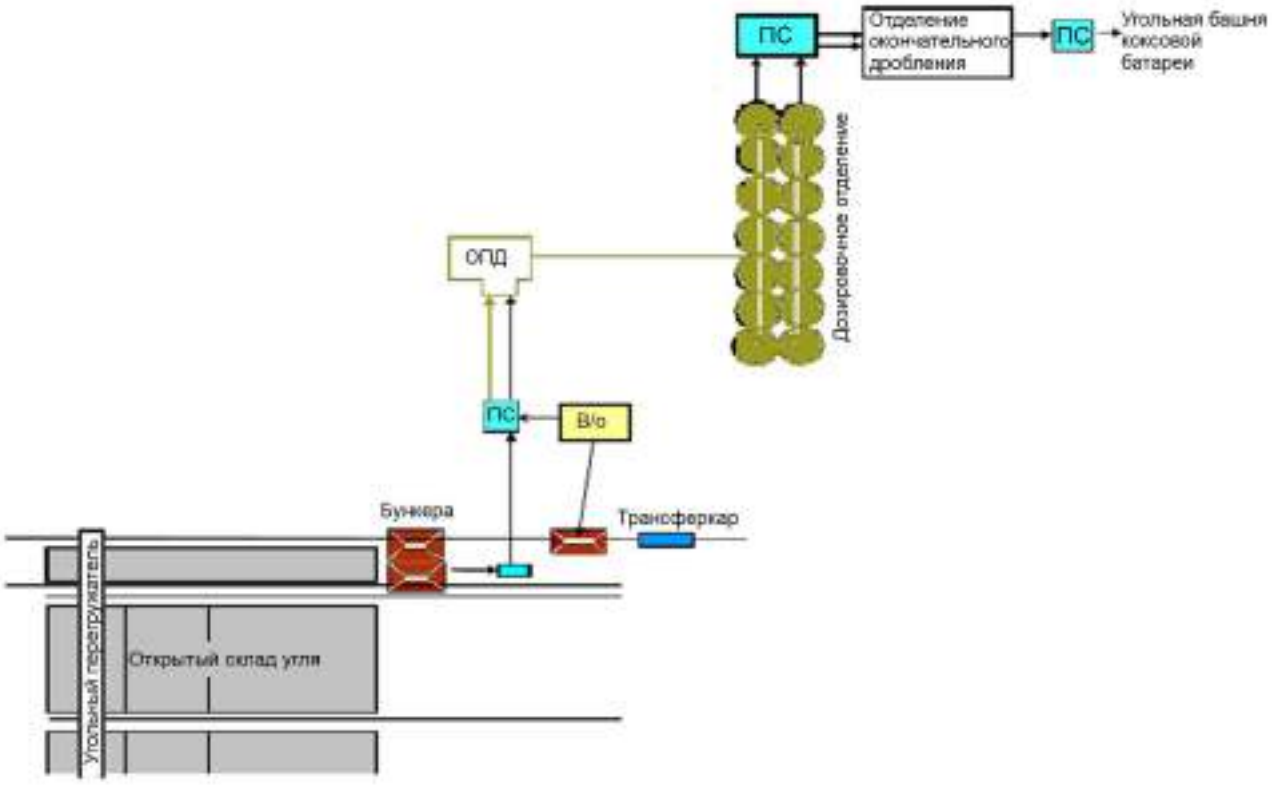
Рисунок 2.17 – Схемы подготовки углей к коксованию

Угольная шихта представляет собой смесь углей, различающихся между собой по технологическим свойствам. Подготовка шихты заданного состава (по схеме ДШ) происходит путем дозирования угля разных марок из силосов на ленточный питатель и подачи его на сборные конвейеры, по которым шихта подается на измельчение и смешивание в молотковые дробилки отделения окончательного дробления и затем распределяется на угольные башни коксовых батарей.

Предварительное дробление углей производится барабанными дробилками, в которых уголь измельчается до размеров кусков 80–100 мм и удаляются посторонние предметы и куски породы.

После предварительного дробления уголь по системе конвейеров подается в дозировочное отделение и распределяется по силосам (дозировочным емкостям) в зависимости от марки угля. Силоса обычно расположены в две нитки по несколько емкостей.

Технологическая схема углеподготовки приведена на рисунке 2.18.



В/о – вагоноопрокидыватель; ОПД – отделение предварительного дробления; ПС – перегрузочная станция

Рисунок 2.18 – Технологическая схема углеподготовки (пример)

2.2.4 Технологические процессы производства кокса

Процесс производства кокса включает в себя следующие технологические операции [31]:

- загрузка камер коксования угольной шихтой;
- нагрев угольной шихты без доступа воздуха до заданных температур за установленный период времени в коксовых печах;
- отвод и охлаждения прямого коксового газа из камер коксования;
- выдача готового кокса из печей;
- тушение кокса;
- сортировка кокса на фракции;
- транспортировка коксовой продукции в доменный цех или отгрузка кокса потребителям.

Выдача кокса и загрузка печей ведется по цикличному графику.

Промежуток времени от загрузки печи до выдачи кокса называют периодом коксования. Период коксования с прибавкой времени на операции по загрузке шихты и выдаче кокса называют временем оборота печей или оборотом печей.

В состав коксовых цехов входят коксовые батареи со вспомогательными и обслуживающими устройствами и сооружениями, обычно объединенные в блоки из двух батарей; угольные башни; коксовые машины; тушильные башни для мокрого тушения кокса с насосами и отстойниками; коксовые рампы с транспортерами для

подачи кокса на сортировку; коксосортировка с устройствами для рассева кокса, подачи его в доменный цех или в железнодорожные вагоны с бункерами для промежуточного накопления.

Коксовые батареи

Основная конструкция современных коксовых печей была разработана к середине XX века.

Печь (камера коксования) является рабочим пространством, в котором происходит процесс коксования. Она имеет форму призмы с большим по ширине основанием на коксовой стороне батареи, т. е. в направлении выталкивания из камеры коксового пирога. С машинной и коксовой сторон камера коксования закрывается дверьми с огнеупорной футеровкой. В перекрытии камеры имеются отверстия для загрузки ее угольной шихтой и отверстия для выхода коксового газа.

В настоящее время печи, объединенные в батареи, имеют длину 12–17 м, высоту 4–7 м и ширину 0,3–0,6 м. Между печами размещаются отопительные простенки – стены камеры с вертикальными обогревательными каналами, в которых происходит сжигание отопительного газа. Подаваемый в отопительные простенки воздух подогревается в регенераторах с помощью горячих отходящих газов; утилизация вторичного тепла дает возможность повышения температуры в печи. Батареи могут включать до 77 печей, каждая печь в батарее вмещает до 30–40 т угля.

Схема устройства батареи приведена на рисунке 2.19.

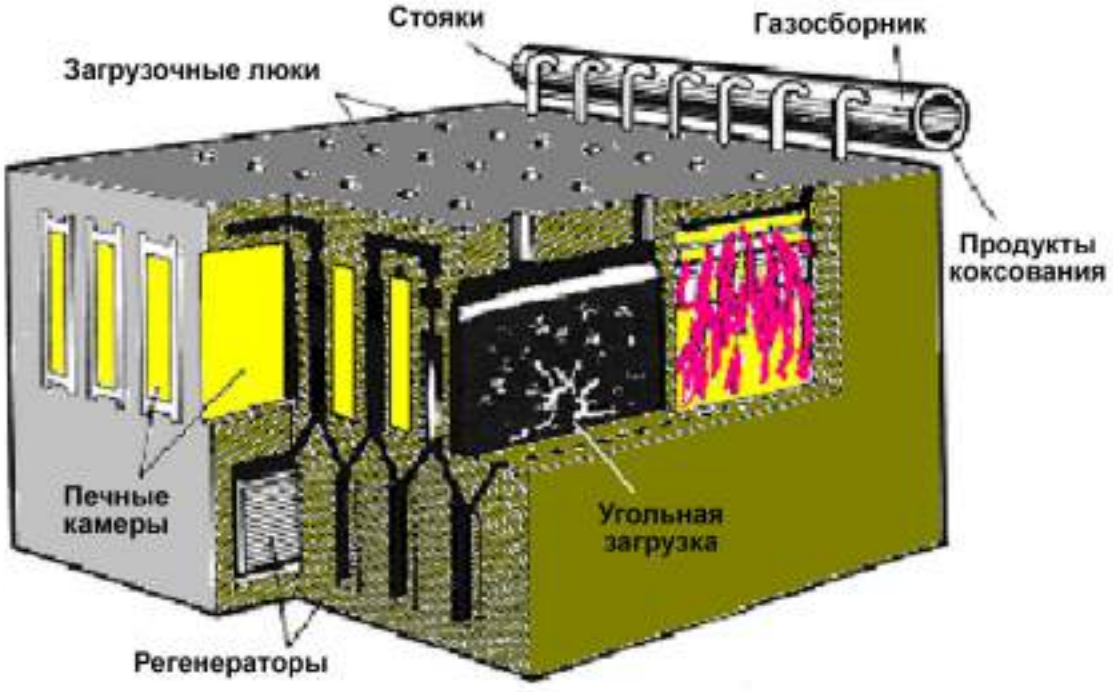


Рисунок 2.19 – Схема устройства коксовой батареи

Обогрев батарей осуществляется коксовым газом или смесью коксового (вариант – природного) и доменного газов. Дымовые газы отводятся в борова и затем через дымовую трубу батареи выбрасываются в атмосферу.

При нагревании угля выделяется коксовый газ, создавая в печи повышенное давление. Для предотвращения газовыделения (газования) в период коксования и обеспечения необходимой герметичности камер производится уплотнение дверей, крышек загрузочных люков и стояков. Для предотвращения выбросов через неплотности дверей камер применяются уплотнения, в основном «железо по железу». Крышки загрузочных люков уплотняются специальным раствором для предотвращения выделений загрязняющих веществ (продукты пиролиза угля) через неплотности. Крышки стояков оборудуются гидравлическими или пневматическими уплотнениями.

Повышенное давление газа в печных камерах может привести к перетоку (прососам) коксового газа в отопительные простенки через неплотности кладки печей. При наличии прососов органические вещества, содержащиеся в сыром коксовом газе, при недостатке кислорода возгоняются с образованием сажевых частиц. Проведение регулярных ремонтов огнеупорной кладки позволяет предотвратить прососы и снизить выбросы сажи из дымовых труб коксовых батарей.

Летучие продукты коксования (прямой коксовый газ) отводятся из камеры через газовые люки, на которых установлены стояки, в газосборники и далее по трубопроводу на переработку в цеха улавливания. В газосборниках газ охлаждается путем орошения его надсмольной водой, подаваемой через специальные форсунки. По мере охлаждения газа в газопроводах и охлаждающей аппаратуре образуется газовый конденсат. В местах его скопления устанавливаются конденсатоотводчики, через которые конденсат непрерывно вытекает в соответствующие сборники, из которых после отстаивания направляется в фенольную канализацию.

Печные системы

Существующие в РФ коксовые батареи с боковым подводом отопительного газа принципиально подразделяются по конструкции системы обогрева на батареи с перекидными каналами (ПК) и батареи с парными вертикалами и рециркуляцией продуктов горения (ПВР). Каждый тип батарей имеет свои преимущества и недостатки. Система ПВР обеспечивает относительно более гибкое регулирование распределения температуры по высоте коксового пирога, система ПК – по длине коксового пирога, особенно при резких колебаниях оборота печей.

Коксовые батареи ПВР с боковым подводом коксового газа имеют преимущества в сравнении с конструкциями коксовых батарей систем ПК. Основными достоинствами коксовых батарей системы ПВР являются: относительно низкое сопротивление отопительной системы; равномерный обогрев печной камеры по высоте; существенное снижение NO_x в дымовых газах вследствие рециркуляции продуктов горения; высокая строительная прочность отопительного простенка в сравнении с печами, имеющими сборный горизонтальный канал. Несмотря на более сложную конструкцию

газораспределительной корнюрной зоны, что усложняет конфигурацию фасонных огнеупоров, суммарный расход огнеупорных изделий на кладку (динасовых, шамотных, полукислых, многошамотных и др.) такой же, как для печей ПК-2К со сдвоенными регенераторами.

Загрузка печей

Загрузка угольной шихты в камеры коксования осуществляется углезагрузочным вагоном, который доставляет угольную шихту из угольной башни к загружаемой печи.

Угольная башня обычно обслуживает две батареи, ее емкость должна обеспечивать 15–18 ч потребность коксового блока в шихте.

В нижней части угольной башни располагается ряд затворов, через которые угольная шихта поступает в бункера углезагрузочного вагона. После набора шихты углезагрузочный вагон передвигается к коксовой печи, готовой к загрузке.

В перекрытии каждой печной камеры находится 3 или 4 загрузочных люка, через которые в камеры поступает шихта. Внизу бункеров углезагрузочного вагона имеются телескопические патрубки, которые опускаются на люки печных камер.

Наиболее распространен метод гравитационной загрузки, когда шихта движется вниз под действием гравитационных сил. Загрузка печи шихтой при гравитационном способе загрузки составляет 3–6 мин.

Печи оборудованы устройствами для бездымной загрузки методом паро-или гидроинжекции, при которых выделяющиеся пылегазовые продукты отсасываются в газосборник.

Загруженная в печь шихта должна быть сверху выровнена. Между сводом печи и загруженной шихтой должно оставаться свободное пространство для выхода газа в стояк. Это обеспечивается выравниванием (планированием) шихты путем ввода в печь планирной штанги.

Выдача и тушение кокса

После окончания заданного периода коксования двересъемные машины на коксовой и машинной сторонах батареи снимают двери печной камеры и готовый кокс при помощи штанги коксовыталкивателя через коксонаправляющую корзину выталкивается (выдается) в приемный вагон. Схема выдачи представлена на рисунке 2.20.

При мокром тушении кокса кокс в тушильном вагоне электровозом транспортируется под башню тушения и в течение 40–60 с орошается водой, в качестве которой обычно используется вода после биохимической очистки. После орошения вагон отстаивается не менее 50 с под тушильной башней для стока излишней воды.

Стекающая с вагона во время тушения вода отстаивается в специальных шламовых отстойниках. Отстоявшаяся вода забирается насосом и снова подается на тушение кокса. Шлам из отстойника грузится грейфером в железнодорожные вагоны.

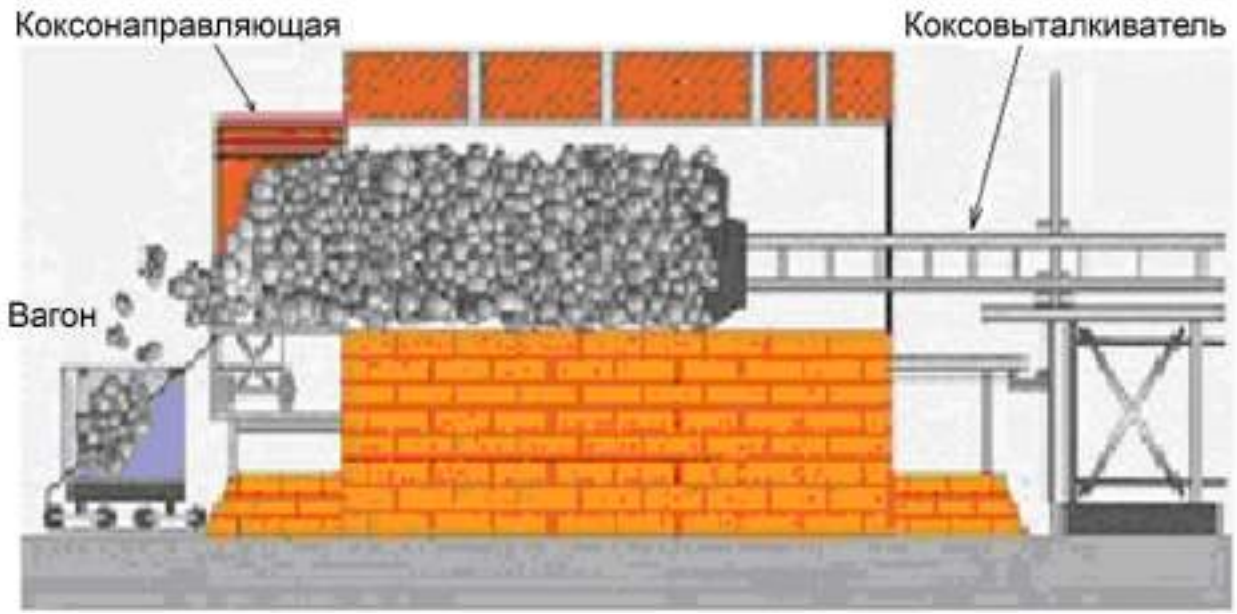


Рисунок 2.20 – Схема выдачи кокса

Из тушильного вагона кокс выгружается на рампу, выдерживается на ней не менее 15 мин для испарения влаги, ссыпается на конвейер и подается на коксосортировку.

При сухом тушении кокса кокс выдается в коксовозный вагон и направляется на установку сухого тушения (УСТК), в которой охлаждается инертным газом, продуваемым через слой кокса в камере сухого тушения. После охлаждения в УСТК кокс подается на коксосортировку.

Транспортирование, сортировка и отгрузка кокса

Схема коксосортировки (пример приведен на рисунке 2.21) предусматривает рассев кокса на классы (по крупности кусков) при помощи валковых и вибрационных грохотов. Технологическая схема рассева кокса обычно предусматривает его разделение на классы:

- кокс литейный с размером кусков +60 мм;
- кокс литейный с размером кусков +40 мм;
- кокс доменный с размером кусков +40 мм;
- кокс доменный с размером кусков +25 мм;
- кокс доменный с размером кусков 25–40 мм;
- орешек коксовый с размером кусков 10–25 мм;
- мелочь коксовая с размером кусков 0–10 мм.

Сортировка кокса по крупности начинается с отделения крупной фракции кокса (класс от 25 до 40 мм) на валковых грохотах. Кокс после валковых и вибрационных грохотов поступает на рассевной грохот, на котором отсеивается фракция более 25 мм, коксовый орешек с размером кусков от 10 до 25 мм и коксовая мелочь с размером кусков менее 10 мм.

После рассева кокс поступает в бункеры кокса, откуда затем либо подается по транспортерам в доменный цех металлургического производства, либо отгружается потребителям в железнодорожный или автомобильный транспорт.

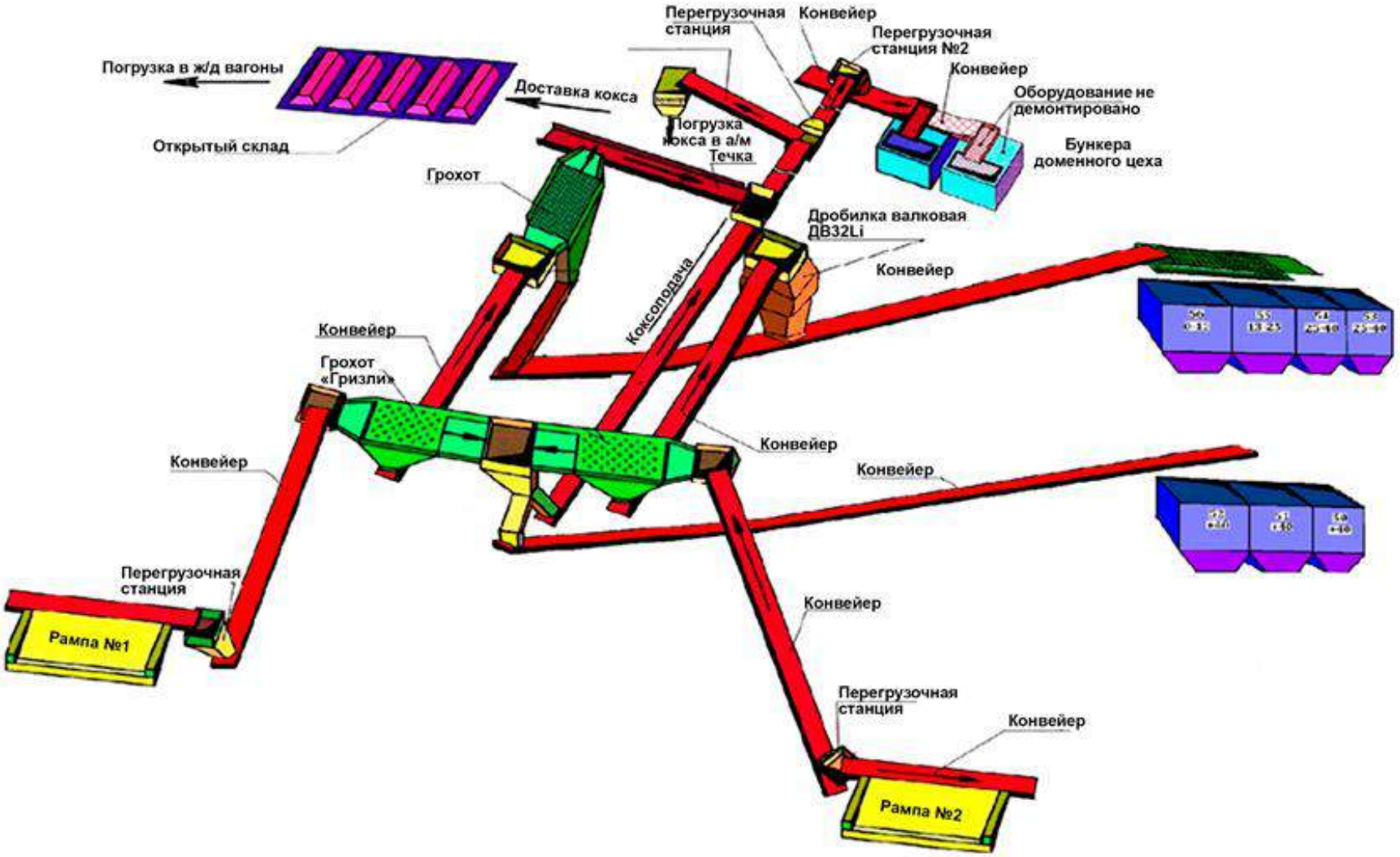


Рисунок 2.21 – Технологическая схема коксосортировки (пример)

2.2.5 Очистка коксового газа

Коксовый газ образуется при коксовании угля в результате термического разложения последнего при повышении температуры до 1000–1150 °С и является побочным продуктом при производстве кокса. Он представляет собой смесь различных газов и паров: метана, водорода, окиси углерода, аммиака, паров каменноугольной смолы и других веществ. Коксовый газ после очистки используется для обогрева коксовых батарей, а также как энергетическое топливо для объектов металлургического и энергетического производств.

В результате осреднения выход коксового газа из батареи, состоящей из 60–70 печей, получается практически равномерным в пределах 400–450 м^3/т получаемого кокса. Этот газ называют прямым (таблица 2.8).

Для обеспечения надлежащих экологических показателей при последующем использовании коксового газа для энергетических нужд прямой коксовый газ проходит обязательную обработку, в процессе которой из него удаляются пары смолы и воды, а также улавливаются аммиак и бензольные углеводороды [31]. После такой обработки газ называется обратным (см. таблицу 2.8) и его используют в основном для сжигания в качестве топлива как самостоятельно (Qрн ~ 16 мДж/м^3), так и в смеси с доменным.

Таблица 2.8 – Состав прямого и обратного коксового газа

Компонент	Содержание, %	
	Прямой газ	Обратный газ
Оксид углерода CO	2–5	2–7
Кислород O_2	0,8–1,0	0,6–1,5
Диоксид углерода CO_2	2–7	2,4–3,0
Водород H_2	50–57	57–60
Метан CH_4	20–25	22–25
Углеводороды C_nH_m	2,0–2,5	1,7–2,0
Аммиак NH_3	7–9	–
Бензол C_6H_6	22–27	–
Цианистый водород HCN	1,7–2,5	–
Нафталин $C_{10}H_8$	0,6–1,3	–
Сероводород H_2S	1,7–4,5	2,0–3,5 г/нм^3

Очистка и обработка коксового газа с извлечением попутных химических продуктов коксования осуществляется в комплексе технологических процессов (химических производств), общий вид которых приведен на рисунке 2.22.

Схема очистки коксового газа представлена на рисунке 2.23.



Рисунок 2.22 – Панорама технологических участков для очистки и обработки коксового газа

Первичное охлаждение и очистка коксового газа от аммиака

Основная очистка коксового газа производится в цехе улавливания, где происходит охлаждение летучих парогазовых продуктов, выходящих из камеры коксования с температурой 700–800 °С, до 30–40 °С, конденсация с очисткой их от смолы, нафталина, аммиака и бензола.

Каменноугольная смола – сложная смесь большого числа индивидуальных соединений, основные из них – углеводороды ароматического ряда. Смола является сырьем для получения пека, нафталина, каменноугольных масел и других ценных продуктов.

Основные технологические процессы:

- первичное охлаждение коксового газа и выделение из него смолы и водяных паров;
- извлечение из коксового газа и надсмольной воды аммиака (с получением сульфата аммония или с термическим уничтожением аммиака);
- конечное охлаждение коксового газа (с улавливанием нафталина);
- очистка коксового газа от бензольных углеводородов;
- подача очищенного коксового газа на обогрев коксовых батарей и другим потребителям.

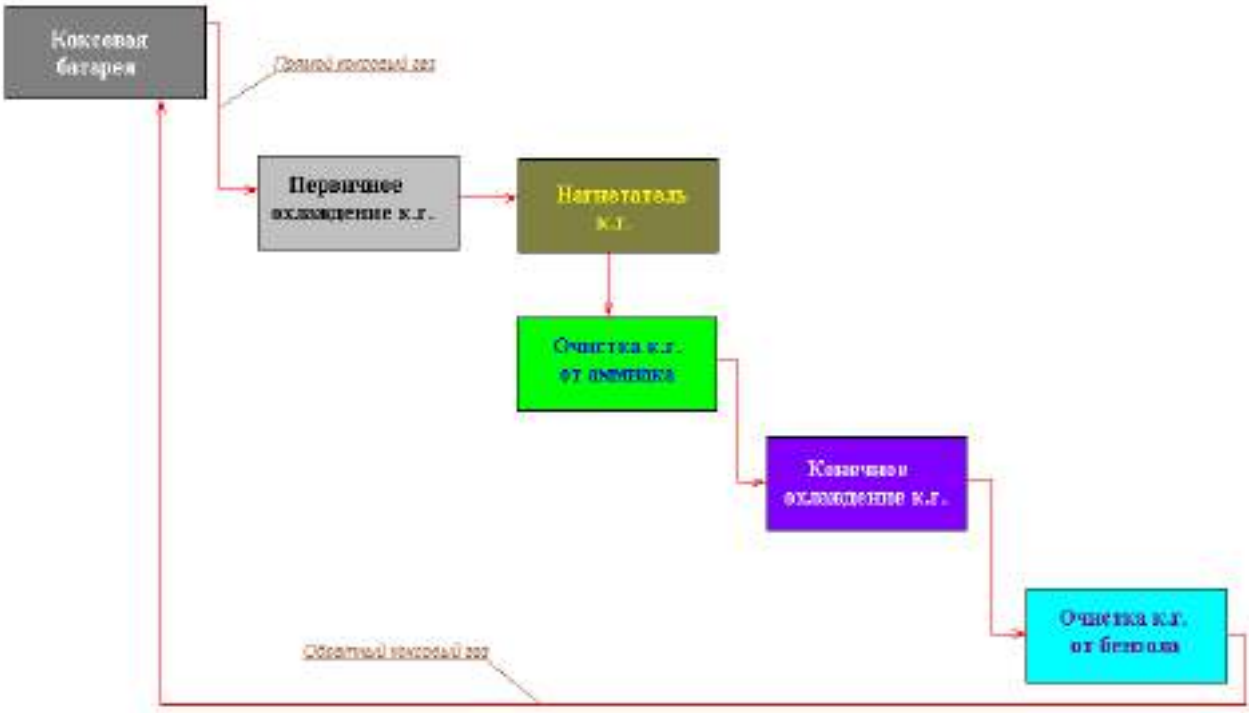


Рисунок 2.23 – Технологическая схема отделения конденсации цеха улавливания (пример)

Очистка коксового газа от аммиака

Улавливание аммиака из коксового газа на большинстве предприятий производят путем контакта газа с серной кислотой в сатураторах барботажного типа с получением сульфата аммония.

В ряде случаев вместо сатураторов применяют более интенсивное оборудование – форсуночные скрубберы-абсорберы, где при помощи промывки серной кислотой из газа улавливается аммиак.

По воздействию на загрязнение окружающей среды бессатураторный способ практически не отличается от сатураторного.

В последнее время получает распространение технология очистки коксового газа от аммиака круговым фосфатным способом (КФС) с улавливанием аммиака и последующей утилизацией пароаммиачной смеси с выработкой пара. Реализация этой технологии позволяет исключить из оборота концентрированную серную кислоту и предотвратить образование кислой смолки, а также снизить выбросы в атмосферу некоторых загрязняющих веществ II–IV классов опасности.

Конечное охлаждение и очистка коксового газа от бензольных углеводородов

Очищенный от аммиака газ с температурой 50–60 °С поступает в конечный газовый холодильник (КГХ), где охлаждается оборотной водой до температуры 20 °С (зимой) или 30 °С (летом). Одновременно с охлаждением газа и конденсацией содержащихся в нем водяных паров в КГХ происходит вымывание нафталина.

Из конечного газового холодильника коксовый газ поступает в бензольные скрубберы, орошаемые поглотительным маслом, при контакте с которым газ очищается от бензольных углеводородов.

Очищенный коксовый газ (обратный) направляется на отопление коксовых батарей, а также в металлургическое производство в качестве энергетического топлива.

2.2.6 Установка биохимической очистки сточных вод

В процессе производственной деятельности КХП образуются следующие сточные воды:

- фенольные – за счет влаги шихты, пирогенетической влаги и конденсата пара, выделяются в процессах коксования шихты и переработки продуктов коксования;

- шламовые – в процессах мокрой очистки газа и воздуха аспирационных и вентиляционных систем;

- производственные стоки, к которым относятся продувочные воды чистых и грязных оборотных циклов – при выведении из оборотных циклов части оборотной воды с целью уменьшения концентрации загрязнений в оборотной воде за счет подачи в цикл свежей воды (подпитки), а также сточные воды химводоподготовки, продувочные воды котлов и др.;

- ливневые и поливомоечные воды – за счет сбора и отведения с территории КХП ливневых, талых и поливомоечных вод.

Для канализования сточных вод на КХП обычно имеются фенольная, ливневая, шламовая и хозфекальная канализации; название системы канализования совпадает с названием вод, отводимых по ней. Для очистки фенолсодержащих сточных вод (технологических и загрязненных поверхностных) сооружается биохимическая установка (БХУ).

Биохимическая установка предназначена для очистки сточных вод от органических и неорганических соединений, а именно: от смол и масел, фенолов, роданидов, цианидов, аммонийного азота и его окисленных форм до норм, обеспечивающих возможность их использования на нужды предприятия взамен технической воды (мокрое тушение кокса). Схема биохимической очистки сточных вод приведена на рисунке 2.24.

Установка биохимической очистки представляет собой комплекс сооружений, позволяющих удалить из воды основную массу растворимых в ней загрязняющих веществ. Отделение биохимической очистки сточных вод обычно состоит из двух ступеней: механической очистки от смолы и масел и биохимической очистки от фенолов и роданидов.

Сточные воды, образующиеся в основных технологических процессах коксования (конденсат из газопроводов коксового газа, избыточная надсмольная вода цеха улавливания, продувочные воды циклов конечных газовых холодильников и др.), содержащие в значительном количестве фенолы, роданиды, соли аммония, смолы, масла и др., собираются в приемных резервуарах БХУ.

Биохимический метод обесфеноливания сточных вод основан на способности некоторых микробов разрушать фенолы. Интенсивность процесса обесфеноливания достигается применением специальных комплексов фенолоразрушающих и

роданразрушающих микробов и созданием им надлежащих условий жизнедеятельности, к которым относятся:

- интенсивная аэрация сточных вод;
- pH в пределах 7,0–8,5;
- предварительная очистка сточных вод от смолы и масел;
- наличие в сточной воде питательных веществ в определенных количествах (углерод, азот, фосфор);
- обеспечение постоянства состава и количества сточных вод, поступающих на очистку.

Сточная вода направляется в первичные отстойники для очистки от грубодисперсных нерастворимых примесей, включая тяжелые смолы, а также от части легких масел. Всплывающие легкие загрязнения собираются в сборном лотке, откуда периодически (раз в смену) сбрасываются в сборник масел. Для удаления осевших загрязнений первичные отстойники снабжены коническим днищем для перемещения и выгрузки осадка в сборник тяжелых смол и масел, откуда вывозится автоцистерной на склад угля УПЦ и используется как добавка к коксуемой шихте.

Осветленная вода с первичных отстойников перетекает в резервуар вод для продолжения механической очистки во флотаторах. Очистка методом напорной флотации производится в две ступени, сначала сточная вода проходит очистку в одном флотаторе, а затем – во втором. Вода подается сначала в напорный бак, а затем – через водораспределительное устройство для равномерного распределения сточной воды по всей площади флотационной камеры, расположенной в нижней части флотатора. Из флотационной камеры сточная вода перетекает в зону отстаивания флотатора и далее поступает в резервуар после I ступени флотации.

Всплывшие вверх сфлотированные масла в виде маслянистой пены удаляются с поверхности воды напорных флотаторов постоянно вращающимися скребковыми устройствами (пеногонами) в сборные лотки, из которых далее сбрасываются в сборник легких масел. Очищенная в первом флотаторе сточная вода из резервуара подается в напорный бак и далее во флотатор II ступени, проходя очистку аналогично первой ступени флотации.

Очищенная до массовой концентрации смол и масел 30–50 мг/дм^3 сточная вода после флотатора II ступени поступает в промежуточный сборник вод после механической очистки, откуда в летнее время подается в кожухотрубчатые теплообменники для охлаждения и далее в усреднители. В зимнее время подача сточной воды в усреднители осуществляется, минуя теплообменники.

В усреднителях происходит смешение и усреднение сточной воды по температуре, концентрации загрязняющих компонентов и pH. Усреднители работают как предаэротенки. Для этого в них подается сжатый воздух и ортофосфорная кислота.

Вода с перетоков из верхней части усреднителей собирается в резервуар усредненной воды. Благодаря усреднению вод обеспечивается постоянство состава воды, что стабилизирует качество очищаемой воды и процесс очистки.

Усредненные и предварительно осветленные сточные воды подаются в аэротенки первичной ступени, где производится биохимическая очистка от фенола. Очищенные от фенола сточные воды поступают в сборник, откуда подаются в аэротенки второй ступени для очистки от роданидов. После очистки на второй ступени сточные воды поступают во вторичный отстойник, из которого сгущенный ил возвращают в аэротенки второй

ступени, а очищенные стоки подают в сборник, откуда их направляют на тушение кокса либо на городские очистные сооружения для доочистки с хозбытовыми водами.

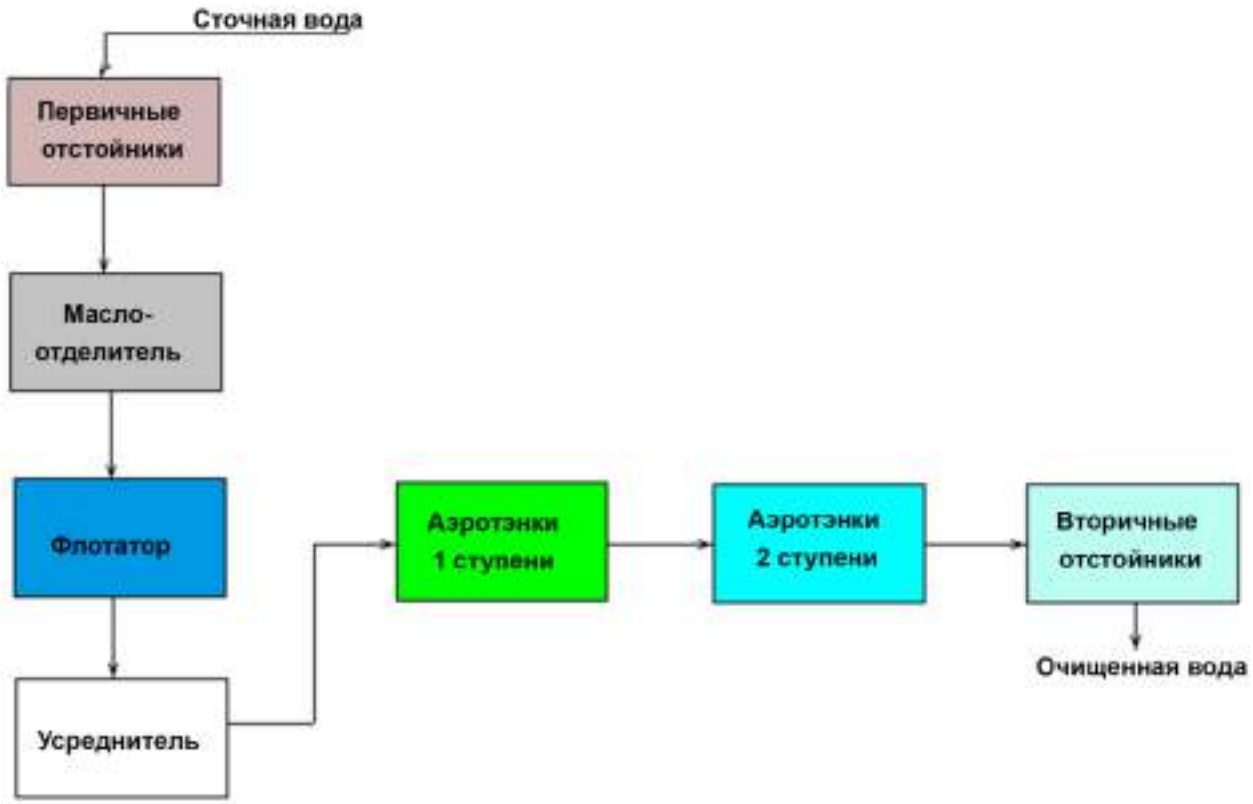


Рисунок 2.24 – Схема биохимической очистки сточных вод

В составе биохимической установки имеются питомники для культур фенолразрушающих и роданидразрушающих бактерий. Подача подготовленных культур из питомников предусмотрена во все реакторы и усреднители и осуществляется насосами.

2.2.7 Основное технологическое и природоохранное оборудование для производства кокса

Основное оборудование для производства кокса приведено в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Основное оборудование для производства кокса

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Вагоноопрокидыватель роторный	Разгрузка вагонов	Ротор, вращающийся на роликовых опорах. Угол поворота 170 °. Подземная часть имеет бункеры для угля
Закрытый склад угля	Хранение угля	Железобетонные бункеры емкостью до 2500 т
Дробилки	Измельчение угля	Барабанные, молотковые, инерционно-роторные дробилки ударно-отражательного действия
Коксовые печи	Коксование шихты	Камеры коксования, объединенные в батареи. Материал – динас
Углезагрузочная машина	Комплекс операций по набору шихты, доставке и загрузке шихты в камеру печи	Машина, передвигающаяся по рельсам на верху батареи, имеет бункеры шихты, механизмы снятия и установки загрузочных люков, управление стояками и парогидроинжекцией
Коксовыталкиватель	Обслуживание дверей, планирование шихты, выталкивание коксового пирога из печи	Машина, передвигающаяся по наземным рельсам на машинной стороне батареи, имеет механизмы снятия, чистки и установки дверей, штангу для выталкивания кокса и планирную штангу
Двересъемная машина	Обслуживание дверей и рабочей площадки на коксовой стороне батареи	Машина, передвигающаяся по рельсам на рабочей площадке коксовой стороны батареи, имеет механизмы снятия, чистки и установки дверей
Тушильный вагон	Прием раскаленного кокса, транспортировка его на тушение и на коксовую рампу	Вагон перемещается вдоль батарей электровозом. При мокром тушении принимает кокс в движении для равномерного рассыпания, при сухом тушении принимает кокс с одной постановки
Тушильная башня	Тушение кокса водой	Имеет оросительную систему с вытяжной трубой
Коксовая рампа	Отпаровывание кокса	Наклонная поверхность, футерованная базальтовыми плитами, с которой кокс по конвейерам подается на сортировку
Установка сухого тушения кокса	Тушение кокса инертными газами	Комплекс оборудования, включающий подъемник, камеру тушения с загрузочным и разгрузочным устройствами, пылеотделители, дымосос, паровой котел
Коксосортировка	Разделение валового кокса на фракции	Валковые и вибрационные грохоты. Двухниточный конвейерный тракт. Имеет бункеры готового кокса

Основное природоохранное оборудование

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду процесса производства кокса устанавливается природоохранное оборудование [31]:

- газоочистное и аспирационное оборудование, обеспечивающее необходимый уровень очистки технологических газов и аспирационного воздуха от содержащихся в них загрязняющих веществ перед отводом газов (воздуха) в атмосферу и/или возвратом обратно в рабочую зону;

- водоочистное оборудование, обеспечивающее очистку загрязненных сточных вод;

- установки утилизации отходов производства.

Для улавливания пыли на коксохимических предприятиях используют [45] пылеуловители сухого и мокрого способов очистки. Благодаря развитию газоочистных технологий в последнее время успешно применяются высокоэффективные пылеуловители. К ним относятся рукавные фильтры, электрофильтры, а также мокрые фильтры. Среди наиболее распространенных сухих методов очистки газов от пыли наибольшей эффективности улавливания частиц тонкодисперсных (менее 5 мкм) можно добиться при использовании рукавных фильтров, а также электрофильтров. Использование рукавных фильтров позволяет достичь отметки остаточной запыленности, находящейся ниже 5–10 мг/м^3.

Аспирационное оборудование должно быть либо прямоточным, которое после очистки воздушных масс выбрасывает их в атмосферу, или рециркуляционным, предназначенным для возвращения очищенного воздуха обратно в помещение. В этом случае следует соблюдать санитарные нормы для приточного воздуха.

В процессах углеподготовки до настоящего времени работают пылеуловители мокрого типа, что связано с взрывопожароопасностью угольной пыли. В то же время имеется положительный опыт успешного применения сухих циклонов и рукавных фильтров.

В качествеводоочистных сооружений на коксохимпроизводствах применяются установки биохимической очистки сточных вод**,** обеспечивающие возможность использования очищенной воды для тушения кокса, в водооборотных циклах и для сброса на городские очистные сооружения.

Природоохранное оборудование производства кокса приведено в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Природоохранное оборудование коксового производства

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
Аспирационные установки оборудования углеподготовки и обработки кокса	Локализация выделения загрязняющих веществ, недопущение поступления примесей от источника их образования при технологических процессах производства кокса в атмосферный воздух и воздух рабочей зоны. Удаление запыленного воздуха из-под укрытий транспортно-технологического оборудования	Комплекс аспирационных систем с укрытиями пылевыделяющего оборудования, разветвленной сетью воздуховодов, эффективными пылеулавливающими установками. Для улавливания угольной пыли – мокрые аппараты, циклоны, рукавные фильтры. Для улавливания коксовой пыли – циклоны, рукавные фильтры
Устройства бездымной загрузки шихты	Предотвращение выделения загрязняющих веществ в атмосферный воздух и воздух рабочей зоны. Удаление газов загрузки в газосборник	Паровая или гидравлическая инжекция
Установки беспылевой выдачи кокса стационарные и передвижные	Локализация выделения загрязняющих веществ, недопущение поступления примесей от места рассыпания кокса в атмосферный воздух и воздух рабочей зоны. Удаление запыленного воздуха из зонта и очистка его от коксовой пыли	Аспирационное укрытие в виде зонта, мокрые аппараты, инерционные пылеуловители, циклоны, рукавные фильтры, электрофильтры
Водоочистные сооружения	Очистка воды, используемой для тушения кокса, в водооборотных циклах и для сброса на городские очистные сооружения	Установка биохимической очистки сточных вод от фенолов, роданидов и аммонийного азота
Коллекторные системы	Сбор и транспортирование газовых выделений из емкостного химического оборудования	Разветвленная сеть специальных газоотводящих трубопроводов с подключением к газопроводу коксового газа
Установки утилизации отходов	Сбор и подготовка твердых и жидких отходов к утилизации	Емкости фусов и эмульсии, дозаторы для присадки отходов к угольной шихте

2.2.8 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание

Воздействие производства кокса по стадиям технологического процесса представлено в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Воздействие технологического процессапроизводства кокса на окружающую среду

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Угольное сырье	Разгрузка вагонов	Угольное сырье на конвейере	Вагоноопрокидыватель	Взвешенные вещества (угольная пыль), шум, вибрация, неорганизованные выбросы
	Хранение угля	Угольное сырье на конвейере	Закрытый склад угля	
	Дробление, дозирование и смешение	Угольная шихта на конвейере	Дробилки, дозаторы	
Угольная шихта	Коксование	Кокс	Коксовые печи	Газовые компоненты: оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, сероводород, аммиак, цианистый водород, бензол, фенолы, пиридиновые основания, нафталин, сажа, бенз(а)пирен, тепловое излучение
	Загрузка шихты в печные камеры	Шихта в печной камере	Углезагрузочная машина	Взвешенные вещества (угольная пыль), оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, сероводород, аммиак, цианистый водород, бензол, фенолы, пиридиновые основания, нафталин, бенз(а)пирен, тепловое излучение
Кокс	Выдача кокса	Кокс в тушильном (коксовозном) вагоне	Коксовыталкиватель	Взвешенные вещества (коксовая пыль), оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, сероводород, аммиак, цианистый водород, бензол, фенолы, пиридиновые основания, нафталин, бенз(а)пирен, тепловое излучение
	Тушение кокса	Потушенный кокс	Тушильная башня	Взвешенные вещества (коксовая пыль), оксид углерода, сероводород, аммиак, цианистый водород, фенолы

Окончание таблицы 2.11

Вход-ной поток	Этап процесса (подпро-цесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
			Установка сухого тушения кокса	Взвешенные вещества (коксовая пыль), оксид углерода, сероводород, аммиак, цианистый водород, фенолы
	Сортировка кокса	Фракционированный кокс	Грохоты коксосортировки	Взвешенные вещества (коксовая пыль)

2.2.9 Факторы негативного воздействия на окружающую среду

Производство кокса по всей технологической цепочке сопровождается воздействием на атмосферу, воздух рабочей зоны, поверхностные и подземные воды, связано с образованием отходов производства.

Выбросы в атмосферу

При производстве кокса происходят выбросы в атмосферу вредных веществ: в виде газообразных компонент – оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, аммиак, сероводород, водород цианистый, бензол, нафталин, пиридин, фенол, сероуглерод, бенз(а)пирен, ксилол, толуол, или твердых компонентов – взвешенные вещества (сажа, коксовая пыль, угольная пыль).

Сточные воды

Источниками образования сточных вод являются влага шихты и пирогенетическая вода, выделяющиеся в процессе коксования угля, а также техническая вода и водяной пар, соприкасающиеся в технологических процессах с химическими продуктами коксования. В процессе производства эта вода загрязняется различными примесями – фенолами, аммиаком, сероводородом, цианидами, роданидами, каменноугольной смолой, маслами и др.

Химзагрязненные (фенольные) сточные воды очищаются на биохимической установке очистки сточных вод. Основная часть очищенной воды направляется на мокрое тушение кокса, оставшаяся часть используется в оборотных циклах или передается на городские очистные сооружения.

Отходы и побочные продукты

В процессе производства кокса образуются отходы (побочные продукты) производства (фусы каменноугольные, кислая смолка, пыль коксовая и угольная, шламы, масла, полимеры и др.) и потребления. Особо опасными считаются фусы, представляющие собой смесь угля, графитовых и частично пиролизованных угольных частиц с каменноугольной смолой и водой.

Все производственные отходы утилизируются путем добавления в исходную шихту.

Вредные производственные факторы

При производстве кокса вредными производственными факторами являются:
- повышенное напряжение в электрической цепи;
- движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенный уровень инфракрасной радиации;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная температура поверхности оборудования, материалов;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли;
- повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны.

Допускаемые санитарными нормами уровни и концентрации вредных факторов:
- уровень производственного шума – 80 дБ;
- уровень инфракрасного излучения – 140 Вт/м^2;
- предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ (ГН 2.2.5.1313–03).

Таблица 2.12 – Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Класс опасности	Предельно допустимые концентрации в рабочей зоне, мг/м^3
Диоксид азота	3	5
Аммиак	4	20
Оксид азота	2	30
Цианистый водород	2	0,3
Серная кислота	2	1
Сажа	3	4
Диоксид серы	3	10
Сероводород	2	10
Оксид углерода	4	20
Бензол	2	15/5*
Ксилол	3	150/50*
Толуол	3	150/50*
Бензпирен	1	0,00015
Нафталин	4	20
Фенол	2	1/0,3*
Формальдегид	2	0,5
Сероуглерод	2	10/3
Пиридин	2	-
Взвешенные вещества (пыль коксовая)	3	6*
Взвешенные (пыль угольная)	3	10*
* Среднесменная.		

2.3 Производство чугуна

Чугунами принято называть сплавы железа с углеродом (Fe–Fe_3C) с содержанием углерода свыше 2 % (в разное время это оценивали от 1,7 % до 2,14 %). Наименьшую температуру плавления (1148 °С) имеет сплав без примесей с содержанием углерода 4,38 % (эвтектический) [32]. В доменных печах в наибольшем количестве выплавляют чугун «передельный», предназначенный для передела в сталь или для переплавки в чугунолитейных цехах для производства различных отливок. Передельный чугун в зависимости от назначения выпускается трёх видов:

- передельный коксовый для сталеплавильного производства марок П1 и П2 и для литейного производства марок ПЛ1 и ПЛ2;
- передельный коксовый фосфористый марок ПФ1, ПФ2 и ПФ3;
- передельный коксовый высококачественный марок ПВК1, ПВК2 и ПВК3.

Химические составы данных видов чугуна должны соответствовать техническим условиям ГОСТ 805–95 «Чугун передельный», который устанавливает марки, группы, классы и категории в зависимости от содержания кремния, марганца, фосфора и серы. По требованию потребителей к химическому составу передельного чугуна могут предъявляться дополнительные требования по содержанию углерода, меди, хрома и др. Например, содержание кремния в чугуне марки П1 должно быть свыше 0,5 % и до 0,9 % включительно, в марке П2 – до 0,5 %; в марке ПЛ1 – свыше 0,9 % и до 1,2 %, в марке ПЛ2 – свыше 0,5 % и до 0,9 % включительно.

Кроме передельного чугуна, в доменных печах выплавляют различные виды и марки литейных чугунов:

- литейный коксовый марок ЛК1; ЛК2; ЛК3; ЛК4; ЛК5; ЛК6; ЛК7;
- литейные легированные чугуны, содержащие повышенное содержание некоторых металлов – хромоникелевые, титанистые, титаномедистые, ванадиевые.

Примерный химический состав чугуна: Si – 0,80 %; Mn – 0,40 %; S – 0,6 %; Ti – 0,10 %; P – 0,08 %; Cr – 0,05 %; C – 4,64 %.

В 2019 г. в мире было выплавлено 1875,155 млн т стали и 1327,1 млн т чугуна, что составило 70,8 % от произведённой стали. Более 99 % чугуна было выплавлено в доменных печах. Современное доменное производство характеризуется высокой производительностью, оптимальными расходами ресурсов и энергетическими затратами, надлежащим оснащением средозащитным оборудованием и технологиями. Удельная производительность лучших доменных печей составляет от 80 до 93,5 т/($м^2$*сут).

Самые большие в мире доменные печи имеет южнокорейская фирма POSCO (ДП-1 полезным объёмом 6000 $м^3$ с диаметром горна 16,1 м и 44 воздушными фурмами) и китайская компания Shagang Group (ДП-4 внутренним объёмом 5800 $м^3$с диаметром горна 15,7 м) [33, 34]. Доменные печи объёмом свыше 5000 $м^3$ с использованием комбинированного дутья с вдуванием природного газа, пылеугольного топлива (ПУТ) и обогащением дутья кислородом производят более 14 тыс. т чугуна в сутки. В России, США и Канаде, имеющих собственные ресурсы природного газа, для снижения расхода кокса вдувают природный газ, в последнее время начали применять вдувание ПУТ. На

современных доменных печах Южной Кореи и Китая расход вдуваемого ПУТ составляет от 160 до 250 кг/т, а расход кокса снижен до 290 кг/т [33, 34].

Достигнутые показатели доменных печей в мире [35]:

- минимальный расход кокса – 256,8 кг/т чугуна;
- максимальный расход ПУТ – 252,4 кг/т чугуна;
- максимальный расход мазута – 140 кг/т чугуна;
- максимальный расход природного газа – 130 кг/т чугуна;
- минимальный расход восстановителей в ДП – 418 кг/т чугуна (с загрузкой скрапа, металлодобавок и горячебрикетированого железа «HBI» 25 % и более).

На металлургических предприятиях России в настоящее время в эксплуатации находятся доменные печи различных объёмов (см. таблицу 2.13), основные показатели работы доменных печей представлены в таблице 2.14 [36].

Таблица 2.13 – Объемы доменных печей металлургических предприятий России, м^3

Предприятия	ДП-1	ДП-2	ДП-3	ДП-4	ДП-5	ДП-6	ДП-7	ДП-8	ДП-9	ДП-10
ММК	1370	1370		1370		1380	1371	1371	2014	2014
ЧерМК	1007	1033	3290	2700	5580					
НЛМК		1000	2000	2000	3200	3864	4291			
ЗСМК	3000	2000	3000							
НТМК					2200	2200				
ЧелМК	2038			1386	1719					
Урал. Сталь	1007	1232	1648	2015						
Тулачермет	1510	1144	2200							
КМЗ	1066	462	759							
СЧПЗ	224		350							
Надежд. МЗ	260		205		212					

Таблица 2.14 – Основные показатели работы доменных печей предприятий России

Предприятия	Расходы, кг/т; м^3/т								Уд.произ., т/м^{3}сут	Выпл. млн. т в 2019 г.
	Агло-мерат	Ока-тыши	Руда дом.	Мет. доб.	Сумм. кокс	Прир. газ	ПУТ	Кисло-род		
ММК	1034	595	4	24	420	124		155	2,5	10,013
ЧерМК	1030	471	26	34	399	116		119	2,58	9,486
НЛМК	1059	563	7	28	337	71	104	115	2,45	11,662
ЗСМК	1228	404	1	19	409	68	40	86	2,1	6,072
НТМК	784	840		66	352	114	57	130	3,1	4,943
ЧелМК	1301	352	1	29	445	116		87	2,54	3,326
Урал. Сталь	1066	604	57	18	463	93		67	1,7	2,749
Тулачермет	1431	135	56	48	444	62		48	1,97	2,392
КМЗ*	–	1526	120		810	56			1,003	0,311
Саткинский МЗ	–								1,32	0,111
Надежд. МЗ	1705	–	–	167	489	94			1,98	0,308

* Передельный и литейный чугун.

Кроме чугуна, в доменных печах выплавляется доменный ферромарганец (в 2019 г. было выплавлено 198 тыс. доменного ферромарганца с содержанием марганца до 78–79 %, в том числе на КМЗ 87 тыс. т и на Саткинском МЗ 111 тыс. т.).

2.3.1 Общая характеристика технологии доменной плавки

Доменная печь представляет собой печь шахтного типа, предназначенную для получения металла из железосодержащей шихты и кокса.

По принципу работы доменная печь – это противоточный реактор (2.25). Движущей силой в доменной печи является горячее дутье, сжигающее кокс перед воздушными фурмами, образуя фурменный газ. Столб шихты в печи состоит из чередующихся слоев кокса и железорудных материалов, которые загружаются через верх (колошник) доменной печи с температурой окружающего воздуха и с определенной влажностью. Поднимаясь вверх, фурменный газ проходит через шихту и нагревает ее.

По высоте доменная печь разделена на несколько частей:

- на колошнике доменной печи специальным загрузочным устройством железорудное сырьё, флюсы и кокс распределяются определённым образом по окружности и радиусу печи;
- в шахте происходит нагрев шихтовых материалов и начинается восстановление оксидов металлов;
- в распаре и заплечиках практически заканчивается восстановление оксидов железа и образуются жидкие продукты плавки, которые стекают в горн доменной печи;
- в горне (металлоприемнике) доменной печи происходит разделение чугуна и шлака по их удельному весу, а также завершаются процессы восстановления оксидов металлов из жидкого шлака углеродом кокса, заполняющего горн печи.

Доменный процесс начинается с момента вдувания в воздушные фурмы горячего дутья (температура до 1250 ^{o}C и выше), которое сжигает перед фурмами кокс и вдуваемое через фурмы топливо. Температура в фурменном очаге достигает 1900–2300 °С.

Образующийся в процессе горения кокса и вдуваемого углеводородного топлива горячий газ, содержащий восстановители монооксид углерода CO и водород (H_2), а также азот (N_2), поднимается вверх, нагревает и расплавляет опускающиеся железорудные материалы, восстанавливает из рудной части оксиды железа до металла, охлаждается и удаляется из печи. Температура колошникового газа составляет 110–300 °С.

Образующиеся жидкие металл и шлак стекают по коксовой насадке в горн печи. В горне печи при температуре 1500–1600 °С оксиды шлака FeO, MnO, SiO_2, P_2O_5 и другие восстанавливаются углеродом кокса. Накопленные в горне чугун и шлак периодически удаляют через чугунную летку во время выпусков по установленному графику. На место выгорающего у фурм кокса и опускающихся в горн жидких расплавов поступают новые порции рудного сырья и кокса, непрерывно загружаемых загрузочным устройством на колошнике печи.

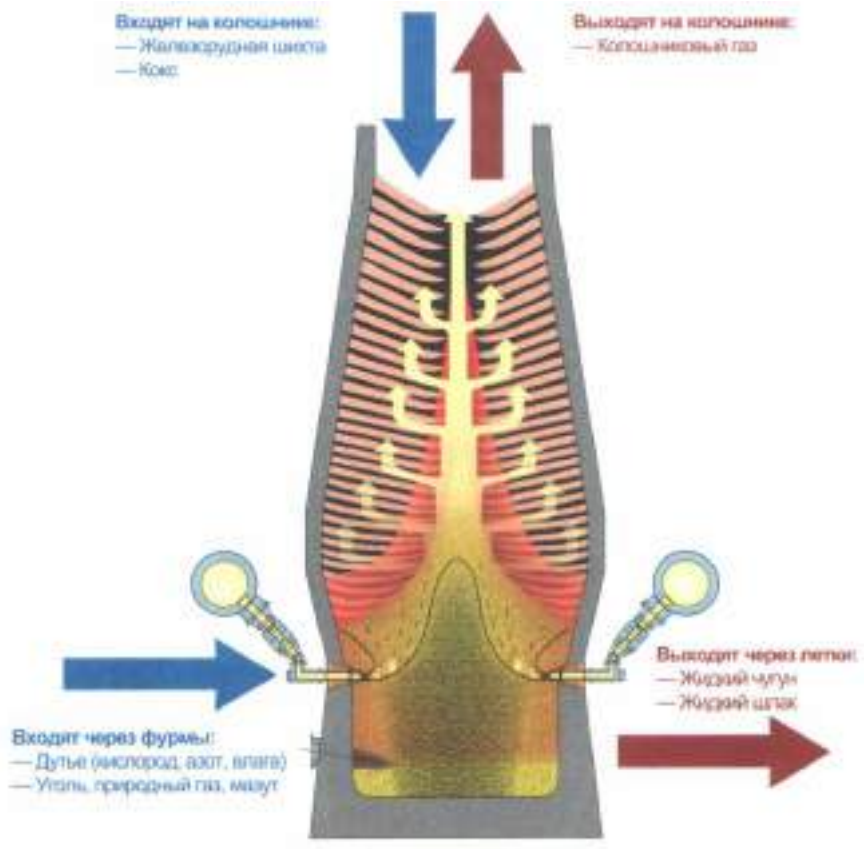


Рисунок 2.25 – Принципиальная технологическая схема работы доменной печи [37]

Передельный чугун с содержанием кремния 0,3–1,2 % используют для выплавки стали, а литейный с кремнием свыше 1,2 % поставляют на машиностроительные предприятия. При выплавке ванадийсодержащего чугуна на титаномагнетитовой шихте содержание кремния стараются держать около 0,2–0,3 % для ограничения восстановления титана в чугун.

Вредными примесями в чугуне считаются фосфор и сера, причем при доменной восстановительной плавке удалить фосфор из чугуна невозможно.

Основными источниками поступления серы в доменной печи является загружаемое и вдуваемое топливо, т. е. кокс, пылеугольное топливо и мазут, скоторыми приходит в печь 80–90 % серы, 10–20 % с шихтовыми материалами. В топливе часть серы (60–80 %) органическая и остальная часть – минеральная, а в шихтовых материалах – минеральная в виде сульфидов и сульфатов.

При сгорании кокса и вдуваемого топлива вся сера окисляется и переходит в фурменный газ (в виде $S0_2$ и SO). Основная часть газообразных соединений серы во время движения вверх через слой шихты реагирует с CaO, MgO, FeO, MnO шихтовых материалов и свежевосстановленным железом с образованием сульфидов кальция, магния, железа и марганца. С шихтовыми материалами, железом и затем с чугуном сера в виде сульфидов опускается в горн. Более половины серы при контакте чугуна и шлака переходит в шлак. Серу удаляют созданием условий, обеспечивающих образование в конечных шлаках сульфидов (кальция, магния и марганца) и оптимальных свойств шлака, обеспечивающих его выход из печи. Один из известных способов удаления серы

повышение основности конечного шлака. Способствует удалению серы повышение содержания кремния в чугуне.

Шлак используют для производства строительных материалов и шлакопортландцемента.

Побочная продукция – колошниковый газ подается в газовую сеть предприятия и применяется, в том числе для нагрева дутья и сушки желобов.

Отходами производства являются скрап литейного двора, уловленная в сухом пылеуловителе колошниковая пыль, шламы системы мокрой очистки доменного газа. Пыль, уловленная в системе мокрой газоочистки, подается в виде шлама в специальные бассейны-отстойники, где шлам сгущается и откачивается со дна сгустителя, очищенная вода поступает в оборотный цикл водоснабжения. Шламы системы мокрой газоочистки доменного процесса содержат повышенное количество цинка и щелочей, поэтому могут иметь ограниченное применение в рециклинге. Как правило, этот шлам выводится из оборота и размещается либо в прудах-отстойниках, либо в шламохранилищах.

Технологический процесс производства чугуна в доменной печи, схематично представленный на рисунке 2.26, осуществляется в сложном комплексе агрегатов и оборудования, который включает:

- рудный двор с кранами-перегружателями для разгрузки и усреднения сырья;
- шихтовое отделение с бункерами для загружаемых в печь материалов;
- воздухонагреватели для нагрева дутья до 1000–1200 °С (до 1400 °С на ВНК);
- доменную печь с механизмами загрузки сырья и выдачи продуктов плавки;
- системы газоочистки;
- установки обработки шлака (придоменную грануляцию шлака или находящееся в отдалении от доменного цеха отделение по переработке шлака для получения щебня, граншлака или другой продукции);
- разливочные машины для разливки товарного чугуна.

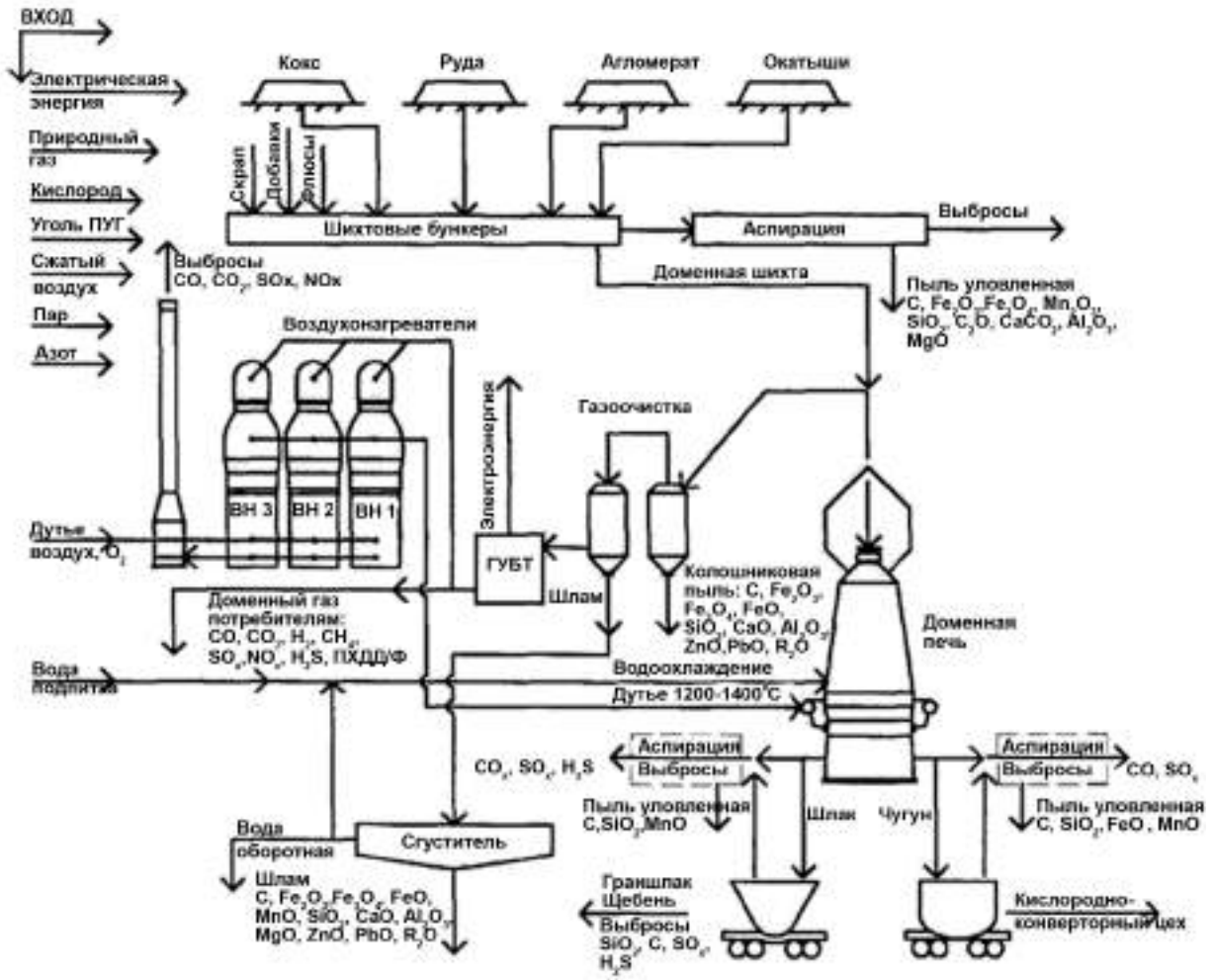


Рисунок 2.26 – Технологическая схема производства чугуна в доменной печи, видов и мест выделения эмиссий

Технологические операции процесса выплавки чугуна, как видно из рисунка 2.26, сопряжены с эмиссиями загрязняющих веществ. Использование сухих материалов (кокса, агломерата, окатышей, железных руд, флюсов или их заменителей), обладающих к тому же абразивными свойствами, приводит к выделению пыли в местах перегрузок, при отсеве мелочи на грохотах, при наборе материалов в весовую воронку в шихтовом отделении. При выпуске чугуна происходит активное выделение железо-графитовой спели из чугуна и окисление струи металла. При охлаждении шлака водой выделяется H_2S, образующийся при взаимодействии сульфида кальция шлака с водой или влагой воздуха:

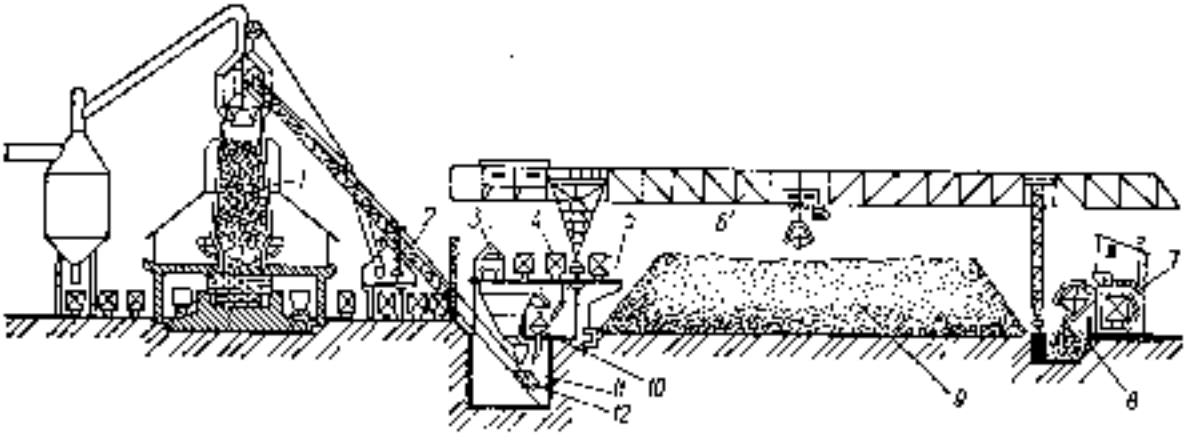
$$CaS + H_2O = CaO + H_2S.$$

При нагреве дутья в доменных воздухонагревателях образуются дымовые газы с характерным для них составом в виде оксидов азота, оксида углерода, оксида серы.

2.3.2 Прием и хранение сырья, дозирование, отсев мелочи

Поступающее в доменный цех железорудное сырье – руда, окатыши и агломерат при отсутствии бункерной эстакады разгружают из вагонов на рудном дворе в траншеи,

на эстакаде или вагоноопрокидывателем (см. рисунок 2.27). При наличии бункерной эстакады в доменном цехе материалы разгружаются в бункера, обеспечивающие, в том числе необходимый кратковременный запас шихтовых материалов. На рудном дворе доменного цеха также хранят стратегический запас рудного сырья на случай возможных задержек поставок.



1 – доменная печь; 2 – скиповый подъемник; 3 – галерея коксового конвейера; 4 – перегрузочный вагон (трансферкар); 5 – бункерная эстакада; 6 – рудный перегружатель; 7 – вагоноопрокидыватель; 8 – приемная траншея; 9 – штабель руды; 10 – вагон-весы; 11 – скиповая яма; 12 – скип

Рисунок 2.27 – Схема приемки, усреднения сырья и загрузки в доменную печь

Рудным краном-перегружателем формируют штабели для усреднения поступивших отдельных партий сырья. Для каждого материала, как правило, отводят два штабеля, которые формируют и забирают поочередно. Руду усредняют грейферным краном, укладывая ее тонкими слоями вдоль штабеля. Забор руды производят грейфером вразрез штабеля. Окатыши и агломерат на рудном складе не усредняют. Рудное сырье кран выгружает в трансферкар, который перевозит его в нужные бункеры доменных печей. Трансферкар (перегрузочный вагон) необходим для ускорения загрузки бункеров доменных печей, чтобы не перемещать рудный кран-перегружатель вдоль фронта бункеров нескольких доменных печей. На современных металлургических комбинатах агломерат, с аглофабрики, может подаваться в доменный цех конвейерами. При загрузке доменных печей с бункерной эстакады набор компонентов шихты и их подача в загрузочный скип осуществляется системой дозаторов и транспортеров.

Перед подачей в доменную печь из рудного сырья и кокса в процессе набора дозы в весовую воронку на электровибрационных грохотах отсевают мелочь. От агломерата и окатышей отсевают фракцию менее 5 мм, а от кокса – менее 25 (35) мм, могут выделяться мелкие фракции кокса 10–25 (35) мм для отдельной загрузки в доменную печь.

На колошник шихта подается скипами, а на современных печах – конвейерами.

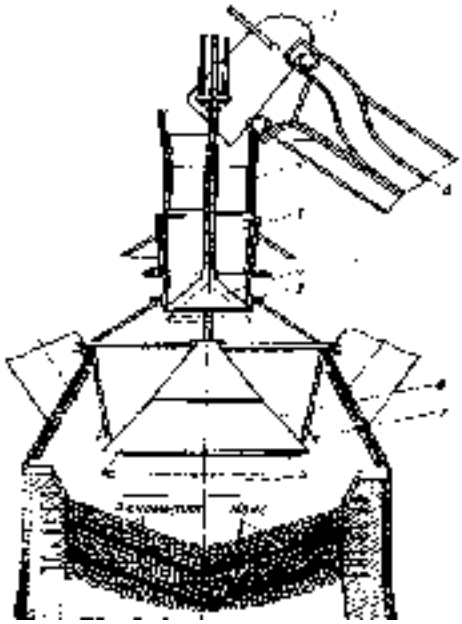
В подбункерных помещениях доменной печи в процессе транспортировки, отсева мелочи и дозирования компонентов шихты в весовые воронки образуется много тонкодисперсной пыли. Для удаления пыли из рабочего пространства подбункерные

помещения оборудуются аспирационными установками с очисткой воздуха от пыли и последующией эквакуации пыли.

2.3.3 Загрузка печи

Решающую роль в устойчивой и экономичной работе доменной печи играет технология загрузки печи железорудным сырьем и коксом. Для этого применяются специальные загрузочные устройства (или засыпные аппараты), которые загружают печь таким образом, чтобы рудные материалы и кокс располагались на колошнике доменной печи в нужных зонах и равномерно по окружности. Как правило, рудная часть и кокс располагаются в печи слоями с некоторой большей долей кокса в центре и на периферии. Это обеспечивает равномерный газовый поток по сечению печи по всей ее высоте с активностью в центре и на периферии.

В настоящее время в России на доменных печах загрузку шихты производят 27 двухконусными загрузочными устройствами (см. рисунок 2.28); бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ) Пауль Вюрт с вращающимся лотком (см. рисунок 2.29) (НТМК – ДП-5 и ДП-6; НЛМК – ДП-5, ДП-6 и ДП-7; ММК – пять из восьми доменных печей; ЧерМК – ДП-3, ДП-4, ДП-5; ЧелМК – ДП-1); в АО «Уральская Сталь» – ДП-3 БЗУ конструкции DanieliCorus (принцип работы аналогичен БЗУ «Пауль Вюрт»); и 3 бесконусными роторными загрузочными устройствамим (БРЗУ) ТОТЭМ (см. рисунок 2.30) (ЗСМК все печи – ДП-1, ДП-2 и ДП-3).



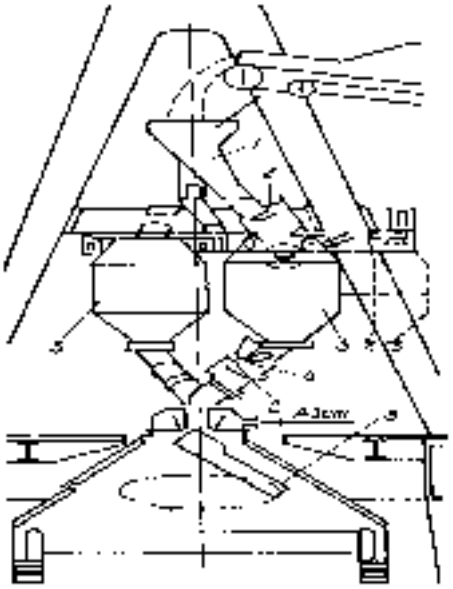
1 – скип; 2 – приемная воронка; 3 – вращающаяся воронка малого конуса; 4 – малый конус; 5 – вращающийся распределитель шихты (ВРШ); 6 – большой конус; 7 – воронка большого конуса; 8 – наклонный мост

Рисунок 2.28 – Двухконусный засыпной аппарат [24]

В последнее время сначала большие доменные печи, а затем и печи меньшего объема стали оснащаться бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ) Пауль Вюрт

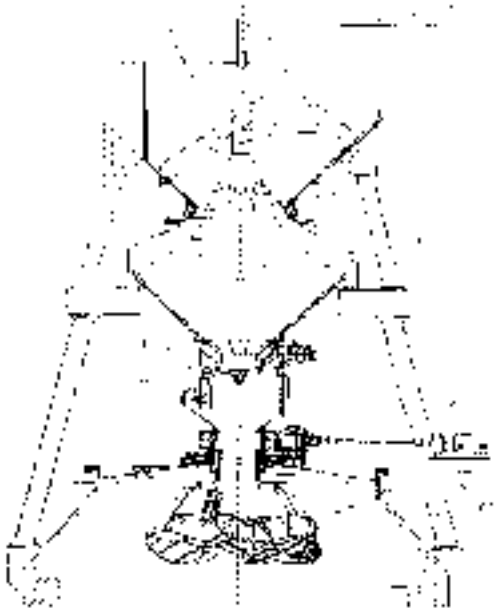
с лотковой загрузкой (см. рисунок 2.29) [24]. Особенностью данной конструкции бесконусного загрузочного устройства (БЗУ) является возможность вращающегося лотка менять угол наклона для изменения траектории ссыпания шихтовых материалов одной порции. Это обеспечивается работой сложного редуктора, находящегося в колошниковой зоне печи при высоких температурах. Для охлаждения редуктора в него непрерывно подают азот.

По сравнению с применением двухконусного засыпного аппарата БЗУ с однолотковой загрузкой вызывает меньший сдвиг шихты по радиусу печи, но приводит к большей неравномерности распределения шихты по окружности печи, так как невозможно точно регулировать или определить место начала и окончания ссыпания шихтовых материалов. Применение БЗУ с двойным распределительным лотком не устранило указанный недостаток лоткового БЗУ [37]. Загрузочное устройство с вращающимся лотковым распределителем шихты требует принятия специальных мер по устранению окружной неравномерности распределения материалов на колошнике. Для предотвращения подстоев шихты при работе с лотковым БЗУ рекомендуется режим работы с достаточно сильно раскрытым газовым потоком в центре печи, при котором в осевую зону дают увеличенное количество кокса, что приводит к повышению температуры в осевой части до 400–500 °С. Это дополнительно осложняет условия работы редуктора в этой зоне колошника.



1 – приемная воронка; 2 – газоуплотнительный клапан; 3 – бункер шихты;
4 – шихтовый затвор; 5 – вращающийся лоток
Рисунок 2.29 – Бесконусное загрузочное устройство (БЗУ) Пауль Вюрт
с вращающимся лотком [24]

Указанные недостатки преодолены в бесконусном роторном загрузочном устройстве (БРЗУ) ТОТЕМ (см. рисунок 2.30).



1 – скип; 2 – приемная воронка; 3 – шихтовый и газовый затвор конусного типа; накопительный бункер; 5 – шихтовый клапан; 6 – газовый клапан; 7 – корпус клапанов;8 – привод ротора; 9 – ротор; 10 – купол печи

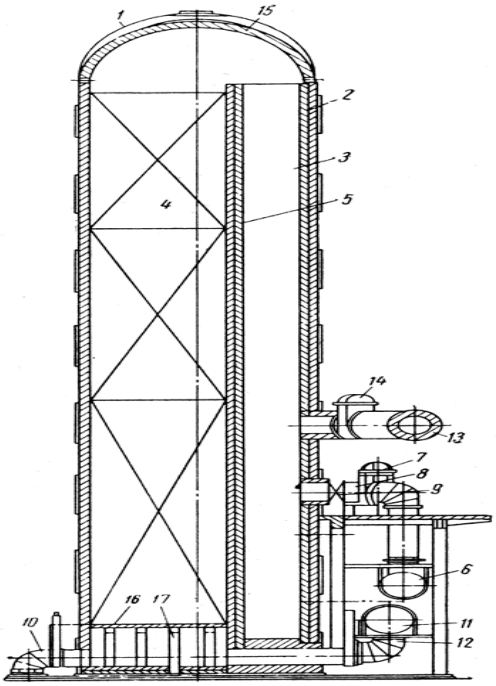
Рисунок 2.30 – Бесконусное роторное загрузочное устройство (БРЗУ) ТОТЭМ [24]

Бесконусное загрузочное устройство с роторным принципом распределения шихты реализует принципиально новую технологию загрузки шихтовых материалов на поверхность засыпи, которое заключается в подаче их пятью плоскими веерообразными потоками, сходящими с лепестков вращающегося ротора. При этом материал, падая на поверхность засыпи, не деформирует её и остаётся на месте падения. Регулирование распределения материалов по радиусу осуществляется изменением скорости вращения ротора. Достоинством БРЗУ является то, что привод ротора для вращения загрузочных лепестков находится снаружи печи и не подвергается сильному нагреву.

2.3.4 Подготовка дутья

Нагрев дутья, подаваемого в доменную печь, имеет большое значение в экономии энергоресурсов при выплавке чугуна. Повышение температуры дутья на 100 °С в интервале температур 800–1000 °С снижает расход кокса на 3,9 %, а в интервале 1000–1200 °С – на 2,2 %.

В доменном производстве используются регенеративные воздухонагреватели с внутренней камерой горения, обеспечивающие нагрев дутья до 1200 °С (см. рисунок 2.31).



1 – купол ВН; 5 – насадка; 3 – камера горения; 8 – газовая горелка;
9 – штуцер газовой горелки; 12 – штуцер клапана холодного дутья;
15 – подкупольное пространство

Рисунок 2.31 – Воздухонагреватель с внутренней камерой горения

Однако воздухонагреватели с внутренней камерой горения, расположенной в одном кожухе с регенеративной огнеупорной насадкой, при длительной эксплуатации выявили ряд недостатков, а именно изгиб воздухонагревателя, короткое замыкание, пульсации, крип, неравномерность распределения потоков по насадке. Эти недостатки требуют ремонтов и ограничивают температуру эксплуатации до 1200 °С.

Основные недостатки, связанные с внутренней камерой горения, были устранены в воздухонагревателях с выносной камерой горения (см. рисунок 2.32).

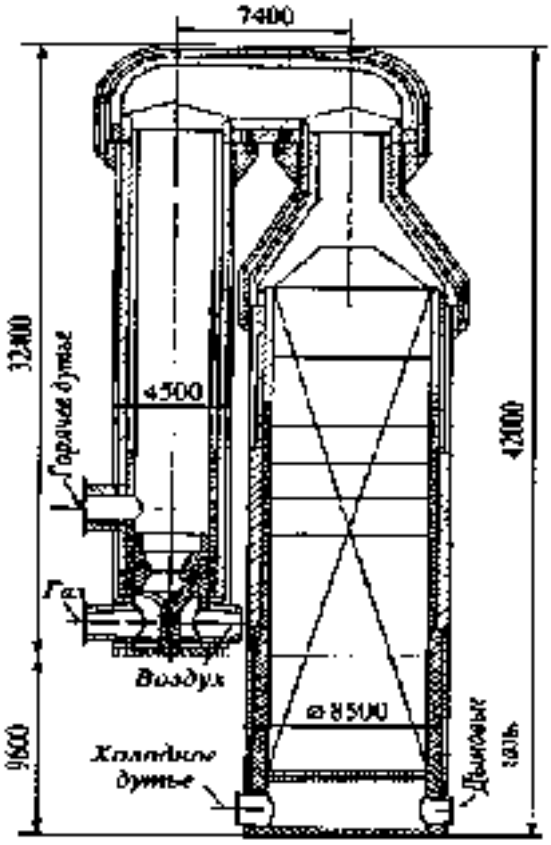


Рисунок 2.32 – Воздухонагреватель с выносной камерой горения

Однако эта конструкция устранила только часть недостатков, оказалась дорогой, требует больших площадей для своего размещения, и также не обеспечивала равномерное распределение газов по всей площади огнеупорной насадки.

В последнее время получили распространение воздухонагреватели без высокой камеры горения конструкции Я.П. Калугина (ВНК) [38]. На рисунке 2.33 представлена принципиальная конструкция ВНК, обеспечивающая нагрев дутья до 1350 °С и низкое содержание в дымовых газах CO и NO_x.

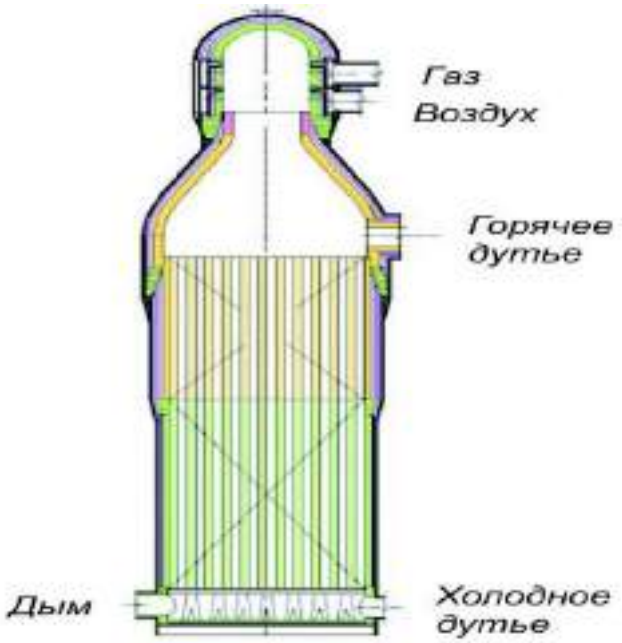


Рисунок 2.33 – Воздухонагреватель конструкции Я. П. Калугина [38]

Отличительной особенностью ВНК является то, что температура горячего дутья 1250–1300 °С обеспечивается доменным газом с низкой теплотой сгорания и без добавок высококалорийного газа. Установка теплообменников для утилизации низкопотенциального тепла отходящих дымовых газов со средней температурой 280–330 °С для нагрева доменного газа и воздуха для отопления воздухонагревателей позволила снизить температуру дыма до 120 °С и увеличить температуру дутья без добавок высококалорийного газа.

Существенным элементом этой конструкции является струйно-вихревая горелка, расположенная вверху купола по оси воздухонагревателя, имеющая форкамеру. Горелка обеспечивает концентрацию СОв отходящем дыме не более 50 мг/м^3, что в два раза ниже европейских норм. Концентрация NO_x составляет не более 100 мг/м^3.

Комбинированное дутье

В качестве одного из приемов регулирования теплового состояния печи применяют увлажнение дутья подачей пара. Подача пара повышает содержание водорода в восстановительных газах и ускоряет процессы восстановления в печи [39, 40]. Для сохранения теплового состояния печи на каждый 1 г воды в 1 м^3 дутья следует повысить температуру дутья на 9 °С.

Существенным шагом в развитии технологии доменной плавки стало обогащение дутья кислородом, которое вызвало некоторые изменения параметров плавки, а именно:

- повысилась теоретическая температура горения в фурменном очаге;
- повысилось содержание окиси углерода в горновых газах;
- уменьшился расход дутья на единицу сжигаемого у фурм углерода;
- увеличилась производительность печи.

Особенно большой эффект дало обогащение дутья кислородом при выплавке в доменных печах ферросплавов – ферромарганца и ферросилиция.

Новый этап в повышении содержания кислорода в дутье доменных печей наступил с началом вдувания природного газа и других добавок к дутью, так как простая

подача природного газа с дутьем приводит к охлаждению горна и не экономит кокс. Например, при одновременном обогащении дутья кислородом до 120 м^3/т чугуна количество вдуваемого природного газа можно увеличить до 100 м^3/т без изменения теплового состояния печи. Есть примеры с расходом природного газа до 170–200 м^3/т чугуна с соответствующей компенсацией расходом кислорода.

Обогащение дутья кислородом обеспечивает вдувание в доменные печи ПУТ до 250 кг/т чугуна.

Несмотря на одновременное вдувание в горн доменной печи природного газа и кислорода, коэффициент замены кокса природным газом не превышает 0,8. Чрезмерный расход природного газа без соответствующей компенсации кислородом приводит к разложению метана не в фурменном очаге, а в восстановительной атмосфере шахты доменной печи, при этом образуется водород и сажистый углерод, затрудняющий работу печи. Повышение эффективности использования природного газа в доменной плавке для замены кокса можно достигнуть предварительной его конверсией перед вдуванием, например, путем использования мощных плазмотронов [41].

В настоящее время в России содержание кислорода в дутье доменных печей некоторых заводов доходит до 26–33 % при расходе природного газа до 100–140 м^3/т чугуна.

Рассмотрение перспектив развития технологии производства чугуна, которые могут снизить потребление углерода на восстановление железа из руд и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, приводит к необходимости изучения технологии доменной плавки на кислородном дутье с обогащением восстановительным газом [42, 43]. Исключение азота из объёма восстановительного газа в печи с учётом дополнительного вдувания природного или коксового газов повысит восстановительный потенциал газов в печи, в том числе за счёт большего участия водорода. На этом этапе отмывка CO_2 от колошникового газа будет хорошим дополнением к новой технологии [44]. Применение «кислородной» доменной технологии приведёт к отказу от использования воздухонагревателей для нагрева вдуваемого дутья, позволит на треть уменьшить размеры доменных печей при сохранении производительности, что снизит требования к прочности кокса.

2.3.5 Выплавка чугуна

Выплавляемые в доменной печи чугуны кроме железа и углерода содержат кремний, марганец, фосфор, серу и другие элементы, количество которых зависит от состава шихты и температурных условий плавки. Восстановителями являются окись углерода (CO), водород (H_2) и твердый углерод (C), которые, как восстановители, ведут себя по-разному при различных температурах по высоте печи. Источником газообразных восстановителей является углерод кокса, сгорающий в струе горячего дутья в фурменном очаге, по реакции:

$$C + O_2 = CO_2.$$

Образующийся оксид углерода (CO_2) при температуре в горне печи 1600°C–2300 °C взаимодействует с углеродом кокса по реакции:

$$CO_2 + C = 2CO.$$

При наличии влаги в дутье вода также взаимодействует с углеродом по реакции:

$$H_2O + C = CO + H_2.$$

Таким образом, в горне печи присутствуют три вида восстановителя (C, CO и H_2) по отношению к оксидам шихты. Восстановление оксида железа происходит по реакциям:

$$3Fe_2O_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2;$$

$$Fe_3O_4 + CO = 3FeO + CO_2;$$

$$FeO + CO = Fe + CO_2.$$

Аналогично эти реакции описываются с участием водорода. В доменной печи только 50–80 % всех оксидов железа в опускающихся полурасплавленных массах восстанавливается оксидом углерода и водородом. Остальная часть восстанавливается в горне печи из жидкого шлака твердым углеродом по реакции:

$$FeO + C = Fe + CO.$$

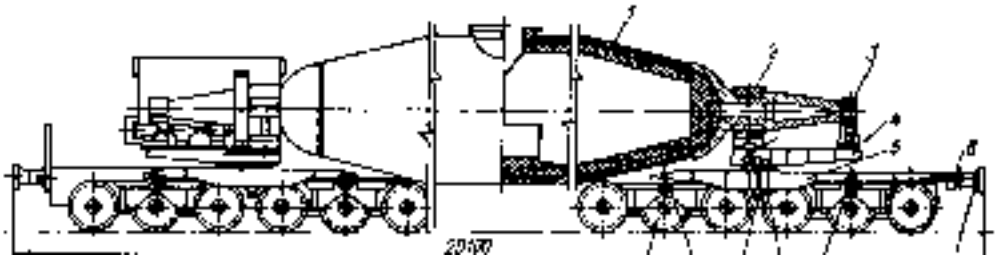
В горне печи температура продуктов плавки равна 1500–1600 °С. При этой температуре практически завершаются процессы восстановления оксидов шлака с участием углерода кокса. Также завершается образование карбидов железа. В чистом от примесей чугуне содержание углерода составляет 4,3–4,4 %. Марганец и хром образуют устойчивые карбиды и повышают содержание углерода в чугуне.

По мере опускания рудной части в горн печи и последовательного восстановления оксидов железа до металла, в зоне первичного шлакообразования в средней части шахты печи происходит постепенное разделение материалов на металл и шлаковую часть. При науглероживании свежевосстановленного металлического железа до 2,0 % температура его плавления снижается с 1535 °С до 1330 °С и этот сплав чугуна стекает в горн, где содержание углерода при контакте чугуна с коксом увеличивается до 4,3–4,6 %, а температура плавления понижается до 1150 °С.

Аналогично меняются состав и свойства первичного шлака по мере опускания его в горн печи, где в его состав войдет зола кокса и ПУТ. Доменная шихта рассчитывается таким образом, чтобы вязкость (жидкотекучесть) конечного шлака, состоящего в основном из оксидов SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, была достаточной для свободного выхода его из печи во время выпуска чугуна. В большинстве случаев это достигается при основности шлака по CaO/SiO_2, равной 0,8–1,0.

Разная удельная плотность металла и шлака обуславливает их разделение в горне печи на два слоя. При накоплении в горне достаточного количества жидких продуктов плавки производят их выпуск через чугунную летку. Число выпусков чугуна в сутки на доменной печи составляет от 6 до 12. При совместном выходе чугуна и шлака их разделение происходит в скиммерном устройстве главного горнового желоба. Чугун сливают в чугуновозный ковши отправляют в сталеплавильный цех, а шлак – в шлаковую чашу для переработки или сразу гранулируют на припечной грануустановке. Температура чугуна при выпуске его из печи примерно 1420–1480 °С, а шлака – 1510–1530 °С. Для снижения выброса газов на литейный двор во время выпусков продуктов плавки транспортные желоба оборудуют укрытиями и системами улавливания и очистки аспирационных газов от пыли.

Выплавленный жидкий чугун поставляется в кислородно-конвертерный цех в чугуновозных ковшах вместимостью 70–100 т чугуна или в ковшах миксерного типа вместимостью до 500 т чугуна (см. рисунок 2.34).

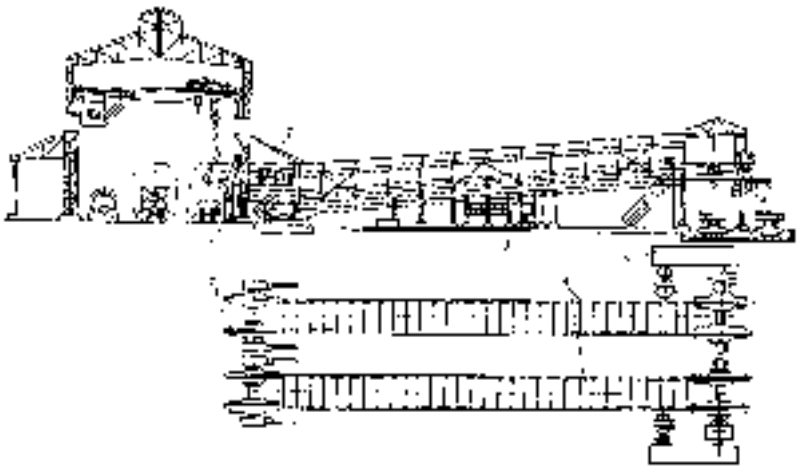


1 – футерованная емкость; 2 – опорный подшипник
Рисунок 2.34 – Чугуновозный ковш миксерного типа

Из одной чугунной летки за один выпуск в миксерный чугуновозный ковш наливают до 400–500 т чугуна. Стойкость футеровки и число наливов чугуна в ковшах миксерного типа больше, чем в ковшах вместимостью 70–100 т.

2.3.6 Разливка товарного чугуна на разливочных машинах

При остановке конвертерного цеха на плановый ремонт образуется избыток жидкого чугуна, который является самостоятельной товарной продукцией. Товарный чугун разливают на двухручьевой разливочной машине (см. рисунок 2.35).



1 – стенд; 2 – разливочный желоб; 3 – опрыскиватель; 4 – устройство для погрузки чушек в вагоны; 6 – конвейер с мульдами; 7 – натяжное устройство
Рисунок 2.35 – Разливка чугуна в чушки

Чугуновозный ковш устанавливают на стенд, затем подъемным краном наклоняют его для перелива чугуна в промежуточную емкость и на разливочную машину. Чугун разливается в мульды, которые предварительно обрабатывают известковым молоком для предотвращения приваривания чугуна к мульде.

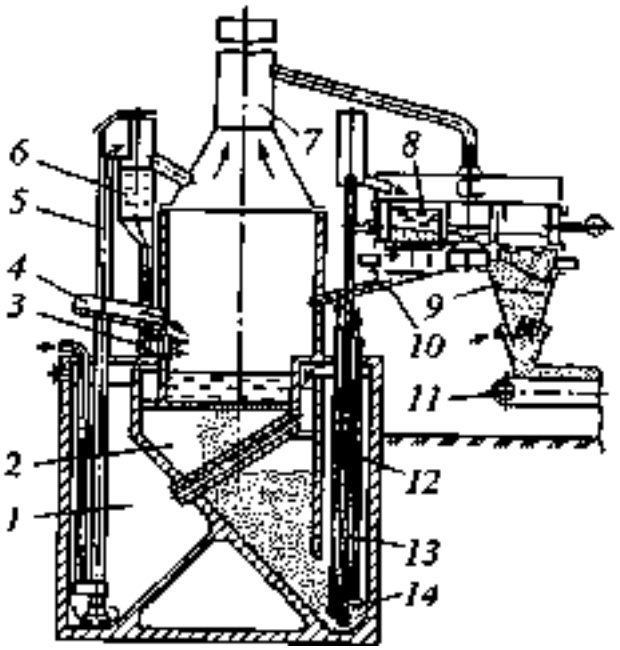
Существует технология разливки чугуна в гранулы, подобно получению гранулированного шлака. Такой чугун успешно транспортируется в железнодорожных вагонах и легко дозируется на плавку. Затраты на разливку чугуна в гранулы значительно меньше, чем на обслуживание и поддержание разливочной машины в рабочем состоянии.

2.3.7 Обработка доменного шлака

Конечный доменный шлак имеет примерный химический состав: SiO_2 – 37,5 %; Al_2O_3 – 12,3 %; CaO – 36,3 %; MgO – 9,9 %; MnO – 0,4 %; FeO – 0,3 %; TiO_2 – 1,2 %; Na_2O – 1,1 %; K_2O – 1,0 %. Основность шлака CaO/SiO_2 – 0,95–1,2.

Шлак охлаждается водой на припечных грануляционных установках (см. рисунок 2.36) или на отдельно стоящих установках, либо в специальных шлаковых ямах. Наиболее распространенной технологией переработки доменного остается переработка шлака в щебень, являющийся широко востребованным продуктом в дорожном строительстве ив случае влияния сезонности спроса не имеет проблем с хранением.

Большая часть гранулированного доменного шлака используется при производстве цемента.



1 – камера оборотной воды; 2 – бункер; 3 – сопло для грануляции шлака;
4 – желоб; 9 – бункер сушки; 10 – кольцевой водосборник;
14 – эрлифт

Рисунок 2.36 – Технологическая схема припечной грануляции

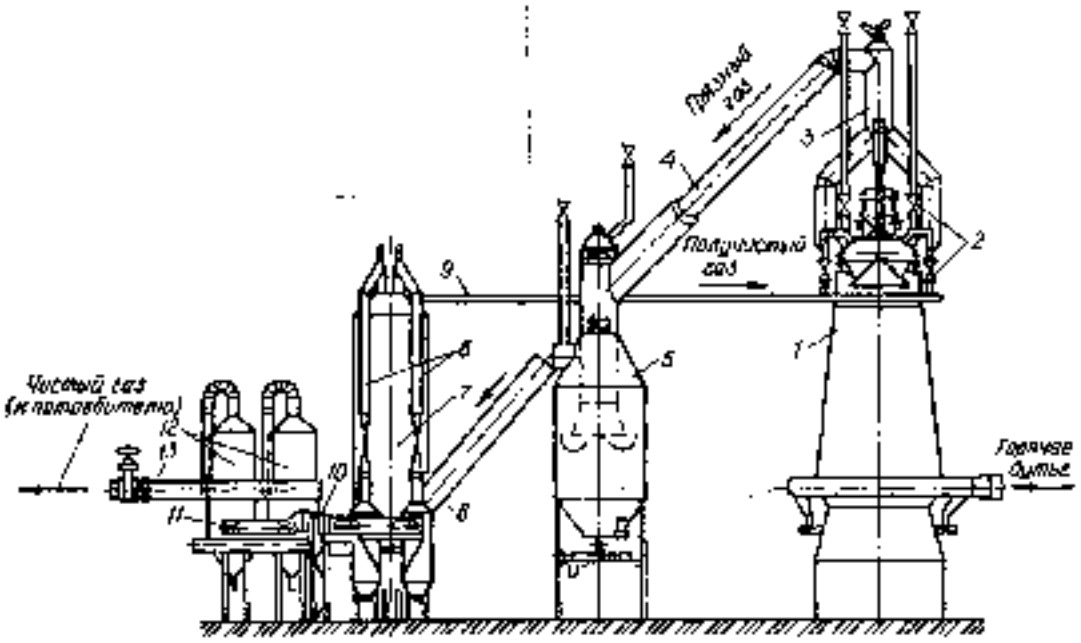
При грануляции шлака на припечной гранустановке выходящий во время выпуска шлак стекает по желобу 4 на поток воды гранулятора 3, дробится и, попадая в бункер-охладитель 2, охлаждается. Затем полученный гранулированный шлак перекачивается и обезвоживается в специальных секциях, высушивается продувкой воздухом и отгружается. Образующийся при грануляции пар удаляется в атмосферу.

Недостатком грануляции доменного шлака является повышенная его влажность, затрудняющая его отгрузку и транспортировку потребителям в зимнее время.

Лучшим способом грануляции доменного шлака по ходу его выпуска из печи является полусухая грануляция во вращающемся сетчатом барабане. При таком способе шлак меньше смерзается и не требуется ввод антислеживающих добавок.

2.3.8 Очистка доменного газа и утилизация его химической энергии

Доменная печь в зависимости от вида выплавляемого чугунапроизводит до 2500 м^3/т доменного газа состава 25–27 % CO, 22–25 % CO_2, 8–10 % H_2, представляющего в общезаводском балансе горючих газов до 25–30 % по теплу. Для его очистки от пыли перед подачей в заводскую сеть грязный доменный газ проходит многоступенчатую очистку (см. рисунок 2.37).



1 – доменная печь; 2 – уравнительные клапаны засыпного аппарата; 3, 4 – соответственно вертикальный и наклонный (нисходящий) газопроводы; 5 – пылеуловитель; 6, 9, 13 – газопроводы; 7 – скруббер высокого давления; 8 – труба-распылитель (труба Вентури); 10 – дроссельное устройство; 11 – газопровод получистого газа; 12 – электрофильтры

Рисунок 2.37 – Комплекс газоочистных сооружений доменной печи

В сухом пылеуловителе содержание пыли в газе снижается до 1–3 г/м^3. В мокром скруббере после полутонкой очистки содержание пыли в газе снижается до 0,1–0,8 г/м^3. В дроссельных группах производится тонкая очистка, и содержание пыли в доменном газе снижается до 0,005–0,01 г/м^3. При работе доменных печей при повышенном давлении тонкая очистка достигается в трубах-распылителях.

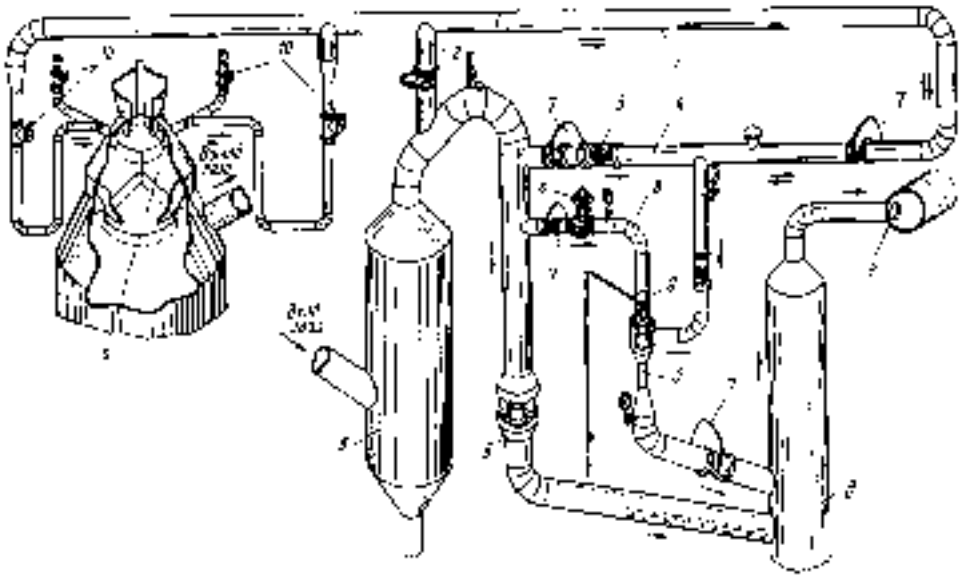
В настоящее время на новых и реконструируемых доменных печах стали устанавливать сухие газоочистки, которые не требуют воды для улавливания пыли.

Водопотребление

Работа доменной печи связана с потреблением большого количества технической воды, необходимой для работы системы охлаждения печи, очистки доменного газа и других производственных нужд. Для работы печи в аварийной ситуации при отключении насосов подачи воды, предусмотрена резервная емкость для обеспечения циркуляции охлаждающей воды в течение 30–40 мин работы цеха. Расход воды доменного цеха составляет 18–25 % в общезаводском балансе. Удельный расход воды составляет 60 м^3/т чугуна, в том числе свежей на подпитку – 4,5 м^3/т.

Водное хозяйство современных металлургических заводов требует повышения качества очистки оборотной воды. Первоначально эту задачу решали увеличением количества ступеней очистки (числом радиальных отстойников), что увеличивало затраты. Более перспективным путем решения задач очистки оборотной воды является применение отстойников-флокуляторов. Например, при строительстве новой доменной печи объемом 4000 м^3 три малогабаритных отстойника-флокулятора заменили три радиальных отстойника диаметром 30 м, заняли по площади в четыре раза меньше места и в два раза сократили стоимость очистных сооружений [45].

Очистки требует не только доменный газ, поступающий в заводскую газовую сеть. Необходимо очищать перед выбросом в атмосферу доменный газ из межконусного пространства загрузочного устройства доменной печи, так как из межконусного пространства в атмосферу под высоким давлением грязный доменный газ за сутки выбрасывается до 200 раз. На некоторых заводах работают установки для улавливания, очистки и утилизации доменного газа из межконусного пространства доменной печи (см. рисунок 2.38) [46]. По этой технологии грязный доменный газ из межконусного пространства не выбрасывается в атмосферу, а очищается в автономной малогабаритной газоочистке и возвращается в газопровод чистого доменного газа. Установка для улавливания и очистки газа из межконусного пространства доменной печи может работать независимо от доменной газоочистки. Расход воды на очистку составляет 40–50 м^3/ч.



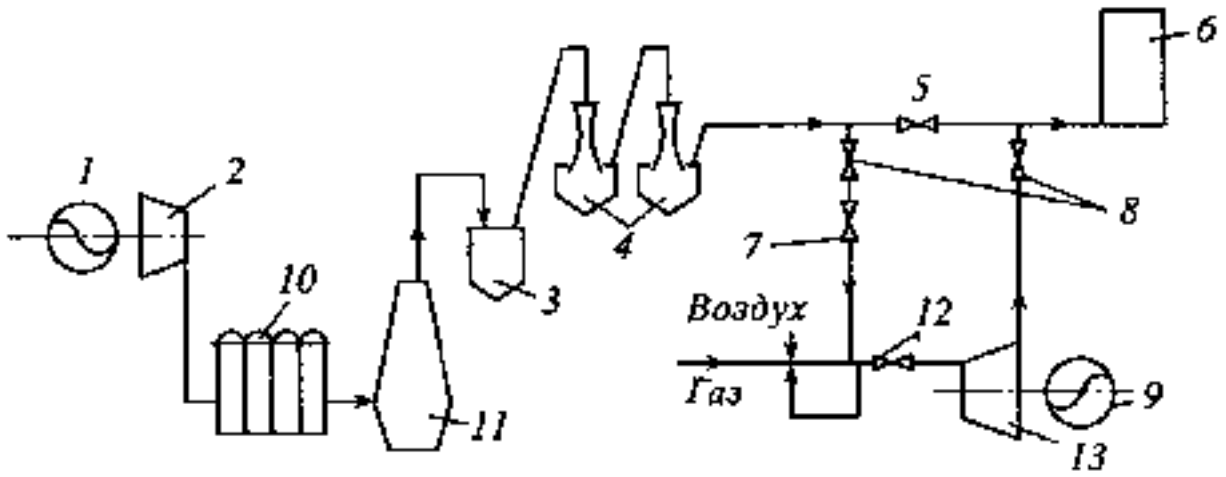
а – межконусное пространство загрузочного устройства доменной печи; б – скруббер; в – дроссельная группа; г – коллектор чистого доменного газа; д – каплеуловитель;

1 – уравнительный газопровод; 2 – байпасный газопровод; 3 – эжектор; 4 – газопровод; дроссель-клапан с приводом; 6 – дисковая задвижка; 7 – листовая задвижка; 8 – газопровод получистого газа; 9 – эвольвентная форсунка; 10 – уравнительные клапаны большого и малого конуса

Рисунок 2.38 – Установки для улавливания, очистки и утилизации доменного газа из межконусного пространства доменной печи

2.3.9 Утилизация избыточного давления доменного газа

Газовые утилизационные бескомпрессорные турбины (ГУБТ) устанавливаются на доменных печах после пылеуловителей и скруббера с трубами Вентури для выработки электроэнергии за счет использования повышенного давления колошникового газа для вращения турбины и электрогенератора. Мощность некоторых ГУБТ составляет 7 и 12 МВт. Технологическая схема утилизации повышенного давления доменного газа приведена на рисунке 2.39 [24].



1 – двигатель; 2 – воздуходувка; 3 – пылеулавливатель; 4 – скруббер с трубами Вентури; 5 – перегораживающий клапан; 6 – газгольдер; 7 – аварийный отсечной клапан; 8 – листовая задвижка; 9 – генератор; 10 – воздуходувка; 11 – доменная печь; 12 – регулирующий клапан; 13 – турбина

Рисунок 2.39 – Технологическая схема утилизации энергии доменного газа

2.3.10 Основное технологическое и природоохранное оборудование

Назначение, описание, технологические характеристики основного оборудования, используемого при производстве чугуна, приведены в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Основное технологическое оборудование, используемое при производстве чугуна

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Вагоноопрокидыватель	Выгрузка поступающих грузов	Вагоноопрокидыватель роторный или передвижной
Грейферные краны	Разгрузка вагонов на склад сырья в усреднительный штабель, забор сырья для заполнения шихтовых бункеров	Грейферные краны: козловые, портальные, мостовые
Трансферкар (перегрузочный вагон)	Заполнение компонентами шихты бункеров доменных печей	Перегрузочный вагон
Бункеры, весовые дозаторы, весовые воронки, ленточный конвейер	Дозировка компонентов доменной шихты на сборный конвейер в нужном соотношении	Бункеры, весодозаторы, ленточные сборные конвейеры для шихты
Доменная печь	Выплавка чугуна	Нагрев и восстановление железорудного сырья с получением чугуна, шлака и доменного газа
Машина для вскрытия чугунной летки	Вскрытие чугунной летки для выпуска продуктов плавки	Электрическая или гидравлическая модификация
Пушка для забивки чугунной летки	Закрытие чугунной летки после окончания выпуска	Электрическая или гидравлическая модификация
Чугуновозный ковш на 70–100 т чугуна	Транспортировка жидкого чугуна в сталеплавильный цех	Перевозка ж/д транспортом
Чугуновозный ковш на 300–500 т чугуна	Транспортировка жидкого чугуна в сталеплавильный цех	Перевозка ж/д транспортом
Шлаковая чаша	Транспортировка жидкого щлака на переработку	Перевозка ж/д транспортом
Припечная гранустановка	Грануляция жидкого шлака по ходу выпуска	Грануляция, обезвоживание и подсушка шлака
Гранустановка, отдельно стоящая	Грануляция шлака из шлаковых чаш	Грануляция шлака
Пылеуловитель-циклон	Очистка аспирационного воздуха	Очистка аспирационного воздуха
Тканевый фильтр	Очистка аспирационного воздуха	Очистка аспирационного воздуха

Окончание таблицы 2.15

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Пылеуловитель сухой	Очистка отходящих технологических газов	Очистка отходящих газов от пыли
Скруббер мокрый	Очистка отходящих технологических газов	Очистка отходящих газов от пыли
Оборудование мокрой газоочистки	Очистка отходящих технологических газов	Очистка отходящих газов от пыли
Водооборотный цикл: Насосы, отстойники, сгустители шлама	Перекачивание технологических жидкостей. Сбор и очистка грязной воды, предварительное сгущение шламов	Сбор пыли от гидросмыва помещений, уборка шламов циклонов газоочистки, очистка и осветление оборотной воды
Сгустители шлама, шламовые насосы, вакуум-фильтры, сушильные барабаны	Сгущение твердой фазы. Обезвоживание и сушка шламов	Обезвоживание шламов на вакуум-фильтрах, сушка обезвоженных шламов в сушильных печах
ГУБТ	Использование повышенного давления колошниковых газов для выработки электроэнергии	Выработка электроэнергии

Основное природоохранное оборудование

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду процесса производства чугуна на технологических участках устанавливается природоохранное оборудование:

- газоочистное и аспирационное оборудование, обеспечивающее необходимый уровень очистки технологических газов и аспирационного воздуха от содержащихся в них загрязняющих веществ перед отводом газов или воздуха в атмосферу или возвратом обратно в рабочую зону;
- водоочистные сооружения, обеспечивающие очистку загрязнённых промышленных сточных вод.

Назначение, описание, технологические характеристики природоохранного оборудования, используемого при производстве чугуна, приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Назначение и описание природоохранного оборудования, используемого при производстве чугуна

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
Циклоны сухие	Улавливание грубой пыли вентиляционных систем	Тип ЦН-15 и ВЗП. Эффективность очистки – от 70 % до 85 %. Остаточная запыленность – до 600 мг/нм^3
Пылеуловитель	Улавливание пыли отходящих технологических газов	Эффективность очистки от грубой пыли – 80–95 %
Электрофильтры	Улавливание пыли отходящих технологических газов	Эффективность очистки – до 95–99 %. Остаточная запыленность – до 30 мг/нм^3
Тканевые (рукавные) фильтры	Очистка от пыли отходящих технологических газов. Очистка от пыли аспирационного воздуха	Эффективность очистки от тонкой пыли – до 90–98 %
Тканевые фильтры с комбинированными сорбционными процессами	Очистка технологических газов от тонкой пыли и газов SO_x, HCl, HF	Выбросы SO_x сокращаются на 30–90 %
Скрубберы мокрые	Улавливание пыли отходящих технологических газов с помощью воды	Тип – скрубберы оросительные, скрубберы с трубой Вентури, остаточная запыленность – от 40 до 80 мг/нм^3
Дроссельное устройство	Поддержание и регулирование повышенного давления в доменной печи. Тонкое распыливание воды для улавливания пыли	Группа дроссельных клапанов различного диаметра

2.3.11 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание

По всей технологической цепочке производства чугуна в местах выгрузки сырья, складирования, хранения пылящих материалов на открытых площадках, дозирования компонентов шихты на различном оборудовании, работе уравнительных клапанов при загрузке печи, выпуске чугуна и шлака, транспортировки отходов производства и готовой продукции имеют место организованные и неорганизованные выбросы (эмиссии) загрязняющих веществ в виде пыли, газов, образования отходов, образования сточных вод.

Материальные потоки, характерные основные эмиссии при производстве чугуна приедставлены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Перечень материальных потоков и эмиссий

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Железные руды, агломерат, кокс, окатыши, флюсы, добавки	Приемка, складирование, усреднение сырья	Усредненное железорудное сырье	Железнодорожные весы, вагоноопрокидыватель, краны-перегружатели, усреднители сырья, ленточные конвейеры	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, $FeCO_3$, SiO_2, Al_2O_3, MgO, MnO, $CaCO_3$, $MgCO_3$, $MnCO_3$
Железные руды, флюсы, топливо	Дозирование компонентов доменной шихты (подбункерное помещение)	Сдозированная шихта в скип	Бункеры, объемные и весовые дозаторы, ленточные конвейеры	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, $FeCO_3$, SiO_2, Al_2O_3, MgO, MnO,$CaCO_3$, $MgCO_3$, $MnCO_3$, шум, вибрация
Выбросы пыли и газов	Выпуск чугуна, шлака	Уловленная пыль, очищенный воздух с выбросом в атмосферу	Аспирация, циклоны, дымососы	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3, MnO, газовые компоненты: CO, SO_x, H_2S, тепловое излучение
Запыленный воздух	Пылеочистка аспирационных систем	Обеспыленный воздух с выбросом в атмосферу, пыль сухая, шламы	Циклоны, мокрые скрубберы	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, CaO, MgO, Al_2O_3, MnO SiO_2, шум, вибрация

Окончание таблицы 2.17

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Сточные воды гидросмыва пыли помещений, влажный шлам мокрых газоочисток	Оборотный цикл водоснабжения	Осветленная вода оборотного цикла, сгущенные шламы	Отстойники грязной воды, сгустители шламов	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, CaO, MgO, MnO, Al_2O_3, $FeCO_3$, $CaCO_3$, ZnO,$MgCO_3$, $MnCO_3$
Влажные шламы газоочисток	Обезвоживание и сушка шламов	Осветленная вода в оборотный цикл, шлам сухой	Сгустители шламов, вакуум-фильтры, сушильные барабаны	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, MnO, $FeCO_3$, $FeCO_3$, $CaCO_3$, ZnO,$MgCO_3$, $MnCO_3$

2.3.12 Факторы негативного воздействия на окружающую среду

Факторами негативного воздействия на окружающую среду являются следующие.

Выбросы в атмосферу

При производстве чугуна происходят неорганизованные и организованные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ с твёрдыми компонентами (взвешенные вещества): C, Fe_2O_3, FeO, SiO_2, MgO, Al_2O_3, MnO, CaO; газообразными компонентами: NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2, H_2S, бенз(а)пиреном.

Сточные воды

В доменном производстве используется техническая вода из водооборотного цикла для системы охлаждения доменной печи и воздухонагревателей, в установках пылегазоочистки, а также гидросмыва осевшей пыли в производственных помещениях. Водоснабжение осуществляется по специальным водооборотным системам. Сбросы воды не производятся.

Отходы и побочные продукты

В процессе доменного производства образуются отходы и побочные продукты: просыпь шихтовых материалов, колошниковая пыль, пыль и шламы газоочисток с различных участков, отходы футеровок при ремонтах печей и воздухонагревателей, отходы футеровки при ремонтах главного горнового жёлоба, отходы заправочных

материалов транспортирующих желобов чугуна и шлака, резиновые транспортёрные ленты.

Все производственные отходы утилизируются.

Вредные производственные факторы

При производстве чугуна вредными производственными факторами являются:

- высокотемпературные расплавы чугуна и шлака;
- повышенное напряжение в электрической цепи свыше 50 В;
- движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная температура поверхности оборудования и материалов;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли;
- повышенный уровень инфракрасного излучения свыше 140 Вт/м^2;
- повышенный уровень производственного шума на рабочем месте свыше 80 дБ;
- повышенная загазованность и запылённость неорганической пылью (ПДК окиси углерода – 20 мг/м^3, неорганической пылью – 6 мг/м^3).

2.4 Производство стали в кислородных конверторах

Конвертерный способ выплавки стали является наиболее распространенным благодаря высокой производительности и более низкой стоимости передела в сравнении с электросталеплавильным и мартеновским способами.

Конвертерное производство – получение стали в сталеплавильных агрегатах-конвертерах путем продувки кислородом составляющих шихты плавки (жидкий чугун и металлолом).

Основные цели:

- снижение содержания углерода до требуемого уровня (с 4,0–4,5 % в чугуне до 0,01–0,4 % в расплаве металла в зависимости от планируемой к производству марки стали);
- окисление кислородом содержащихся в чугуне примесей (фосфора, кремния, марганца, серы и др.) с последующим их удалением из расплава в шлак [47].

2.4.1 Состав конвертерного цеха

В состав конвертерного цеха, как правило, входят следующие основные производственные отделения:

- приема жидкого чугуна (миксерное отделение; отделение перелива жидкого чугуна);
- приема и подготовки металлолома и шлакообразующих материалов (шихтовое отделение);
- десульфурации чугуна;
- приема и подготовки ферросплавов;
- выплавки стали;
- внепечной обработки стали;

- подготовки сталеразливочных и промежуточных ковшей;
- разливки стали на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и/или в изложницы (слитки);
- переработки шлаков;
- обработки непрерывнолитых заготовок;
- обработки слитков;
- отгрузки готовой продукции.

2.4.2 Технологический процесс производства непрерывнолитых заготовок или слитков в конвертерном цехе

Общая блок-схема технологического процесса производства непрерывнолитых заготовок и слитков в конвертерном цехе с образующимися эмиссиями приведена на рисунке 2.40.

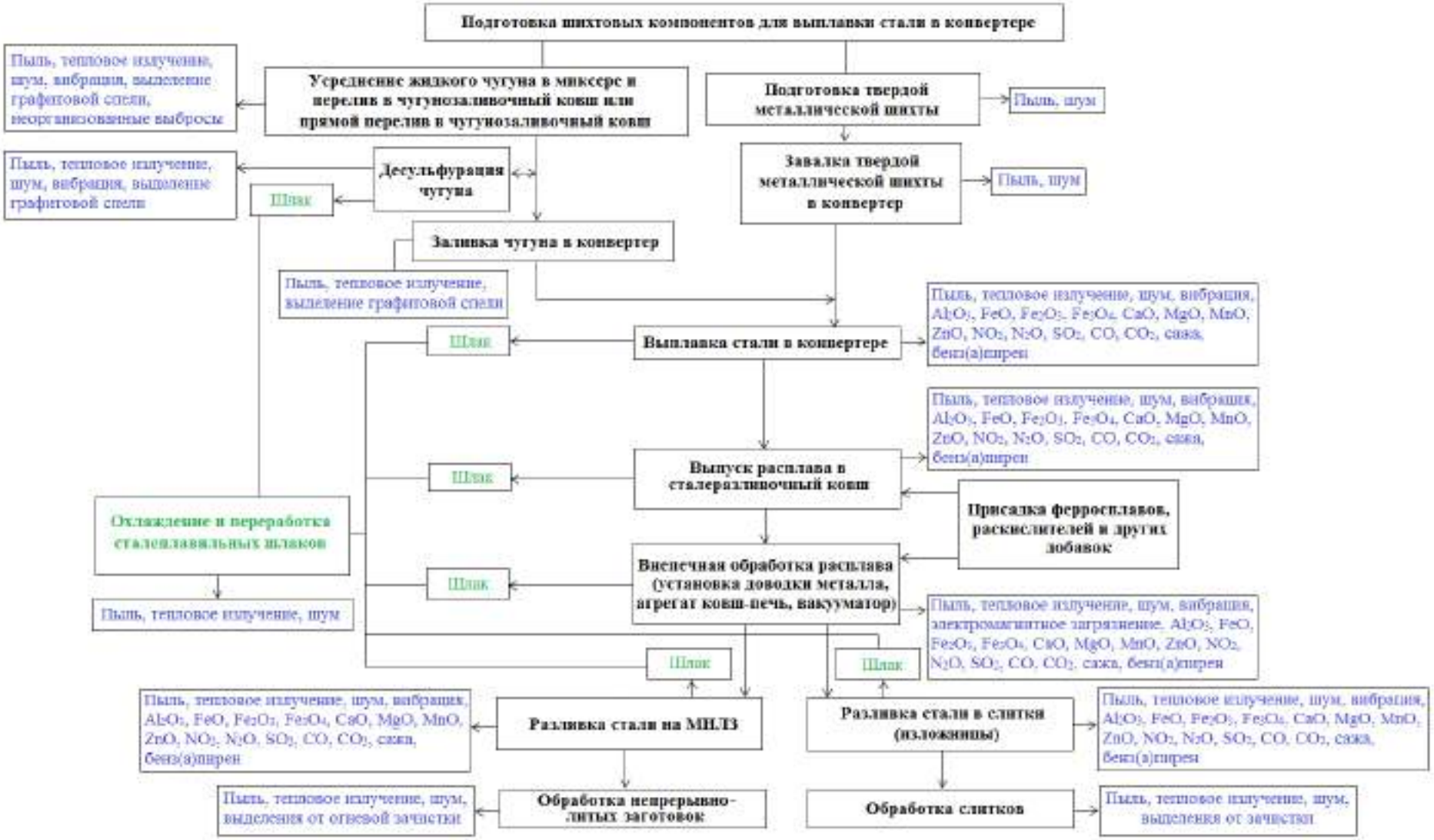


Рисунок 2.40 – Общая блок-схема технологического процесса производства непрерывно-литых заготовок и слитков с образующимися эмиссиями в конвертерном цехе

Прием жидкого чугуна. Усреднение жидкого чугуна в стационарном миксере. Перелив из чугуновозных ковшей или чугуновозных ковшей миксерного типа в чугунозаливочные ковши

Из доменного цеха (производства) жидкий чугун поступает в сталеплавильный цех (производство) в чугуновозных ковшах или в чугуновозных ковшах миксерного типа. При наличии в сталеплавильном производстве миксерного отделения чугун из чугуновозных ковшей сливают в стационарный миксер для усреднения чугуна по составу и температуре. Затем осуществляется налив жидкого чугуна из миксера в чугунозаливочные ковши и передача их в загрузочный пролет конвертерного отделения. При отсутствии миксерного отделения чугун из чугуновозных ковшей или из чугуновозных ковшей миксерного типа в отделении перелива чугуна напрямую переливают в чугунозаливочные ковши.

После наполнения чугунозаливочного ковша производят взвешивание и измерение температуры чугуна, отбор пробы для определения химического состава. При необходимости по результатам измерения температурыкорректируют расход чугуна на плавку.

Подготовка твердой металлической шихты и шлакообразующих материалов

Металлолом, используемый в конвертерной плавке, проверяется и обезвреживается от взрывоопасных и легковоспламеняющихся предметов.

Металлолом доставляется к конвертерам в совках (лотках).

Для наводки шлака применяется свежеобожженная известь с установленным фракционным составом, содержанием $CaO + MgO$ и нормируемыми потерями при прокаливании. В качестве шлакообразующих материалов применяются также флюсы, содержащие MgO [48].

Десульфурация чугуна

При необходимости снижения серы чугун направляют на установки десульфурации чугуна. В качестве десульфураторов используют порошкообразную известь, соду, карбид кальция, гранулированный магний или смеси нескольких реагентов. Снижение содержания серы в чугуне осуществляют на установках десульфурации чугуна методом вдувания порошкообразных материалов (десульфураторов) в расплавленный чугун [49].

Прием и подготовка ферросплавов

Требования к химическому составу стали задаются диапазонами содержания элементов, а получение химического состава стали в заданных диапазонах достигается с помощью введения ферросплавов в расплав. При необходимости ферросплавы прокаливают.

Выплавка стали

После выпуска очередной плавки производится осмотр футеровки конвертера и сталевыпускного отверстия.

При удовлетворительном состоянии футеровки конвертера после выпуска плавки осуществляетсяподготовка шлака для нанесения шлакового гарнисажа. При

неудовлетворительном состоянии футеровки конвертера производится локальный или капитальный ремонт футеровки.

Для подготовки шлака для нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера используется сырой, обожженный, офлюсованный доломит, бой шиберных плит, известь и каменный уголь (антрацит, кокс). Расход материалов зависит от количества и состояния шлака предыдущей плавки.

Шихта плавки конвертера состоит из жидкого чугуна и твердой металлической части шихтыв определенном соотношении.

Загрузка шихты в конвертер начинается с завалки металлолома. Во избежание разрушения футеровки конвертера сначала загружается совок (лоток)с легковесным ломом, а затем с тяжеловесным. После завалки металлолома, при необходимости, производится его прогрев.

Затем осуществляется заливка жидкого чугуна. Химический состав применяемого чугуна, как правило: 4,0–4,5 % C; 0,1–0,5 % Mn; 0,5–0,9 % Si; около 0,02 % S; около 0,1 % P [50].

При недостаточном теплосодержании чугуна, необходимого для ведения плавки, может применяться технология предварительного подогрева металлической части шихты за счет сжигания теплоносителя (коксика, антрацита) в струе кислорода. При необходимости переработки избыточного количества чугуна в качестве охладителей применяют железорудные окатыши, известняк и сырой доломит.

После заливки чугуна конвертер устанавливается в вертикальное положение, опускается фурма и начинается продувка плавки технологическими газами, преимущественно кислородом (основной газ). При продувке кислородом в реакционной зоне развиваются температуры до 2200–2500 ºС, что превращает реакционную зону в очаг разогрева всей ванны.

Вдуваемый кислород прежде всего взаимодействует с железом:

$$Fe + \frac{1}{2} \times O_2 = FeO.$$

Образующийся оксид железа частично переходит в шлак, частично растворяется в металле и окисляет примеси, содержащиеся в чугуне:

$$2FeO + Si = 2Fe + SiO_2;$$

$$FeO + Mn = Fe + MnO;$$

$$5FeO + 2P = 5Fe + P_2O_5.$$

Эти химические реакции проходят с выделением большого количества тепла. С понижением содержания в металле кремния и марганца повышается температура и возрастает скорость окисления углерода как за счет взаимодействия с FeO, так и за счет прямого воздействия газообразного кислорода [51].

$$FeO + C = Fe + CO.$$

Регулируя интенсивность продувки, обеспечивают низкое содержание углерода в полупродукте (менее 0,04 %) без переокисления металла и шлака, после чего осуществляется выпуск металла в ковш [52].

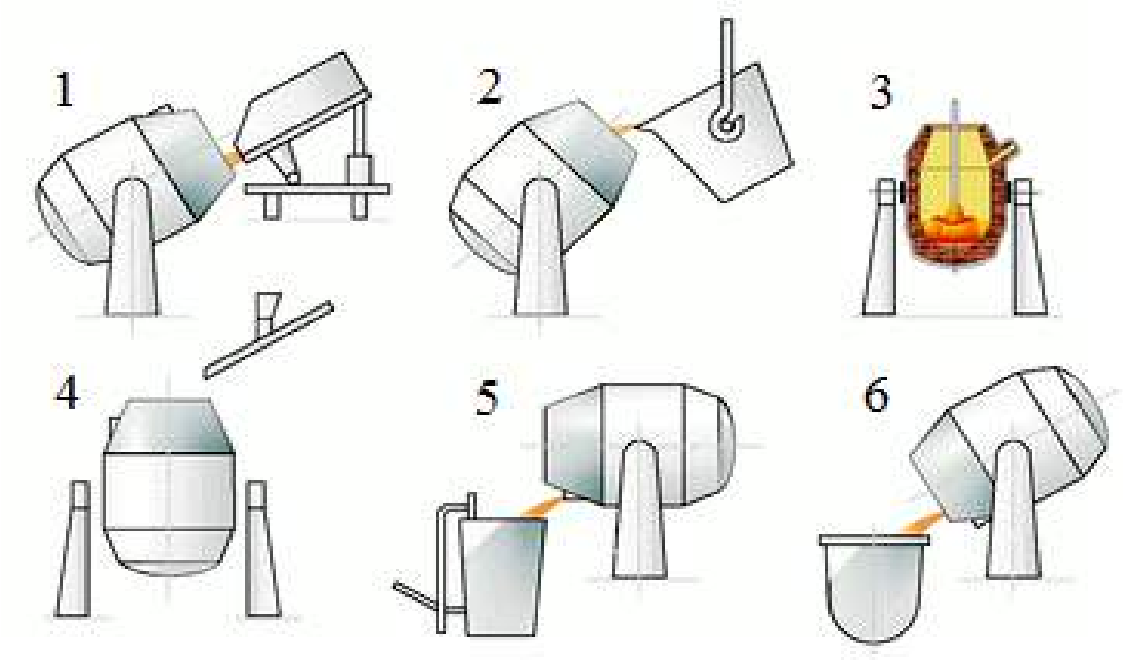
Окислительный характер плавки приводит к высокой концентрации кислорода в виде FeO в металле, в связи с чем проводят его удаление раскислением металла марганцем, кремнием и алюминием [53] по реакции:

$$FeO + Mn = Fe + MnO;$$

$$2FeO + Si = 2Fe + SiO_2;$$

$$3FeO + 2Al = 3Fe + Al_2O_3.$$

Схема работы конвертера приведена на рисунке 2.41.



1 – загрузка стального скрапа; 2 – заливка расплавленного чугуна;
3 – продувка кислородом; 4 – загрузка извести и железной руды с началом продувки и по ходу плавки; 5 – выпуск металла;
6 – слив шлака

Рисунок 2.41 – Схема работы конвертера

Конвертер представляет собой поворачивающийся на цапфах сосуд грушевидной формы, футерованный изнутри огнеупорами и снабженный леткой для выпуска стали и отверстием сверху (горловиной) для ввода в полость конвертера кислородной фурмы, отвода газов, заливки чугуна, загрузки лома и шлакообразующих и слива шлака. Конвертера по емкости могут вмещать от 135 т до 370 т расплавленного металла. Конструктивно конвертера емкостью от 135 т до 160 т могут изготавливаться глуходонными или со вставным днищем. Конвертеры большой емкости изготавливаются преимущественно глуходонными.

Образующийся в процессе продувки отходящий газ называется конвертерным газом и содержит в основном CO.

По способу отвода конвертерного газа в атмосферу газовые тракты конвертеров делятся на три группы:

- системы, работающие с подсосом воздуха через зазор между конвертером и котлом-утилизатором и полным дожиганием выделяющегося CO, т. е. с коэффициентом расхода воздуха $\alpha > 1$;

- системы, работающие без доступа воздуха в газовый тракт и без дожигания CO;

- системы, работающие с частичным дожиганием CO в котле-утилизаторе, т. е. при $1 > \alpha > 0$.

Работа системы с полным дожиганием позволяет в полной мере утилизировать физическое и химическое тепло конвертерного газа.

Регламент работы в режиме с частичным дожиганием отходящих газов должен включать контроль:

- расхода отходящих дымовыхгазов;
- расхода кислорода;
- объемной доли CO в отходящих газах.

По этой технологии отходящие газы дожигаются в небольшом объеме в котле-утилизаторе и основная их часть сжигается на свече.

Работа газоотводящего тракта в режиме без дожигания применяется в основном в случае, когда реализуется сбор конвертерного газа в газгольдер с последующим использованием его в качестве энергетического ресурса. Во всех иных случаях работа системы осуществляется в режиме с частичным дожиганием.

Основными причинами образования взрывоопасных смесей при отводе газов без дожигания или с частичным дожиганием могут являться:

- резкие изменения газовыделения, вызванные нарушениями технологии ведения продувки (возобновление прерванной продувки на максимальном расходе кислорода, подача сыпучих материалов большими порциями);
- подсос воздуха в «холодную часть» газоотводящего тракта при нарушении газоплотности люков, гидрозатворов, сварных швов и т. п.;
- попадание влаги (течь фурмы, котла-охладителя или подачи в конвертер влажных шихтовых материалов) в ванну конвертера, вызывающее появление в конвертерном газе водорода, расширяющего пределы взрывоопасности смеси оксида углерода и кислорода;
- наличие застойных зон.

Количество необходимого кислорода, расходуемого на плавку, обуславливается содержанием углерода, кремния, фосфора в исходной шихте. Окончание конвертерной плавки осуществляют по пробе металла. Отбор проб металла осуществляется после расчетного окончания продувки металла кислородом с наклоном конвертера при скачивании части шлака или с применением специального зонда без наклона конвертера.

Продувку плавки осуществляют в соответствии с технологическими схемами продувки с контролем следующих параметров:

- массы, химического состава и температуры заливаемого в конвертер чугуна;
- массы и вида (сорта) загружаемого в конвертер металлического лома;
- массы и вида загруженных в конвертер до начала продувки шлакообразующих материалов, теплоносителя и т. п.;
- вида, массы охладителей и шлакообразующих материалов, которые планируется присаживать в конвертер во время продувки, расходы которых (в том числе извести, доломита, магнезиальных флюсов) определяются в зависимости от химического состава исходных материалов, условий технологии и заданным химическим составом готовой стали.

Продолжительность первого периода продувки (период шлакообразования) устанавливают в зависимости от стойкости футеровки конвертера, состава твердой

металлической шихты, результатов обработки чугуна на установке десульфурации и вида перерабатываемого жидкого чугуна в соответствии с требованиями нормативных документов.

В период интенсивного обезуглероживания поддерживают в отходящих газах объемную долю CO в пределах 30–60 %.

Период продувки заканчивают при достижении объемных долей CO менее 1 %.

После окончания продувки производят наклон конвертера для измерения температуры расплава и отбора проб металла и шлака с целью определения химического состава.

При получении заданной температуры перед выпуском при необходимости измеряют окисленность металла.

В шлаке определяют массовые доли CaO, SiO_2, $Fe_{общ}$, MgO, S, P_2O_5 и его основность (отношение суммы массовых долей оксидов кальция и магния к массовой доле диоксида кремния) [54].

Выпуск расплава из конвертера в сталеразливочный ковш, присадка ферросплавов, раскислителей и других добавок

Выпуск расплава из конвертера в сталеразливочный ковш производят при готовности машины непрерывного литья заготовок(МНЛЗ) или разливочного состава с изложницами при разливе в слиток, с учетом продолжительности внепечной обработки, времени транспортировки ковша для обеспечения необходимой температуры разливаемой жидкой стали.

Ферросплавы, раскислители (алюминий вторичный фракционированный или его сплавы) и добавки (например, карбид кальция) следует вводить в ковш во время выпуска расплава из конвертера строго по расчету. Расплав раскисляют в соответствии с технологической схемой раскисления. Ферросплавы при необходимости подогревают для ускорения их проплавления. Во время выпуска расплава необходимо перемещать сталевоз с ковшом так, чтобы ферросплавы и другие присаживаемые материалы (твердые шлаковые смеси, известь) попадали под струю для лучшего распределения их по объему ковша.

Выпуск металла производится через сталевыпускное отверстие.

Обработку расплава синтетическими шлаками осуществляют во время выпуска расплава из конвертера, одновременно подавая струю жидкого шлака на струю жидкой стали. Синтетический шлак предварительно выплавляют и нагревают до температуры~1600 °C в электродуговой печи и перед обработкой расплава выпускают в специально подготовленный шлаковый ковш.

При выпуске расплава из конвертера производят отсечку конвертерного шлака.

После выпуска расплава оставшаяся в конвертере часть шлака наносится на футеровку конвертера в виде гарнисажа. Остальной шлак сливают через горловину конвертера в шлаковую чашу [55].

Внепечная обработка расплава

После выпуска расплава из конвертера для доведения его химического состава и температуры до требуемого уровня сталеразливочный ковш с расплавом направляют на внепечную обработку. Внепечная обработка является ключевым звеном современных процессов получения качественной стали. Наиболее широко внепечная обработка

используется при производстве высокопрочных конструкционных марок стали для машиностроения, судостроения, газонефтяного комплекса (особенно для изделий, работающих в условиях низких температур), автомобильной промышленности, электротехники.

Главные цели технологии внепечной обработки:

- перемешивание и усреднение (гомогенизация);
- корректировка и доведение химического состава до заданных значений;
- обеспечение требуемой температуры металла перед началом процесса разливки;
- дегазация (удаление нежелательных газов, таких как водород и азот);
- обеспечение чистоты металла по неметаллическим включениям за счет интенсификации перемешивания.

Эти операции выполняются в ковше на установке доводки металла, в агрегате «ковш-печь», в вакууматоре (циркуляционного, порционного или объемного рафинирования).

Выбор способа внепечной обработки определяется технологической схемой производства стали.

Продувку стали инертным газом могут осуществлять отдельно в сталеразливочном ковше на установках доводки металла или применяют как операцию, сопутствующую другим процессам. В качестве инертного газа используют в основном аргон, реже азот. Продувку инертным газом используют также для регулирования температуры металла в ковше.

Наиболее эффективным приемом внепечной обработки стали является комплексная обработка расплава в сталеразливочном ковше на агрегатах «ковш-печь», обеспечивающих нагрев и перемешивание стали в ковше, ее усреднение и корректировку химического состава.

Агрегат «ковш-печь» представляет собой установку, состоящую из крышки для ковша с отверстиями, через которые установлены три электрода. Под крышку помещается сталеразливочный ковш с металлом после выпуска из конвертера для проведения внепечной обработки стали. Кроме того, в состав установки «ковш-печь» обычно также входят средства для перемешивания металла инертным газом, система подачи ферросплавов и материалов для усреднения стали в ковше.

Вакуумирование металла осуществляют главным образом на сталях специального назначения с повышенными требованиями по содержаниям газов и неметаллическим включениям. После интенсивной дегазации в металл сверху из помещенного в вакуумной камере бункера вводят раскислители, ферросплавы и другие добавки.

После окончания внепечной обработки стали плавку передают на разливку [56].

Подготовка сталеразливочных и промежуточных ковшей

Для обеспечения бесперебойной и безопасной работы конвертерного цеха (производства) осуществляют регламентные работы по подготовке сталеразливочных и промежуточных ковшей.

Подготовка сталеразливочных ковшей

Сталеразливочный ковш представляет собой цилиндрическую емкость, изготовленную из металла, с цапфами для подъема и транспортировки мостовыми кранами, футерованную изнутри огнеупорами.

Подготовку и регламентный ремонт сталеразливочных ковшей организуют и выполняют на специализированных стендах.

После окончания разливки металла из сталеразливочного ковша сливают шлак в шлаковую чашу, затем ковш транспортируют в отделение подготовки ковшей. Ковш устанавливают на стенд, оборудованный охлаждающим устройством.

После охлаждения футеровки ковш устанавливают на стенд, оборудованный манипулятором для снятия и установки шиберных затворов и устройством для выдавливания стаканов. После снятия шиберного затвора и выдавливания стакана сталеразливочный ковш устанавливают на поворотный стенд, где осматривают футеровку и удаляют скрап и остатки шлака.

Далее ковш возвращают на стенд, где устанавливают новый шиберный затвор и проверяют его работу. Затем в ковш опускают кессон, с помощью которого устанавливают стакан и уплотняют гнездо, после чего ковш переносят на стенд, оборудованный устройством для сушки и разогрева ковша. Разогретый сталеразливочный ковш транспортируют к конвертеру.

Подготовка промежуточных ковшей к разливке

Перед началом разливки стали производят сушку и предварительный разогрев промежуточных ковшей на специальном стенде участка подготовки промковшей. Окончательный разогрев и поддержание рабочей температуры футеровки промежуточных ковшей производят на стендах разогрева, расположенных на рабочей площадке МНЛЗ. Производится подключение горелок для разогрева футеровки ковша.

Канал стакана промежуточного ковша прогревается как специально установленными горелками снизу, так и при помощи верхних горелок.

Для обеспечения стабильной и непрерывной работы МНЛЗ разливку стали начинают при наличии на рабочей площадке двух разогретых промежуточных ковшей.

Разливка стали на МНЛЗ или в изложницы (слитки)

Сталь после внепечной обработки направляется на разливку. Разливку стали осуществляют на МНЛЗ или в изложницы (слитки).

Разливка стали на МНЛЗ

Разливку стали на МНЛЗ производят методом «плавка на плавку» без прерывания разливки одной плавки.

После наполнения промежуточного ковша не менее чем на одну треть его высоты, начинается заполнение кристаллизатора (ов) сталью. По мере выхода сформировавшегося слитка из кристаллизатора (ов) подают воду на вторичное охлаждение. Режим вторичного охлаждения выбирают исходя из типа разливаемой стали и сечения заготовок.

Вода, применяемая для охлаждения стали и оборудования МНЛЗ, предварительно проходит реагентную обработку. Массовая концентрация взвесей и

нефтепродуктов в воде не должна превышать установленные нормативами требования. Рабочую скорость разливки выбирают в зависимости от типа стали и сечения заготовок.

В течение разливки каждой плавки измеряют температуру стали в промежуточном ковше.

После окончания разливки производят закрытие шиберного затвора. Снижают скорость разливки, перемещением стенда производят замену сталеразливочныхковшей.

После прекращения подачи стали в кристаллизатор подают воду в таком количестве, чтобы происходило ее полное испарение.

В зависимости от конструкции кристаллизатора выделяют следующие типы МНЛЗ:

- криволинейного типа;
- радиального типа;
- вертикального типа.

По виду разливаемой заготовки:

- сортовые;
- слябовые.

Устройство МНЛЗ криволинейного типа показано на рисунке 2.42.

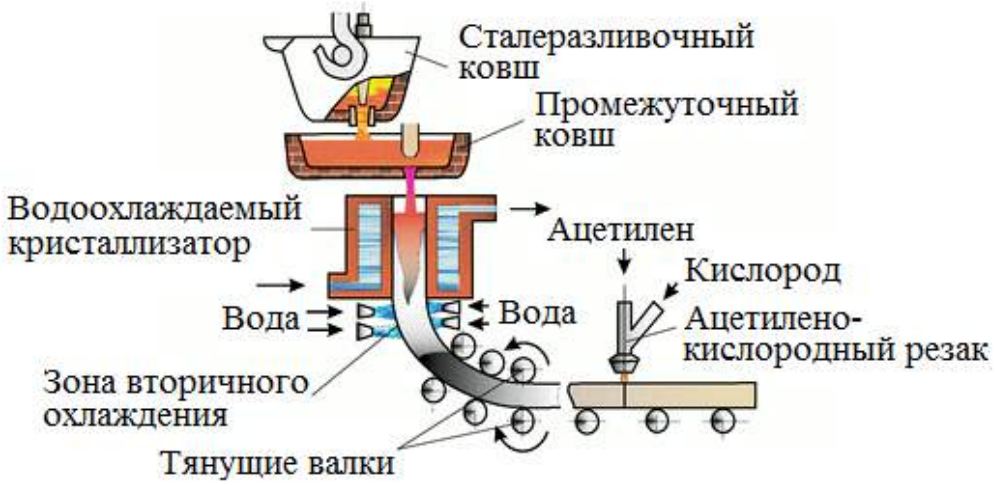


Рисунок 2.42 – Устройство МНЛЗ криволинейного типа

Разливка стали в изложницы (слитки)

На ряде металлургических заводов для получения слитков сталь разливают в изложницы (слитки). Изложницы изготавливают из чугуна, реже – из стали. Форма поперечного сечения изложниц может быть квадратной (для получения слитков, прокатываемых на сортовой прокат), прямоугольной (для слитков, прокатываемых на лист), круглой (для прокатки труб) и многогранной (для изготовления крупных поковок).

Перед разливкой стали в изложницы (слитки) их тщательно очищают от остатков стали предыдущего выпуска, затем подогревают до 80–120 °С и покрывают специальными обмазками.

Применяют следующие способы разливки стали в изложницы (слитки):

- в изложницы сверху (применим при получении крупных слитков);

- в изложницы сифоном (сталью заполняются одновременно от 2 до 60 изложниц, установленных на поддоне, через центровой литник, каналы и каналы в поддоне, т. е. эта разливка основана на принципе сообщающихся сосудов).

Слитки в изложницах поступают из разливочного отделения в отделение раздевания слитков или стрипперное отделение для подготовки к последующей посадке слитков в нагревательные колодцы (печи) блюминга или слябинга.

Разливка стали в изложницы (слитки) представлена на рисунке 2.43.

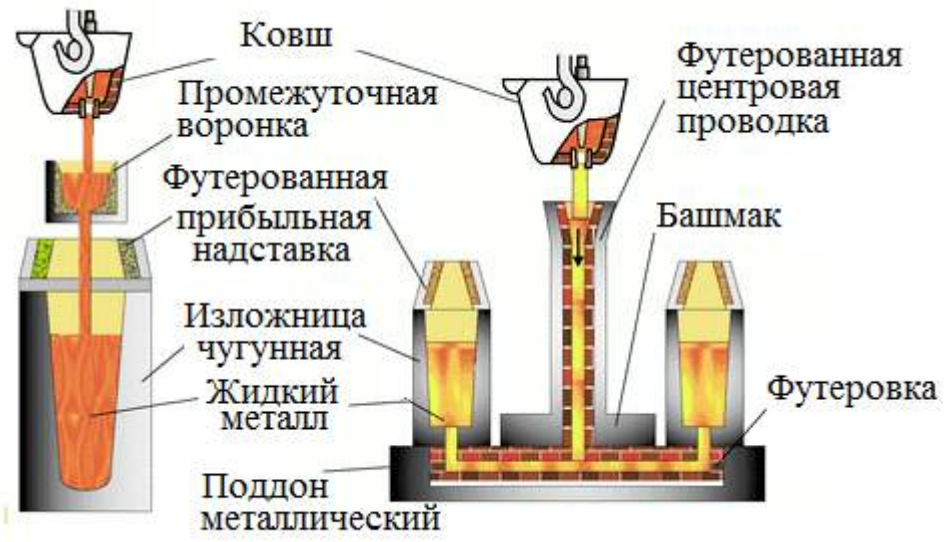


Рисунок 2.43 – Разливка стали в изложницы (слитки)

Обработка непрерывнолитых заготовок и слитков

Непрерывнолитые заготовки и слитки перед отгрузкой на следующий передел проходят обработку с целью контроля и удаления дефектов.

Обработка непрерывнолитых заготовок

Непрерывнолитые заготовки подают на специальные площадки, где производят визуальный осмотр поверхности и при необходимости осуществляют огневое осветление поверхности заготовок, удаление дефектов. Выявленные дефекты (трещины, шлаковые включения, завороты, наплывы, механические повреждения и др.), связанные с производством, транспортировкой и охлаждением заготовок и имеющие недопустимую степень развития, удаляют огневой зачисткой, для сталей с более высоким содержанием углерода и высоколегированных применяют абразивную зачистку во избежание образования трещин.

Обработка слитков

Слитки, разлитые в изложницы, передают на дальнейшею обработку с целью удаления дефектов. При выборе способа удаления поверхностных дефектов со слитков учитывают степень пораженности слитка поверхностными дефектами (имеется в виду площадь распространения дефектов и глубина их залегания), характер дефектов,

физические свойства зачищаемой стали, назначение в дальнейшем готового проката и его размеры.

При удалении отдельно залегающих на поверхности металла дефектов применяют местную зачистку. Сплошную зачистку применяют при наличии большого числа дефектов, расположенных по всей поверхности слитка. Для сталей с более высоким содержанием углерода и высоколегированных применяют абразивную зачистку во избежание образования трещин.

Иногда применяют комбинированный способ зачистки, при котором отдельные, глубоко залегающие дефекты, удаляют пневматической вырубкой, а мелкие дефекты, распространенные на большой площади, – абразивной зачисткой [57].

2.4.3 Особенности двухстадийного дуплекс-процесса производства стали

При переработке ванадиевого чугуна на отдельных предприятиях (в частности, на АО «ЕВРАЗ НТМК») применяется двухстадийный дуплекс-процесс производства стали: извлечение ванадиевого шлака и получение годной стали.

Ванадиевый чугун из доменного цеха (производства) поступает в миксерное отделение конвертерного цеха в чугуновозных ковшах емкостью 100–120 т и сливается в один из миксеров для усреднения химического состава и температуры. По мере необходимости чугун из миксера сливается в чугунозаливочные ковши емкостью 160–170 т для передачи в конвертерное отделение. Основной объем выплавляемого ванадиевого чугуна перерабатывается в четырех кислородных конвертерах емкостью 160 т каждый двухстадийным дуплекс-процессом.

На первой стадии дуплекс-процесса жидкий ванадиевый чугун с содержанием 0,40–0,60 % V, 0,05–0,15 % Si, 0,05–0,20 % Ti заливается в специальный «полупродуктовый» конвертер и продувается кислородом через водоохлаждаемую фурму. В ходе кислородной продувки происходят процессы окисления углерода и примесей чугуна – кремния, титана, марганца, в том числе ванадия, с выделением тепла. При увеличении температуры расплава выше температуры скорости обезуглероживания (1370–1420 °С) реакции окисления углерода резко ускоряются, а процессы окисления ванадия затормаживаются.

Для обеспечения низкотемпературного режима конвертерной плавки присаживается твердый охладитель-окислитель (прокатная окалина).

В результате окислительной обработки чугуна в конвертерной ванне формируется шлаковый расплав, в который переведено 90–95 % общего количества ванадия, от исходного содержания в ванадиевом чугуне. По окончании кислородной продувки углеродистый металл-полупродукт сливается через летку конвертера обратно в заливочный ковш, заранее установленный под конвертером.

В целях обеспечения запаса тепла для второй стадии дуплекс-процесса углеродистый металл-полупродукт обычно содержит 2,8–3,5 % С; его температура в ковше после выпуска из конвертера составляет 1350–1380 °С. Концентрация фосфора и серы в металле за период окисления ванадия практически не изменяется. После выпуска полупродукта ванадиевый шлак сливают через горловину конвертера в шлаковую чашу или оставляют в конвертере на следующую плавку цикла (для накопления шлака).

Передел углеродистого металла-полупродукта осуществляется на второй стадии дуплекс-процесса в другом, «стальном» конвертере классическим способом с добавлением необходимого количества извести и других шлакообразующих материалов для обеспечения требуемой степени окисления фосфора и серы в расплаве.

Для повышения при выплавке стали содержания ванадия в образующемся шлаке известь в начале операции не загружают. Таким образом, удается в начальный период продувки получить шлак, содержащий 16–18 % V_2O_5. Этот шлак скачивают и направляют на ферросплавные заводы для производства феррованадия или используют в чистом виде для прямого легирования стали.

2.4.4 Особенности производства стали в двухванном стационарном конвертере (ПАО «ММК»)

На ПАО «ММК» проведена реконструкция двухванной мартеновской печи в двухванный сталеплавильный агрегат с заменой физически и морально устаревших газоочисток «мокрого типа» на рукавные фильтры (содержание пыли в отходящих газах снизилось с 70–100 г/м^3 до 20 мг/м^3). Процесс выплавки стали в ДСА основан на интенсивной продувке кислородом ванны с чугуном и ломом и использовании тепла отходящих газов, выделяющихся при продувке, для нагрева шихты (металлолом, добавочные материалы) в соседней ванне, производительность и КПД печи при таком методе работы возрастает.

Расплавление металлошихты в ДСА осуществляется за счет тепла химических реакций окисления примесей жидкого чугуна и лома (углерода, кремния, марганца и т. д.), аналогично как в кислородном конвертере, а не за счет сжигания большого количества топлива (природного газ и мазута) как в мартеновском производстве.

Применяемые шихтовые материалы в ДСА аналогичны конвертерному процессу, так шихтой мартеновской печи при скрап-рудном процессе (основной процесс ведения мартеновской плавки) является стальной подготовленный лом 40–50 % и жидкий чугун в количестве 50–60 %, а кислородный конвертер и реконструированный агрегат (ДСА) работают на шихте следующего состава: 75 % – жидкий чугун и 25 % – металлический лом, тем самым по использованию шихтовых материалов и технологии производства сталеплавильный агрегат ДСА полностью повторяет конвертерный процесс.

2.4.5 Переработка и утилизация шлаков сталеплавильного производства

Переработка и утилизация образующихся в сталеплавильном производстве шлаков являются обязательными элементами безотходной технологии.

Сталеплавильные шлаки в зависимости от генезиса можно разбить на несколько подгрупп, отличающихся составом и определяющих их дальнейшее использование:

- шлаки, образующиеся в начальный период плавки*; э*ти шлаки содержат большое количество оксидов железа (до 40 % от общегоколичества шлака). Железо в шлаке может быть в виде оксидов FeO и Fe_2O_3 и в виде запутавшихся в шлаке корольков железа;

- шлаки, сформировавшиеся в конце плавки (конечные шлаки); эти шлаки содержат несколько меньшее количество железа и имеют высокое значение основности (CaO/SiO2 = 2,5–3,5); при выплавке низкоуглеродистой стали содержание оксидов

железа и в этих шлаках может быть достаточно высоким (15–20 %), однако корольков железа в них значительно меньше;

- шлаки, попадающие в сталеразливочный ковш с выпускаемой сталью; эти шлаки в жидком состоянии содержат незначительное количество железа; на практике часто определенное количество металла, оставшегося на днище и стенках ковша после окончания разливки стали, попадает вместе со шлаком в шлаковые чаши (это так называемые скрапины); олучаемый в результате конгломерат конечного шлака и скрапин металла подвергают тщательной разделке с целью максимального извлечения железа;

- шлаки внепечной обработки (рафинировочные шлаки), характеризующиеся высокой основностью и практически не содержащие железа как в оксидной, так и металлической формах.

В настоящее время разрабатываются технологии получения из шлаков абразивных материалов; отрабатываются методы сухой и мокрой грануляции жидких сталеплавильных шлаков. Особенно перспективна организация сухой грануляции, при которой одновременно можно решить две задачи: сокращение потребления воды и повышение энергоэффективности за счет использования выделяемого тепла.

Извлечение скрапа из шлака в основном ведется с помощью дробильно-сортировочных установок. Извлеченный скрап перевозят в копровый цех; его разделяют на магнитный и немагнитный, на негабаритный (более 10–15 т), габаритный (0,5–10,0 т) и мелкий (0,25–0,5 т). Отдельно складируется скрап, в котором видны сплавленные скрапины разных плавок, а также скрапины с большой долей (более 20 %) неотделяемого шлака. Негабаритный скрап в копровом цехе разрезают с помощью газокислородных горелок и различных видов пресс-ножниц.

Основные направления использования шлака сталеплавильного производства после извлечения скрапа:

- в качестве флюсов для ваграночного и аглодоменного производства;
- в сельском хозяйстве для замены суперфосфата (фосфорсодержащие);
- в сельском хозяйстве для известкования почвы (выскоосновные шлаки);
- в качестве добавки, повышающей содержание марганца в стали (высокомарганцевые шлаки);
- для снижения расхода извести и улучшения шлакообразования в сталеплавильном производстве (высокоосновные);
- в строительстве (щебень из сталеплавильных шлаков является полноценным заменителем гранитного щебня в бетонах и железобетонах);
- в дорожном строительстве – щебень при строительстве автодорог.

2.4.6 Основное технологическое и природоохранное оборудование для производства стали в конвертерах

Назначение, описание, технологические характеристики основного оборудования, применяемого в производстве непрерывнолитых заготовок или слитков в конвертерном цехе приведено в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Основное оборудование для производства непрерывнолитых заготовок или слитков в конвертерном цехе

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Чугуновозный ковш Миксер стационарный	Усреднение чугуна	Емкость, футерованная огнеупорными материалами. Агрегат отапливаемый, футерованный огнеупорными материалами
Миксер передвижной	Усреднение чугуна Транспортировка чугуна	Емкость, футерованная огнеупорными материалами на колесах
Установка десульфурации чугуна	Десульфурация чугуна	Стационарный стенд с системой бункеров для подачи сыпучих и газообразных материалов в чугунозаливочный ковш и системой скачивания шлака
Лоток (совок) для твердой металлической шихты	Завалка твердой металлической шихты в конвертер	Лоток (совок)
Чугунозаливочный ковш	Заливка чугуна в конвертер	Емкость, футерованная огнеупорными материалами для заливки жидкого чугуна в конвертер
Конвертер с машиной подачи кислорода, системой подачи шлакообразующих и газоотводящего тракта	Выплавка стали	Грушевидный агрегат, футерованный изнутри с приводом, машиной подачи кислорода, системой бункеров подачи сыпучих материалов
Сталеразливочный ковш	Выпуск стали	Цилиндрическая емкость, футерованная огнеупорными материалами для приема жидкой стали
Установка доводки металла	Доводка металла до необходимого химического состава	Стационарный стенд с системой подачи инертного газа и бункеров с сыпучими материалами для обработки стали
Агрегат «ковш-печь»	Внепечная обработка жидкой стали	Стационарный стенд с системой электродов и бункеров с сыпучими материалами для обработки стали
Вакууматор	Внепечная обработка жидкой стали	Агрегат с системой обработки стали вакуумом
МНЛЗ	Разливка жидкой стали	Комплекс оборудования, включающий подъемно-поворотный стенд, промежуточный ковш, кристаллизатор, зону вторичного охлаждения, тянуще правильный агрегат, резаки, рольганг
Изложницы (мостовой разливочный кран, ж/д тележки с установленными на них изложницами	Разливка жидкой стали	Комплекс оборудования, включающий разливочный мостовой кран, маслостанцию управления шиберным затвором стальковша, передвижной тележкой осмотра изложниц

Основное природоохранное оборудование

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду процесса производства стали в конвертерном цехе (производстве) на технологических участках (отделениях) устанавливается природоохранное оборудование:

- газоочистное и аспирационное оборудование, обеспечивающее необходимый уровень очистки технологических газов и аспирационного воздуха от содержащихся в них загрязняющих веществ перед отводом газов (воздуха) в атмосферу и/или возвратом обратно в рабочую зону;

- водоочистные сооружения, обеспечивающие очистку загрязненных промышленных сточных вод.

Для улавливания поступающих в атмосферу газов и пыли на металлургических предприятиях широко используют газоочистные системы сухого и мокрого способов очистки. Благодаря развитию газоочистных технологий, в последнее время успешно применяются высокоэффективные пылеуловители. К ним относятся рукавные фильтры, электрофильтры, а также мокрые фильтры. Среди наиболее распространенных сухих методов очистки газов от пыли наибольшей эффективности улавливания частиц тонкодисперсных (менее 5 мкм) можно добиться от использования рукавных фильтров, а также от электрофильтров. Использование рукавных фильтров позволяет достичь отметки остаточной запыленности, находящейся ниже 5–10 мг/м^3.

Аспирационное оборудование должно быть либо прямоточным, которое после очистки воздушных масс выбрасывает их в атмосферу, или рециркуляционным, предназначенным для возвращения очищенного воздуха обратно в помещение.

Для того чтобы воздух очищался наиболее качественно, применяется большое количество разнообразных фильтрующих элементов и устройств, работающих на гравитационном принципе, так называемых циклонов и сепараторов.

Комплексы водоочистных сооружений, независимо от их производительности и типа, включают: реагентное хозяйство со смесителем, камеры реакции (хлопьеобразование), горизонтальные отстойники или осветлители, фильтры, резервуары для чистой воды, насосную станцию II подъема с электроподстанцией и др [58].

Природоохранное оборудование производства непрерывно-литых заготовок или слитков в конвертерном цехе приведено в таблице 2.19.

Таблица 2.19 – Природоохранное оборудование конвертерного цеха

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
Газоочистные установки	Улавливание, охлаждение и очистка конвертерных газов, вредных выбросов и частиц воздуха при продувке в конвертере	Комплекс очистных сооружений, который выполняет функции и действия по очистке воздуха, как правило, мокрые системы очистки (скрубберы Вентури)

Окончание таблицы 2.19

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
Аспирационные установки	Локализация выделения примесей, недопущение поступления примесей от источника их образования при технологическом процессе производства стали в конвертерном цехе в воздух рабочей зоны. Удаление запыленного воздуха из-под укрытий транспортно-технологического оборудования участков разливки стали и обработки заготовок и слитков	Комплекс оборудования с разветвленной сетью воздуховодов, с вертикальными коллекторами (аспирационными стояками), с барабанными проходными коллекторами (электрофильтры, рукавные фильтры)
Водоочистные сооружения	Очистка воды, используемой для охлаждения и промывки технологических агрегатов и устройств конвертерного цеха. Отведение шламов, образующихся в процессе производства стали	Комплекс оборудования, включающий отстойники, устройства и аппаратуру для химической обработки воды, осветлители и фильтры

2.4.7 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание

Материальные потоки, характерные основные эмиссии по стадиям технологического процесса при производстве стали в конвертерах и непрерывнолитых заготовок или слитков по стадиям технологического процесса представлены в таблице 2.20.

Таблица 2.20 – Материальные потоки и эмиссии при производства стали в конвертерах и непрерывнолитых заготовок или слитков

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Шихтовые компоненты плавки стали в конвертере	Слив жидкого чугуна из чугуновозного ковша в миксер, усреднение жидкого чугуна в миксере и перелив из миксера в чугунозаливочный ковш	Чугун в миксере стационарном; чугун в чугунозаливочном ковше	Миксер; чугуновозный ковш; чугунозаливочный ковш	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, MnO, тепловое излучение, шум, вибрация, выделение графитовой спели, неорганизованные выбросы
	Прямой перелив чугуна из чугуновозного ковша или чугуновозного ковша миксерного типа в чугунозаливочный ковш	Чугун в чугунозаливочном ковше	Чугуновозный ковш; чугуновозный ковш миксерного типа (передвижной миксер); чугунозаливочный ковш	
	Подготовка твердой металлической шихты	Твердая металлическая шихта	Мостовые краны с магнитно-грейферным перегружателем	Взвешенные вещества состава: Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, MnO, шум
Чугун Десульфураторы	Десульфурация чугуна	Обработанный чугун	Установка десульфурации чугуна	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, MnO, тепловое излучение, шум, вибрация, выделение графитовой спели
Твердая металлическая шихта	Завалка твердой металлической шихты в конвертер	Твердая шихта в конвертере	Лоток (совок)	Взвешенные вещества состава: Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, MnO, шум

Продолжение таблицы 2.20

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Чугун	Заливка чугуна в конвертер	Чугун в конвертере	Чугунозали-вочный ковш	Взвешенные вещества состава: C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, MnO, тепловое излучение, выделение графитовой спели
Конвертер с металлошихтой, готовый к плавке	Выплавка стали в конвертере	Расплав, газообразные продукты плавки CO, CO_2, жидкий шлак	Конвертер с системой подачи кислорода, шлакообразу-ющих и газоотводящего тракта	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, CaO, SiO_2, MgO, MnO, ZnO; NO_2, N_2O, SO_2, CO, CO_2, сажа, бенз(а)пирен, тепловое излучение, шум, вибрация
Расплав	Окончание плавки, выпуск расплава в сталеразливочный ковш. Раскисление, присадка ферросплавов и других добавочных материалов	Расплав в сталеразливочном ковше	Конвертер с приводом, сталеразли-вочный ковш	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO, ZnO; NO_2, N_2O, SO_2, CO, CO_2, сажа, бенз(а)пирен тепловое излучение, шум, вибрация

Продолжение таблицы 2.20

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Расплав в сталеразливочном ковше	Внепечная обработка жидкой стали (установка доводки металла, агрегат «ковш-печь», вакууматор). Раскисление, присадка ферросплавов и других добавочных материалов	Сталь в ковше заданного химического состава	Агрегат «ковш-печь», вакууматор	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO, ZnO, сажа;NO_2, N_2O, SO_2, CO, CO_2, бенз(а)пирен тепловое излучение, шум, вибрация, электромагнитное загрязнение
Сталь в ковше сталь заданного химического состава	Разливка стали на МНЛЗ	Непрерывно-литые заготовки требуемого химического состава и заданного размера	МНЛЗ, резаки	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO; тепловое излучение, шум, вибрация
	Разливка стали в изложницы (слитки)	Слитки требуемого химического состава и заданного размера	Изложницы	
Непрерывнолитые заготовки требуемого химического состава и заданного типоразмера	Обработка непрерывнолитых заготовок	Непрерывно-литые заготовки годные к отгрузке	Оборудование для обработки заготовок	Взвешенные вещества состава Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO; тепловое излучение, шум, выделения от огневой зачистки

Окончание таблицы 2.20

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Слитки требуемого химического состава в изложницах	Подрыв слитка	Слиток, годный для переката на блюминге или слябинге	Стрипперные краны и напольные машины	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO; тепловое излучение, шум, выделения от зачистки
Сталеплавильные шлаки	Охлаждение и переработка сталеплавильных шлаков	Переработанные шлаки	Оборудование для переработки шлаков	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO; газовые компоненты- SO_2, тепловое излучение, шум

2.4.8 Факторы негативного воздействия на окружающую среду

Производство стали в конвертерном цехе (производстве) по всей технологической цепочке сопровождается воздействием на атмосферу, воздух рабочей зоны, поверхностные и подземные воды, образованием отходов производства и потребления.

Контроль за соблюдением нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, контроль качества воздуха рабочей зоны, контроль качества сточных вод, учет и обращение с отходами производства осуществляют специализированные подразделения металлургических предприятий.

Выбросы в атмосферу

При производстве конвертерной стали происходят выбросы в атмосферу вредных веществ: взвешенные вещества состава Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO, ZnO, сажа; газовые компоненты NO_2, N_2O, SO_2, CO, CO_2, бенз(а)пирен; тепловое излучение, шум, вибрация, электромагнитное загрязнение.

Сточные воды

Водоснабжение потребителей конвертерного производства технической водой осуществляется по водооборотным системам:

- система водоснабжения шихтоподготовительного отделения;
- система водоснабжения технологических агрегатов конвертерного отделения;
- система водоснабжения технологических агрегатов участка разливки стали;

- система водоснабжения газоочисток конвертерного газа;
- система водоснабжения химически очищенной водой котлов-утилизаторов.

Отходы и побочные продукты

В процессе производства конвертерной стали образуются отходы производства и потребления, побочные продукты:

- пыль графитная, десульфурации чугуна, известковая;
- окалина;
- лом цветных и черных металлов;
- отходы электродов, абразивных кругов, шлаковаты, кабельной продукции, резинотехнические, стекла;
- отходы строительных материалов;
- отработанные ртутные лампы, аккумуляторы, смазка, масла, фильтры замасленные;
- промасленные ветошь и опилки;
- тара б/у;
- твердые бытовые отходы.

Вредные производственные факторы

При производстве стали конвертерным процессом вредными производственными факторами являются:

- повышенное напряжение в электрической цепи (свыше 50 В);
- движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенный уровень инфракрасной радиации;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная температура поверхности оборудования, материалов;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности пола;
- повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны.

Допускаемые санитарными нормами уровни и концентрации вредных факторов:

- предельно допустимая концентрация (ПДК) неорганической пыли 6 мг/м^3;
- уровень производственного шума – 80 дБ;
- ПДК окиси углерода – 20 мг/м^3;
- уровень инфракрасного излучения – 140 Вт/м^2.

2.5 Производство стали в электродуговых печах

В электродуговых печах различной мощности выплавляют различные марки сталей: инструментальные, углеродистые, подшипниковые, коррозионностойкие, электротехнические и прецизионные сплавы. В настоящее время отмечается рост выплавки электростали, обусловленный реализацией проектов по строительству и реконструкции ЭСПЦ на металлургических комбинатах ММК, «Северсталь», «Уральская Сталь», «Евраз-ЗСМК», ОЭМК, ЧМК, «Амурметалл», «Волжский трубный завод».

Восемь новых электросталеплавильных комплексов построено взамен мартеновского производства, в том числе на заводе «Камасталь», «НЛМК-Урал», Металлургическом заводе им. А.К. Серова («Надеждинский металлургический завод»), в ПАО «ТМК» – «Северский трубный завод», «Таганрогский металлургический завод».

В период с 2007 г. введены новые электросталеплавильные мощности ОМК (г. Выкса), «ОМЗ-сталь», «Ростовский электрометаллургический завод», «Ашинский металлургический завод», «Первоуральский новотрубный завод», «Ижсталь».

Запущены в эксплуатацию мини-заводы «НЛМК-Калуга», «Тюменский ЭМЗ», «Сортовой завод Балаково», «Абинский электрометаллургический завод», «Ставсталь».

Дуговые сталеплавильные печи, и связанное с ними оборудование, постоянно совершенствуются. Используются инновационные решения [73–77]:

- водоохлаждаемые элементы футеровки стен, свода, наиболее нагруженных элементов откосов;
- использование высокого вторичного напряжении до 1600 В;
- разделение технологического процесса процесса производства стали на две стадии: выплавку полупродукта в ДСП и внепечную обработку;
- интенсивное использование кислорода;
- использование альтернативных источников энергии;
- применение подогрева лома, в том числе непрерывного;
- использование при плавке пенистых шлаков;
- использование донной продувки расплава в ДСП;
- использование металлизованных окатышей и брикетов;
- использование жидкого чугуна;
- использование АСУ ТП разных уровней, позволяющих вести плавку в автоматическом режиме большую часть времени;
- дожигание СО, эффективная газоочистка, рециклинг пыли;
- регенерация тепла отходящих газов;
- использование устройств, существенно уменьшающих участие человека в процессе выплавки: механизированные манипуляторы замеров температуры, окисленности, отбора проб.

Эти новшества привели к сокращению длительности плавки до одного и менее часа, что позволило согласовать работу ДСП и МНЛЗ.

Выплавка стали в ДСП в сочетании с агрегатами внепечной обработки на сегодняшний день позволяет выплавлять все марки, в том числе низколегированные углеродистые, легированные, подшипниковые, для производства железнодорожных колес и рельсов по различным ГОСТам, ТУ и зарубежным стандартам.

Производство коррозионностойких сталей стало двухстадийным. Выплавленную в ДСП сталь обезуглероживают аргонно-кислородной продувкой в специальном конверторе. При производстве особонизкоуглеродистых марок коррозионностойких сталей используется обезуглероживание под вакуумом на установках вакуумно-кислородного рафинирования.

В таблице 2.21 приведены характеристики современных ДСП на некоторых металлургических комбинатах России [59].

Таблица 2.21 – Характеристики современных электродуговых сталеплавильных печей

Характеристика оборудования	ММК	Север-сталь	Мечел	Метзавод им. А.К. Серова	Ашин-ский МЗ	НЛМК-Калуга
Конструкция	Традици-онная	Шахтная	ДСП-100И7 Традици-онная	Традици-онная	Consteel	Традици-онная
Год постройки	2006	1999 / 2005	1993	2006	2010	2013
Вместимость, всего/выпуск, т	2 x 210 / 180	2 x 150 / 125	2x140/125	80	120	160 / 120
Трансформатор, МВА	150	86	80	65	90	150
Шихта	Лом +25–40 % жид. чугун	Лом + 40 % жид. чугун	Лом	Лом + 30 % жид. чугун	Лом	Лом
Продолжительность плавки, мин	42–55	52–54	60–70	45	60	38
Производительность, млн т	2 x 2,0 = 4,0	2 x 1,1 = 2,2	2 x 0,75 = 1,5	0,75		До 1,5
Расход электроэнергии, кВт*ч/т	260 (с жид. чугуном) – 360	270 (с жид. чугуном) – 338	310	380	416	380
Расход электродов, кг/т	1,15–1,40	1,7	2,2			1,4
ГКГ, шт. x МВт	1 x 3,5	6 x 3,2 4 x 3,2	1 x 3,5		4	ГКГ – 2 × 3,5 КИ* – 4
Комбинированные горелки, шт. x МВт	RCB, 6 x 3,5	2 x 3,0 4 x 3,0	3 x 3,5	4 x 3,0	3	5 × 3,5
Донная продувка	+	–	Н.д.	+	–	–

Опыт эксплуатации ДСП на зарубежных и российских предприятиях показывает, что достижимые уровни расхода материалов и энергии при производстве в ДСП 1 т жидкой стали характеризуются: 340 кВт/ч электроэнергии, 1,2 кг электродов, 35 м^3 кислорода, 5 м^3 природного газа, 10 кг угольной шихты, 7 кг угольного порошка для вспенивания шлака, 40 кг извести. Мировой опыт работы современных ДСП показывает, что выход жидкого металла может составлять от 91 % до 92 % от общей массы металлозавалки. При этом потери железа составляют от 4 % до 6 %, в том числе в пыль отходящих газов переходит от 1,5 % до 3,0 %, в виде оксидов со шлаком от 2,5 % до 3,0 %, со скрапом в шлаковые отвалы уходит от 2 % до 3 %.

Электродуговая сталеплавильная печь (ДСП) нового поколения вместимостью 120–250 т характеризуется следующими основными особенностями:

- верхняя ступень вторичного напряжения до 1600 В, что позволяет вводить ультравысокую мощность (до 200 МВА) с использованием стандартных электродов диаметром 610 мм;

- альтернативные источники энергии (газокислородные горелки и инжекторы кислорода и углерода) позволяют вводить 10–12 % активной электрической мощности;

- увеличенная высота печного пространства до 4,5 м от зеркала металла до верха стен позволяет осуществлять загрузку шихты одной корзиной и нагрев шихты отходящими газами;

- разъёмная конструкция корпуса печи, состоящая из секций стальных водоохлаждаемых панелей в верхней части и медных панелей в районе шлакового пояса с повышенными тепловыми нагрузками; панели трубчатой конструкции охлаждаются высокоскоростными потоками воды;

- система инфракрасного контроля и отсечки шлака при автоматизированном выпуске металла из печи;

- расход электроэнергии 390 кВт*ч/т, цикл плавки 50 мин, часовая производительность 300 т, что обеспечивает годовую производительность 2,4 млн т.

Показатели работы печей нового поколения представлены в таблице 2.22.

Таблица 2.22 – Показатели работы ДСП нового поколения [59]

Характеристики	Магнитогорский металлургический комбинат	НЛМК-Урал	Colakoglu Metalurgji
Трансформатор	800–1236 В 150 МВА	740–1025 В 100 МВА + 20 %	880–1600 В 240 МВА
Масса плавки, т	180	90 / 120	250
Расход электроэнергии, кВт*ч/т	313	325 / 334	390
Расход кислорода, $м^3$/т	29,5	33 / 39	40
Расход газа, $м^3$/т	3,2	5 / 6,5	
Цикл плавки, мин	45	36 / 45	50
Производительность, т/ч	240	150 / 159	300
Горелки RCB	5 / 3,5 МВт, расход O_2 – 2500 $м^3$/ч	3 / 3,5 МВт, расход O_2 – 2000 $м^3$/ч	
Горелки, МВт	1 / 3,5	4 / 3,5	1 / 3,5
Инжекторы углерода, кг/мин	3 х 60	3 х 60	3 х 60

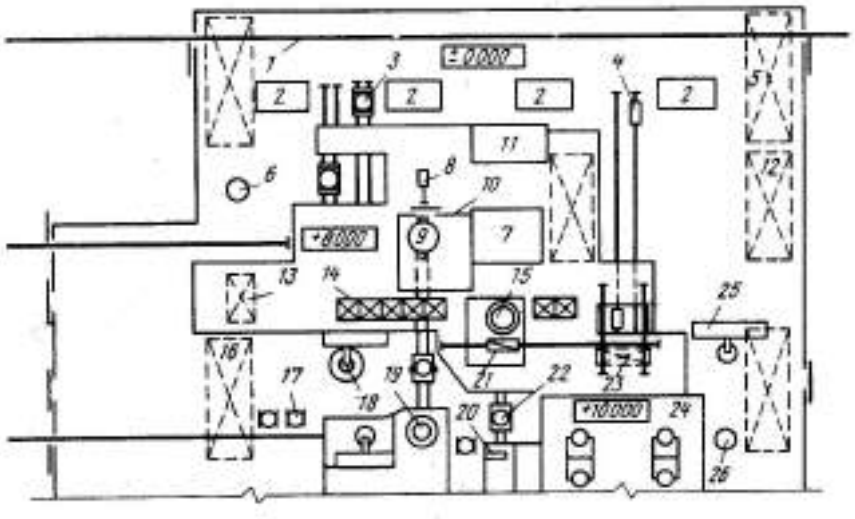
2.5.1 Технологический процесс производства стали в ДСП и заготовок

Главное здание электросталеплавильного цеха, как правило, имеет шихтовый пролет (шихтовое отделение может находиться в отдельно стоящем крытом здании), печной пролет и разливочный пролет [56, 60]. В состав электросталеплавильного цеха, как правило, входят следующие основные отделения и участки:

- отделение подготовки шихтовых материалов;
- склад электродов;

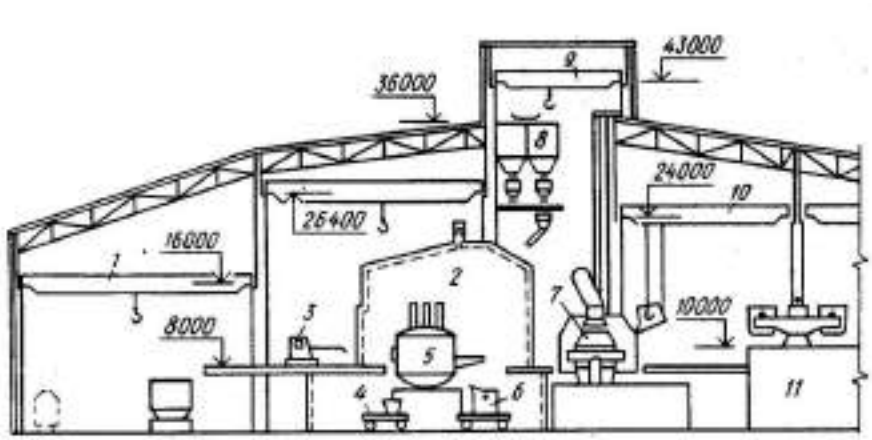
- склад ферросплавов;
- отделение подготовки порошкообразных материалов;
- склад огнеупоров;
- отделение ремонта механического и электрического оборудования; подготовки сталеразливочных и промежуточных ковшей;
- печное отделение;
- отделение внепечной обработки;
- отделение разливки;
- отделение переработка шлаков.

На рисунках 2.44 и 2.45 представлен один из вариантов российских электросталеплавильных цехов, предназначенного для производства сортамента, ориентированного на производство коррозионностойкой стали [62].



1 – железнодорожный путь; 2 – закрома для скрапа; 3 – самоходная тележка для завалочной бадьи; 5 – магнитно-грейферный кран; 6 – участок ремонта и наборки свода; 7 – стенд для наращивания электродов; 8 – машина для скачивания шлака; 9 – ДСП-100И7; 10 – шумо- и пылезащитная камера; 11 – пульт управления печью; 12 – мостовой завалочный кран; 13 – кран бункерного пролета; 14 – бункер для сыпучих материалов; 15 – агрегат аргонно-кислородного рафинирования (АКР); 16 – мостовой кран рафинировочного пролета; 17 – стенд для шлаковой чаши; 18 – стенд для сушки футеровки агрегата АКР; 19 – стенд для ремонта агрегата АКР; 20 – установка для доводки стали в ковше; 22 – сталевоз; 24 – МНЛЗ; 25 – установка для сушки сталеразливочного ковша; 27 – автошлаковоз для шлаковой чаши

Рисунок 2.44 – Вариант плана главного здания ЭСПЦ



1 – магнитно-грейферный кран; 2 – шумо- и пылезащитная камера; 3 – машина для скачивания шлака; 4 – самоходная тележка для шлаковой чаши (автошлаковоз); 5 – ДСП-100 И7; 6 – совок с металлическим ломом на самоходной тележке; 7 – агрегат АКР; 8 – бункер для сыпучих материалов; 9 – кран бункерного пролета; 10 – мостовой кран рафинировочного пролета; 11 – поперечный кран

Рисунок 2.45 – Вариант разреза главного здания ЭСПЦ

На рисунке 2.46 даны типичные схемы производства стали с техническими операциями в ДСП и агрегатах внепечной обработки металла [61]. Первая схема предусматривает доведение металла по химическому составу в ковше и десульфурацию стали. Вторая схема позволяет существенно повысить служебные свойства стали, так как в технологическую цепочку включена вакуумная обработка металла, позволяющая снизить содержание вредных примесей: газов (азот, водород, кислород), неметаллических включений, серы.

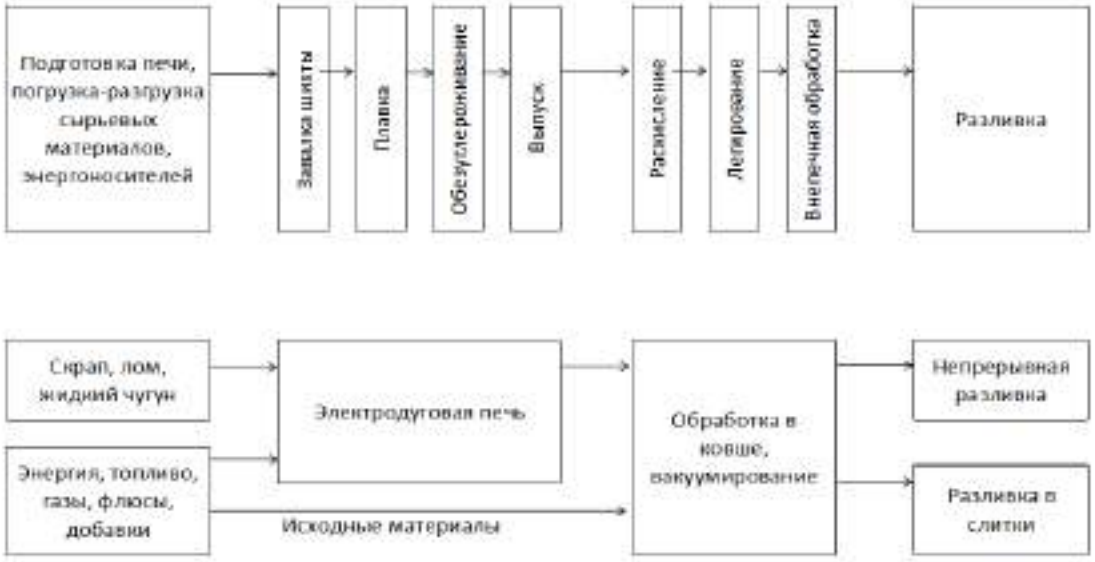


Рисунок 2.46 – Технологический процесс производства стали в ДСП, заготовок и слитков

Схема технологии производства стали в ДСП и заготовок с указанием входа ресурсов и мест появления эмиссий приведена на рисунке 2.47.

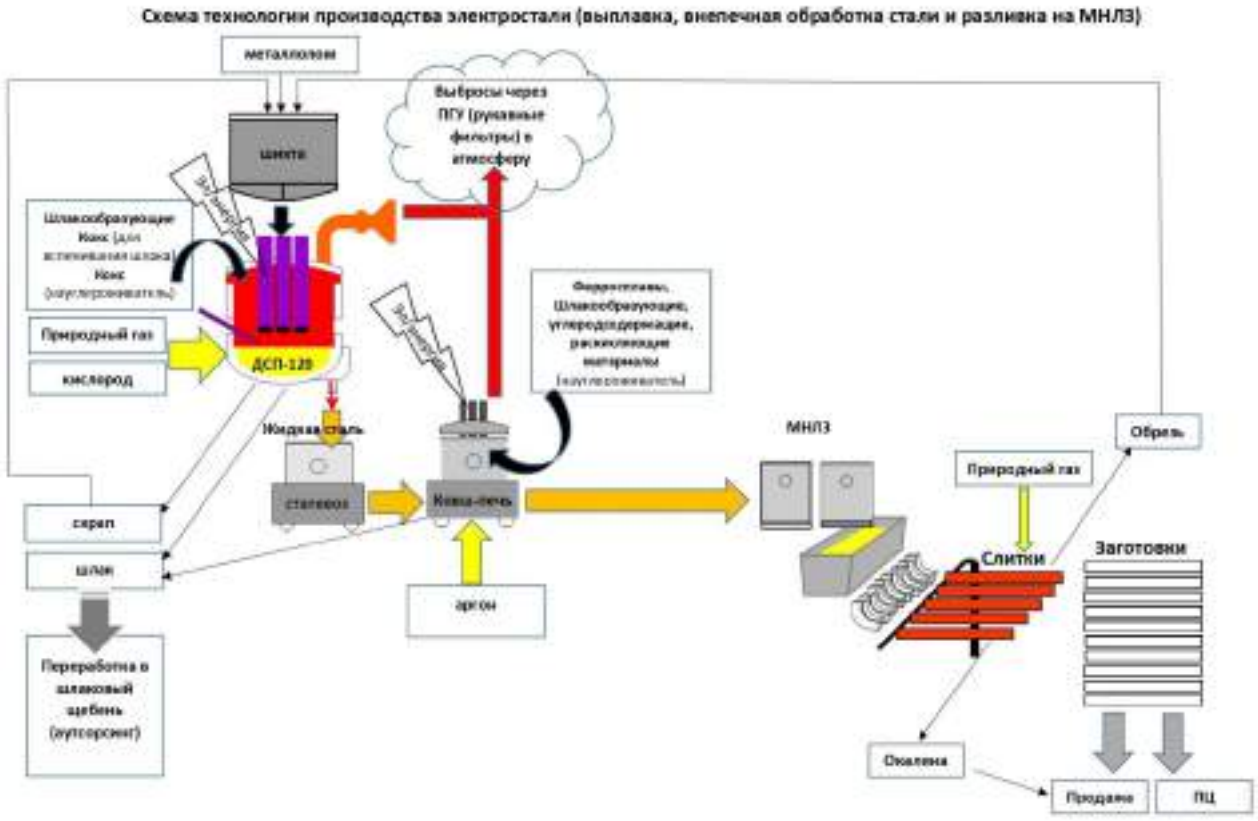
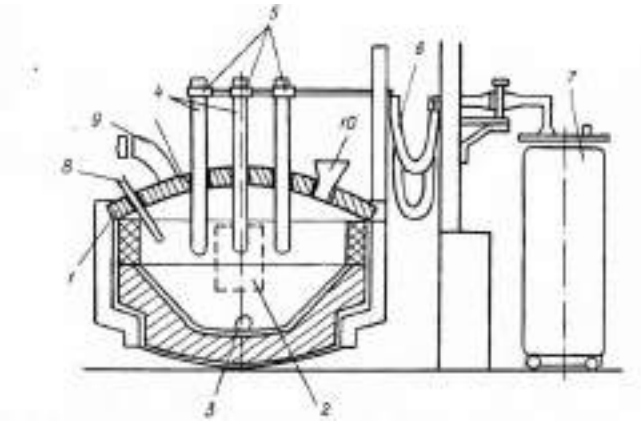


Рисунок 2.47 – Схема технологии производства стали в ДСП и заготовок с указанием входа ресурсов и мест появления эмиссий

Устройство дуговой печи

На рисунке 2.48 показана принципиальная схема устройства дуговой печи и основные элементы ее оборудования.



1 – свод; 2 – рабочее окно; 3 – сталевыпускное отверстие; 4 – электроды; 5 – электрододержатели; 6 – короткая сеть; 7 – трансформатор; 8 – кислородная фурма; 9 – отвод отходящих газов; 10 – загрузочная воронка

Рисунок 2.48 – Основные элементы комплекса ДСП

Футеровка подины печи, ее стен и свода выполняются из магнезиальных, магнезитохромитовых, периклазоуглеродистых огнеупоров как штучного изготовления, так и в виде масс. Подина печи выдерживает до 2000 плавок. Применение водоохлаждаемых сводов и стен печи (см. рисунок 2.49) увеличило их стойкость до и более 1000 плавок.

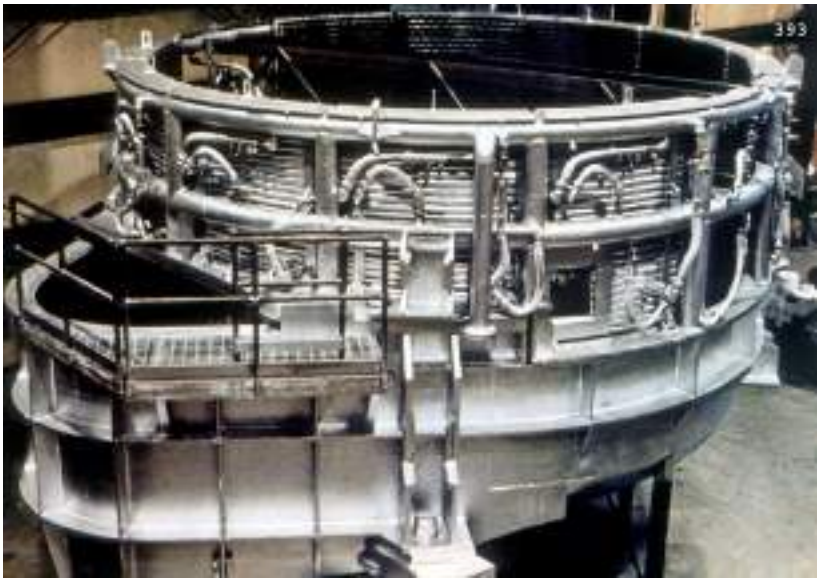


Рисунок 2.49 – Конструкция ДСП с водоохлаждаемыми стенами и эркерным выпуском

Для отсечки шлака при выпуске применяют эркерное или донное сталевыпускные отверстия с шиберными затворами. Это при необходимости позволяет оставлять в печи часть металла до 10–25 % (работа на «болоте»). Для ускорения процессов нагрева и расплавления шихты современные печи оборудованы газокислородными горелками, для интенсификации процесса плавления и обезуглероживания – кислородными фурмами (см. рисунки 2.50 и 2.51). Для вспенивания шлака с целью экранирования электрической дуги используются инжекторы углеродсодержащих материалов. Эти устройства в большинстве случаев комбинируются в различных сочетаниях и устанавливаются в водоохлаждаемых стеновых панелях. Дополнительно возможна установка таких устройств на специальном манипуляторе, который направляет их в рабочее окно ДСП.

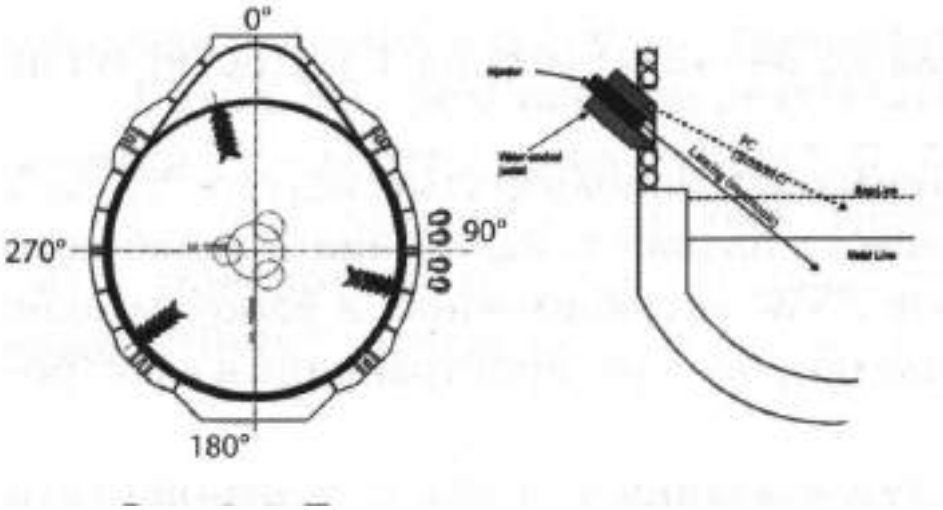
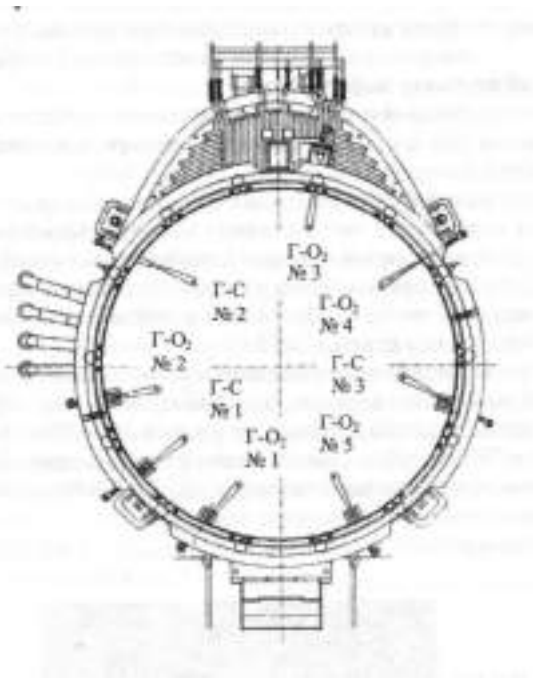


Рисунок 2.50 – Типичное расположение инжекторов в ДСП



Г-O_2 – горелка и инжектор кислорода; Г-С – горелка и инжектор углеродосодержащих материалов

Рисунок 2.51 – Схема расположения универсальных устройств в ДСП-160

Эти усовершенствования позволили сократить продолжительность плавки до 40–60 мин и сравняться по времени плавок с кислородными конвертерами [63].

Процесс плавления металла в дуговых электропечах сопровождается большим выделением газов и аэрозолей окислов железа. Поэтому электропечи оборудуют системой газоочистки, включающей эвакуацию продуктов горения непосредственно из рабочего пространства печи в общую систему аспирации цеха с последующей очисткой на рукавных фильтрах. Электропечи оснащают современными системами автоматического управления технологическим процессом АСУ ТП, решающими следующие задачи:

- контроль параметров и управление электрическим режимом плавки с учётом технологических факторов и реактора электропечи;
- контроль параметров и управление весодозирующим комплексом;
- контроль параметров и управление системами подачи альтернативных источников тепла и вспенивания шлака;
- контроль состояния и управление механизмами печи, трансформатора и переключателя ступеней напряжения;
- расчёт количества и управление подачей в печь кислорода для продувки металла и твёрдых окислителей;
- контроль параметров водоохлаждаемых элементов печи;
- контроль параметров и управление системой удаления и очистки газов;
- вывод данных на монитор оператора, визуализация процесса плавки, передача и получение данных по системе ввода/вывода и пр.

2.5.2 Выплавка стали

Подготовка шихтовых материалов

В настоящее время перечень шихтовых и всевозможных материалов, используемых при выплавке стали в электропечах, весьма широк. Он включает в себя металлический лом, чугун, ферросплавы, шлакообразующие, огнеупоры и ряд других.

Металлолом, доля которого в металлошихте может достигать 95 %, в ряде случаев является препятствием для выплавки отдельных марок стали, так как содержит медь, олово и другие примеси. Эта проблема решается селекцией видов металлолома и разбавлением металлошихты «первородной» шихтой: металлизованными окатышами или горячебрикетированным железом, чугуном

Металлолом в копровом цехе заранее сортируют по видам. Каждый вид характеризуется своим насыпным весом, максимальной толщиной и весом одного куска, содержанием углерода, наличием легирующих элементов. Металлолом на плавку в ДСП, как правило, подается в контейнерах или загрузочных корзинах. Немагнитный лом для выплавки легированных марок стали подается в мульдах.

Для выплавки стали требуется большое количество сыпучих, порошкообразных и шлакообразующих материалов, в том числе применяется свежеобожженная известь кусковая, плавиковый шпат, шамотный бой, кварцевый песок, боксит, железная руда, кокс, молотый ферросилиций, алюминиевый порошок. Эти материалы перед использованием должны быть просушены и прокалены для удаления гигроскопической и гидратной влаги, влияющей на образование флокенов и волосовин из-за попадания в сталь водорода. В ряде случаев, такую подготовку материалов возможно заменить вакуумированием стали.

Прокаливание ведут в специальных печах или мульдах рядом с дуговой печью. Дробление и подготовку сыпучих и порошкообразных материалов ведут в отдельных, рядом стоящих зданиях.

Шлакообразующие материалы и ферросплавы доставляются в печной пролет из шихтового отделения мостовым краном в мульдах или в саморазгружающихся бадьях, а на ряде заводов через бункерную эстакаду по системе ленточных конвейеров.

Подготовка печи

После каждой плавки подина и откосы печи осматриваются, очищаются перед очередной плавкой и заправляются порошкообразным обожженным магнезитом или массами специального состава, а при работе с оставлением части металла от предыдущей плавки – заправляются только откосы. Осуществляется подача к печи электродов и их наращивание.

Завалка шихты

Завалка шихты осуществляется в печь при открытом своде бадьями с открывающимся днищем, завалка флюсов и добавок через бункера с дозирующими устройствами. Жидкий чугун в печь заливают при помощи специального жёлоба (см. рисунок 2.52).



Рисунок 2.52 – Завалка шихты бадьей в ДСП-180, рядом на манипуляторе находится желоб для заливки чугуна, на кране висит ковш с чугуном

Плавка

Плавление шихты ведут на максимальной мощности печного трансформатора с использованием газокислородных горелок. Для ускорения плавления шихты поворачивают корпус печи вокруг оси в одну и другую стороны на 45°. На современных печах повороты не нужны, так как проплавляется один колодец. К окончанию расплавления ванна должна быть покрыта слоем шлака. Шлак периода расплавления имеет примерный состав: 35–45 % CaO; 15–25 % SiO_2; 5–10 % MnO; 10–12 % MgO; 4–7 % Al_2O_3; 10–15 % FeO; до 0,5 % P_2O_5 (основность 1,5–2,0). Скачивание и уборка шлака производятся через окно под печь самотеком или специальными скребками.

Окислительный период

В современных печах при активном использовании кислорода на стадии плавления металлошихты, период расплавления совмещён с окислительным периодом. Основная задача окислительного периода заключается в удалении фосфора. Начинается этот процесс при расплавлении порядка 70–80 % металлошихты при активном сходе шлака. Для создания благоприятных условий дефосфорации необходимо обеспечить требуемую окисленность ванны, которая достигается за счёт активной продувки расплава кислородом и снижением содержания углерода в металле до значений 0,1–0,05 % и менее. При этом основность шлака должна быть на уровне 2–3. Окисление фосфора протекает по реакции:

$$2[P] + 5(FeO) + 4(CaO) = (P_2O_5)\cdot 4(CaO) + 5\,[Fe].$$

Для протекания реакции окисления фосфора необходимы: высокое содержание кислорода в металле и шлаке, повышенное содержание CaO в шлаке и пониженная температура в реакционной зоне. Выполнение этих условий обеспечивают наводкой свежего шлака и постоянным обновлением шлака путем скачивания из печи насыщенного $(CaO)_4\cdot P_2O_5$ шлака. По ходу окислительного периода происходит дегазация стали – удаление из нее водорода и азота, которые выделяются в пузыри CO, проходящие через металл. Выделение пузырьков CO сопровождается удалением из металла неметаллических включений, которые выносятся на поверхность потоками металла или поднимаются наверх вместе с пузырьками газа. Хорошее кипение ванны обеспечивает перемешивание металла, выравнивание температуры и химического состава.

К концу окислительного периода шлак имеет примерный состав: 40–45 % CaO; 10–20 % SiO_2; 10–20 % FeO; 5–19 % MgO; 2–4 % Al_2O_3; 0,5–2,0 % P_2O_5 (основность 2,5–4,0). Общая продолжительность окислительного периода зависит от мощности трансформатора и продувочных устройств. На лучших печах время выплавки полупродукта в ДСП составляет от 35–50 мин.

Восстановительный период

После окислительного периода проводят полное скачивание шлака для удаления из печи фосфора. Далее плавку ведут под восстановительным белым шлаком, содержащим менее 0,5 % FeO. В этот период происходит диффузионное раскисление металла, завершается десульфурация до требуемого содержания серы, легирование металла и регулирование его температуры перед выпуском. Десульфурация металла активно проходит в восстановительный период плавки, а также при выпуске стали под слоем шлака, когда происходит хорошее перемешивание металла со шлаком:

$$[S] + (CaO) = CaS = [O].$$

Десульфурации способствует хорошее раскисление стали и шлака, высокое содержание извести в шлаке и высокая температура.

В современныхцехах, оборудованных агрегатами «ковш-печь», операции восстановительного периода, раскислениями легирования выполняются при выпуске стали из ДСП и при внепечной обработке.

Особенности технологии выплавки стали в дуговых электропечах ЭСПЦ АО «Уральская Сталь»

В 2019 г. в электросталеплавильном цехе АО «Уральская Сталь» была проведена модернизация и запущены в работу две новых печи с нулевым потреблением энергии: FMF (Flexible Modular Furnace) или ГМП (гибкая модульная печь), которая может работать как обычная ДСП с использованием электродугового нагрева графитированными электродами, так и в режиме кислородного конвертера. Это позволило исключить из шихты покупной металлолом и использовать до 90–95 % жидкого чугуна и 5–10 % ГБЖ или окисленных окатышей (для охлаждения) и вести плавку с нулевым расходом электроэнергии. Выплавка в режиме с использованием электроэнергии стала называться ДСП, а без использования электроэнергии – ГМП.

Для перехода с одного режима на другой (ДСП / ГМП) выполняют замену свода. Свод для ДСП водоохлаждаемый с огнеупорной центральной частью. Для выплавки в режиме ГМП применяют полностью водоохлаждаемый свод без отверстий под электроды. Вся процедура занимает не более двух часов.

Жидкий чугун поступает в ковшах из доменного цеха. Ковш с чугуном (50–70 т) устанавливается на специальную напольную машину для заливки чугуна и по желобу поступает в печь. Параллельно с заливкой начинается продувка кислородом, присадка шлакообразующих материалов и охладителей (ГБЖ или окатыши). После заливки первого ковша, производят смену ковшей и заливают второй ковш. При необходимости возможно проведение завалки твердой металлошихты (твердого чугуна, скрапа, обрези) и заливка одного ковша чугуна. Нагрев и окисление примесей производится за счета продувки ванны кислородом.

После получения в металле необходимой массовой доли углерода (С), фосфора (Р) и нагрева до соответствующей технологической температуры производят выпуск плавки. В процессе выпуска в ковш производят раскисление и легирование металла. Ковш передается на участок внепечной обработки для дальнейшей подготовки к разливке.

2.5.3 Ковшевая металлургия

Для увеличения производительности дуговых печей, уменьшения угара ферросплавов процессы раскисления, легирования, рафинирования и доводкиметалла до нужной температуры проводятся не в печи, а в сталеразливочном ковше и/или специальных агрегатах. Применение такой технологии также положительно сказалось на улучшении качества стали и свойствах металлопродукции – механических свойствах, коррозионной стойкости и др. Внепечная обработка стали («ковшевая металлургия») стала широко применяться для любых марок стали. Были разработаны простые (одним методом) и комбинированные способы внепечной обработки стали одновременно несколькими методами [63, 64, 65]:

- в обычном сталеразливочном ковше с использованием верхней погружной фурмы;
- в сталеразливочном ковше, оборудованном для вдувания газа или газопорошковой струи снизу через смонтированные в днище устройства;

- в установке «ковш-печь» с крышкой (сводом), через которую опущены электроды, нагревающие металл в процессе его обработки (при этом установка оборудована системой подачи ферросплавов из бункеров и добавок порошковой проволокой);

- в агрегате типа конвертера с продувкой металла кислородом, аргоном (агрегат аргоно-кислородного рафинирования);

- в вакууматорах различного типа.

При продувке инертным газом (аргоном или азотом) через отверстие в днище ковша происходит перемешивание металла и усреднение его химического состава, очищение металла от газовых и неметаллических включений. Перемешиванием жидкого металла инертным газом регулируют его температуру.

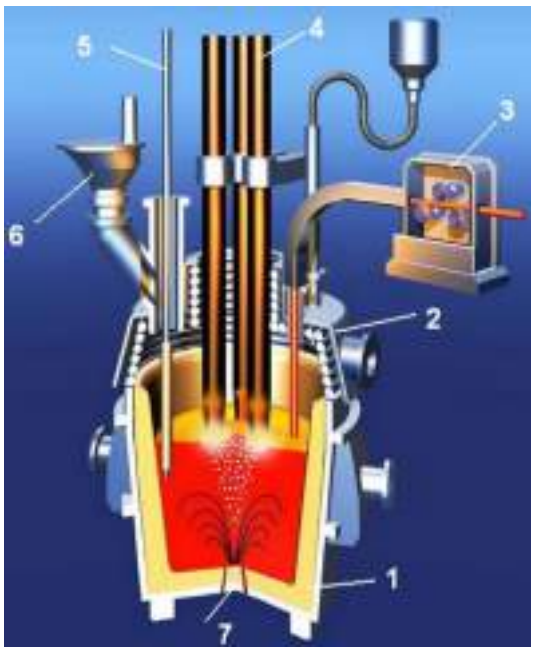
Для интенсификации рафинирования металла от серы, фосфора и кислорода применяют перемешивание металла с жидким синтетическим шлаком, который наводится при использовании твёрдых шлаковых смесей. Для снижения содержания серы в металле и его раскисления используют известково-глиноземистый шлак, для дефосфорации – известково-железистый. Рафинирование проводят путем смешивания, нагретого до 1600 °С синтетического шлака со струей металла, сливаемого из печи в сталеразливочный ковш. Рафинирование металла синтетическим шлаком можно совмещать с одновременной продувкой инертным газом или вакуумированием.

В настоящее время установка для внепечной обработки жидкой стали превратилась в многофункциональный агрегат «ковш-печь» (см. рисунок 2.53), позволяющий производить нагрев металла электроэнергией с помощью вводимых через крышку установки электродов, дозировать кусковые ферросплавы, флюсы или различные добавки (углерод, раскислители, модификаторы), в том числе с применением порошковой проволоки [59, 60]. Перемешивание стали на агрегате «печь-ковш» производят инертными газами или, в ряде случаев, электромагнитным перемешиванием.

Для повышения чистоты металла по неметаллическим включениям и содержанию газов проводят вакуумирование стали в вакууматоре.

С разделением операций получения жидкой стали и ее внепечной обработки общая продолжительность плавки составляет 1,5–3,0 ч, обработка на каждом агрегате не превышает 40–50 мин, что позволяет организовать разливку стали на машине непрерывной разливки стали по схеме «плавка на плавку». Удельный расход электроэнергии на установке «ковш-печь» – 30–95 кВт·ч/т, расход электродов 0,2–0,8 кг/т стали и существенно зависят от комплекса внепечной обработки, который должен быть задействован для выполнения требуемых показателей качества стали.

.



1 – ковш; 2 – крышка-свод; 3 – трайб-аппарат для подачи проволоки; 4 – электроды; 5 – фурма для вдувания порошка силикокальция в струе аргона; 6 – устройство для подачи сыпучих ферросплавов и флюсов; 7 – пористая пробка для подачи аргона

Рисунок 2.53 – Схема агрегата «ковш-печь»

2.5.4 Разливка стали на МНЛЗ

После внепечной обработки сталеразливочный ковш ставят на сталевоз, который перевозит его в разливочный пролет, где разливочный кран устанавливает ковш на разливочный стенд для разливки на МНЛЗ [56, 66].

Сталь из ковша поступает в промежуточный ковш, оборудованный дозирующими устройствами – стопорными механизмами или шиберными затворами или стаканами-дозаторами – для контроля потока стали из него в кристаллизаторы МНЛЗ. Промежуточный ковш, в зависимости от требований к качеству стали, оборудуется турбостопом, системой перегородок и другими элементами, обеспечивающими оптимальное движение потоков стали. Из промежуточного ковша сталь через дозирующее устройство заполняет кристаллизатор сверху. Перелив металла из сталеразливочного ковша в промежуточный и в кристаллизатор, в зависимости от требований к качеству стали осуществляется с использованием различных систем защиты металла от вторичного окисления – огнеупорные трубы / стаканы, уплотняющие вставки, подача инертного газа. Поверхность металла в промежуточном ковше закрывается шлаковой смесью.

Перед началом разливки в кристаллизатор с нижней стороны вводится затравка – штанга сечения кристаллизатора или формы будущей заготовки. Верхний торец затравки образует дно кристаллизатора и имеет устройство в виде ласточкиного хвоста для сцепления со слитком. Когда уровень металла поднимается над затравкой на высоту 300–400 мм, включается механизм вытягивания заготовки. Под действием тянущих валков этого механизма затравка опускается и тянет за собой формирующийся слиток.

Медный или бронзовый, с полыми стенками, интенсивно охлаждаемый водой кристаллизатор с внутренним сечением по форме заготовки формирует корочку слитка-заготовки. Для предотвращения надрыва корочки и ухода металла, кристаллизатор выполняет возвратно-поступательное движение специальным механизмом. Кристаллизатор движется по направлению движения заготовки (вниз) и затем возвращается вверх. Ход качания – от 10 до 40 мм. В процессе разливки стенки кристаллизатора смазываются специальными шлакообразующими смесями (ШОС), рапсовым маслом, парафином или другими смазывающими веществами. В кристаллизаторе над поверхностью металла может быть создана восстановительная или нейтральная атмосфера для предотвращения окисления металла при разливке.

Наибольшее распространение получил радиальный тип МНЛЗ, требующий меньшей высоты металлоконструкций ЭСПЦ. При выходе непрерывнолитого слитка на горизонтальный участок рольганга слиток разрезают кислородным резаком на заготовки мерной длины. Разливку на МНЛЗ ведут, как правило, методом «плавка на плавку» без прерывания разливки. При разливке контролируют температуру металла в промежуточном ковше, работу механизмов и качество поверхности непрерывнолитых заготовок.

2.5.5 Подготовка сталеразливочных ковшей

Сталеразливочные ковши относятся к основному оборудованию разливочного пролета. Корпус ковша цельносварной, оборудован цапфами и кантовательными устройствами. Внутри ковш футеруется двумя слоями огнеупорной футеровки (арматурный и рабочий), выполняемой огнеупорным ковшевым кирпичом и/или монолитной футеровкой. Рабочая футеровка выполняется из периклазоуглеродистых огнеупоров. Некоторые заводы используют высокоглинозёмистые материалы. Для увеличения стойкости футеровки ковшей с помощью установки торкретирования проводят периодическое торкретирование изношенной футеровки пульповым раствором. Чаще всего ремонтируют «шлаковый пояс».

Сталь из ковша выпускают через донное отверстие, перекрываемое стопором, который вводится в ковш через металл, или шиберным затвором, устанавливаемым снаружи ковша в днище. Шиберные затворы собирают на специально оборудованном участке. Шиберный затвор представляет собой две одинаковые огнеупорные плиты овального типа с отверстиями в центре. Плиты закрепляются в специальной рамке таким образом, что одна плита закреплена к неподвижной рамке к днищу ковша, а вторая подвижная (см. рисунок 2.54).

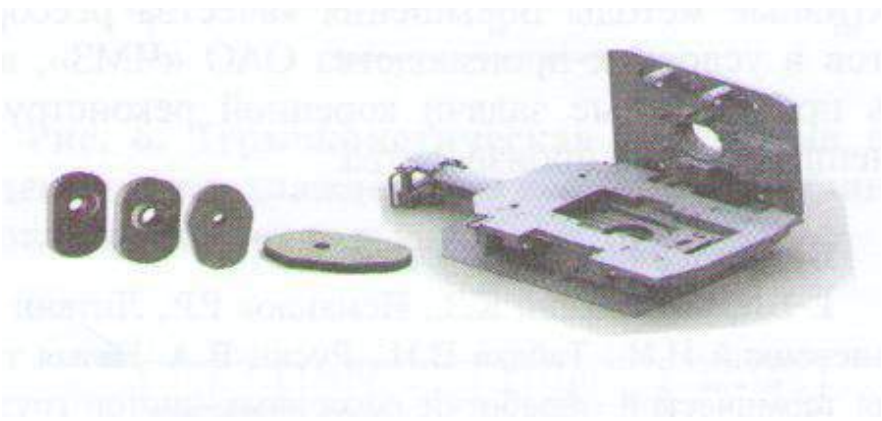


Рисунок 2.54 – Конструкция шиберного затвора

При совмещении отверстий жидкая сталь будет поступать из ковша в промежуточный ковш МНЛЗ. Регулируя положение нижней подвижной рамки, соответственно величину зазора отверстий, можно регулировать скорость истечения металла из ковша. Собранные шиберные затворы и вновь зафутерованные сталеразливочные ковши сушат на стенде газовыми горелками до температуры 1200 °С. После этого сталеразливочные ковши могут отдаваться на разливку.

2.5.6 Обработка электросталеплавильного шлака и пыли

Шлак

Суммарный выход шлака при выплавке стали в дуговой печи достигает до 200 кг/т, при среднем уровне около 120–150 кг/т стали.

В электросталеплавильных цехах слив печного и ковшевого шлака осуществляется «под печь». По остывании поверхности (до красного состояния) специальными погрузчиками шлак вывозится либо на шлаковый двор, либо в специально оборудованные бункера («шлаковые закрома», ямы) для окончательного охлаждения. В некоторых случаях горячий шлак под печью орошается водой, затем загружается в спецкузов, забираемый автомобилем, оборудованный системой мультилифт, для последующей транспортировки на участок шлакопереработки.

Для уборки шлака, как правило, используются шлаковые чаши объемом 16 м^3 (см. рисунок 2.55).



Рисунок 2.55 – Слив шлака под печь в шлаковую чашу

Наполненные шлаковые чаши со шлаком перевозятся на шлаковый двор для опорожнения. Шлаковый двор оборудован траншеей для слива жидкого шлака, электромостовыми кранами и экскаватором для отгрузки шлака. Освобождённые от шлака шлаковые чаши ещё в горячем состоянии опрыскиваются изнутри сплошным слоем известкового молока, затем передаются в цех под налив шлака.

Охлажденный шлак подвергают дроблению и магнитной сепарации для отделения скрапа (направляется на переплав) и после фракционирования отправляют потребителям.

Печной шлак с основностью 1,5–2,0 легко перерабатывается на шлаковом дворе в шлаковых ямах с последующей переработкой на дробильно-сортировочной установке с получением фракционированного щебня, а высокоосновной шлак внепечной обработки с основностью 2,5–4,0 имеет другие свойства и требует иной технологии переработки. Двухкальциевый силикат, имеющийся в высокоосновном шлаке, из-за полиморфизма кристаллической решетки рассыпается в порошок. Такой шлак трудно перерабатывать и невозможно перевозить из-за пыления. Проблема его переработки может быть решена двумя способами:

- сливом его на дробленый известняк для получения декарбонизированной шлако-известковой смеси, пригодной для переработки в цементной промышленности;
- вводом вковшевой шлак при внепечной обработке стали добавок, стабилизирующих двухкальциевый силикат для предотвращения полиморфизма.

Ковшевой шлак может быть использован для формирования печного шлака в качестве частичной замены извести, однако требуется его стабилизация и отработка технологии, позволяющих значительно уменьшить его вынос из ДСП в виде пыли.

Пыль

Удельный выход пыли при производстве стали в дуговых печах может достигать 30 кг/т стали. В таблицах 2.23 и 2.24 представлены примерные химические и гранулометрические составы высокоосновного ковшевого шлака и пыли дуговой печи.

Таблица 2.23 – Химический состав шлака и пыли

Материал	Массовая доля, %												
	CaO	SiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO	MgO	Al_2O_3	S	Zn	ппп	$Fe_{общ}$
Шлак	55,0	11,8	0,05	0,05	0,2	–	0,22	7,2	10,61	0,27	–	–	–
Пыль	9,92	3,49	–	0,366	11,1	47,34	3,33	2,15	3,4	0,41	6,05	3,76	41,8

Таблица 2.24 – Гранулометрический состав шлака и пыли

Материал	Фракция, мм, %			
	0,5–3,0	0,25–0,5	0,1–0,25	Менее 0,1
Шлак	5,5	16,0	15,5	63,0
Пыль	–	–	8	92

Пыль или шламы при мокрой очистке, уловленные от дуговой печи, могут содержать значительные концентрации оксидов цинка (до 25 %), свинца. Эта пыль требует специальной подготовки и технологии для извлечения железа, цинка и свинца [67, 68].

2.5.7 Очистка отходящего газа сталеплавильных печей

Существенную часть технологической цепочки выплавки стали в дуговой печи составляет улавливание и очистка отходящих газов электропечи. Выделяющиеся при продувке газы вместе с пылью отводят из-под свода печи через четвертое отверстие в своде.

Устанавливают различной конструкции колпаки над сводом, рабочим окном и сливным носком для аспирации газов. Для уменьшения в цехе шума и запыленности ДСП могут устанавливаться в газо- и шумозащитных камерах.

На рисунке 2.56 представлена пылеочистная система с рукавными фильтрами в ЭСПЦ (с двумя ДСП-180), где аспирационные газы отбираются из- под крыши производственного здания.



Рисунок 2.56 – Пылеочистная система с рукавными фильтрами с отбором аспирационных газов из-под крыши производственного здания ЭСПЦ

Современные технологии выплавки стали в электродуговых печах оснащены общей системой газоочистки, когда в общий коллектор принимаются отходящие газы дуговой печи и аспирационные потоки, которые передаются на рукавный фильтр. Остаточная концентрация по пыли на дымовой трубе не превышает 10 мг/м^3. Современная система газоочистки, выполненная на мини-заводе НЛМК-Калуга с ДСП-150, представлена на рисунках 2.57 и 2.58.



Рисунок 2.57 – НЛМК-Калуга с очисткой пыли в рукавном фильтре

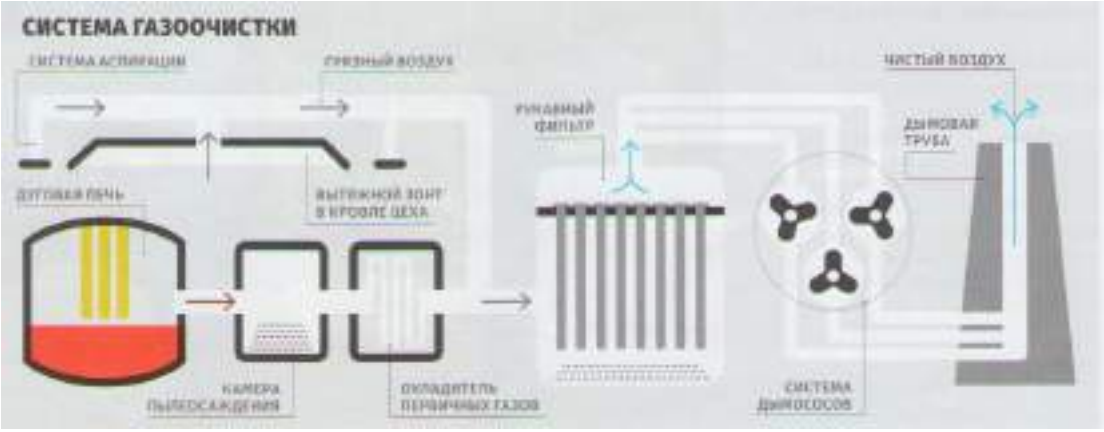


Рисунок 2.58 – Принципиальная схема пылегазоочистки с рукавным фильтром

В связи с увеличением доли стального лома, загрязнённого полихлорвиниловыми соединениями (провода, обшивка и т. п.) маслами, красками в процессе переработки такого лома возрастает опасность образования диоксинов и фуранов. Улавливание диоксинов / фуранов представляет большую проблему. Обычные системы газоочистки улавливают до 60 % диоксинов. Обеспечить полную очистку крайне трудно. На рисунке 2.59 представлена схема оптимального процесса обработки отходящих газов шахтной дуговой печи, где все функции газоочистки представлены на примере отдельных модулей [59].

Эффективность работы данной технологической линии подтверждена на ряде металлургических предприятий.

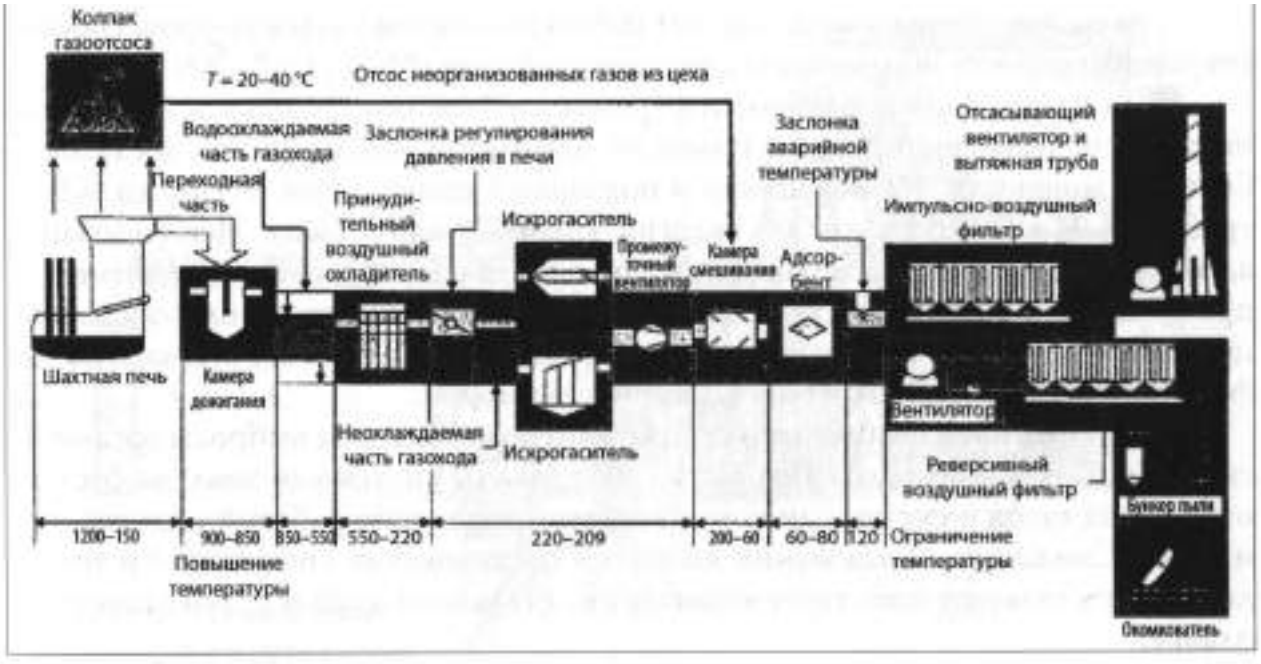


Рисунок 2.59 – Современная технологическая схема системы газоочистки шахтной дуговой печи

2.5.8 Основное технологическое и природоохранное оборудование

Назначение, описание, технологические характеристики основного оборудования, используемого при производстве стали в дуговых печах и заготовок, приведены в таблице 2.25.

Таблица 2.25 – Основное технологическое оборудование, используемое при производстве стали в дуговых печах и заготовок

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Магнитно-грейферные краны	Разгрузка вагонов на склад сырья, забор сырья	Грейферные краны: козловые, мостовые
Магнитный кран на шлаковом дворе	Отмагничивание металла от шлака	Кран мостового типа
Экскаватор	Отгрузка шлака	
Автошлаковоз	Транспортировка шлаковых чаш	На резиновом ходу
Электромостовые краны	Перемещение грузов	Кран мостового типа
Дробилки флюсов	Дробление и измельчение флюсов	Молотковые, валковые дробилки
Дробилки кусковых материалов	Дробление материалов для компонентов шихты	Молотковые, валковые дробилки
Дробилки топлива	Дробление и измельчение твердого топлива – кокса, угля	Дробилка четырехвалковая
Дробилка щековая	Предварительное дробление крупных кусков материала до 40–100 мм	Модель С-644, производительность 19 м^3/ч
Дробилка молотковая	Среднее дробление материала до 10 мм	Модель СМ-431, производительность 6–30 т/ч
Дробилка двухвалковая	Тонкое дробление материала до 2–14 мм	Модель ДВГ-2М, производительность 3–12 м^3/ч
Дробилка четырехвалковая	Тонкое дробление материала до 0,5–5 мм	Производительность 6–30 м^3/ч
Машины-грохоты	Рассев материалов по фракциям	Производительность 1–15 т/ч
Оборудование аспирации	Аспирация	Аспирация мест с дробильно-измельчительным оборудованием
Тележки погрузочно-разгрузочные	Прием и доставка материалов	Прием и доставка материалов
Электропогрузчики	Перемещение грузов	Перемещение грузов
Автопогрузчики	Перемещение грузов	Перемещение грузов

Продолжение таблицы 2.25

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Бункеры, питатели, весовые дозаторы	Хранение и дозирование компонентов шихтовых материалов	Хранение и дозирование компонентов
Конвейеры	Транспортировка сыпучих грузов	Ленточный конвейер
Сушильные, прокалочные печи, барабаны	Сушка и прокалка материалов и ферросплавов перед подачей в печь на плавку	Сушка и прокалка материалов и ферросплавов перед подачей в печь на плавку для предотвращения насыщения жидкой стали водородом
Завалочные саморазгружающиеся бадьи	Завалка металлошихты в ДСП	Навешивается на кран
Машина для загрузки шлакообразующих в печь	Загрузка материалов в печь	Загрузка материалов в печь
Мульдозавалочная машина напольная	Загрузка материалов в печь	Напольного типа
Мульдозавалочная машина крановая	Загрузка материалов в печь	Кранового типа
Мостовой разливочный кран разливочного пролета	Транспортировка сталеразливочного ковша	Транспортировка сталеразливочного ковша со сталевоза на разливочный стенд и обратно
Дуговая печь	Выплавка стали	Выплавка стали из металлической шихты
Сталевоз	Перемещение сталеразливочного ковша	Перемещение сталеразливочного ковша из печного в разливочный пролет
Сталеразливочный ковш	Прием и перемещение выплавленной стали	Цилиндрическая емкость, футерованная огнеупорными материалами для приема жидкой стали
Стенды сушки и разогрева футеровки сталеразливочных ковшей вертикальные	Сушка и разогрев футеровки стальковшей после ее сборки	Стенд с крышкой, в которой установлена газовоздушная или газокислородная горелка. Ковш на стенде стоит вертикально.
Стенды сушки и разогре-ва футеровки сталераз-ливочных ковшей горизонтальные	Сушка и разогрев футеровки стальковшей во время эксплуатации	Подвижная тележка, которая со стальковшом подъезжает к крышке. В крышке установлена газовоздушная или газокислородная горелка. Ковш на тележке лежит горизонтально.
Машина «Орбита»	Футеровка сталеразливочных ковшей	Машина портального типа с пескометным механизмом подачи огнеупорной массы

Окончание таблицы 2.25

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Шлаковая чаша	Прием и транспортировка шлака	Чугунная емкость объемом до 16 м^3
Агрегат «ковш-печь»	Внепечная обработка жидкой стали	Стационарный стенд с системой электродов и бункеров с сыпучими материалами для обработки стали
Вакууматор	Внепечная обработка жидкой стали	Агрегат с системой обработки стали вакуумом
МНЛЗ	Разливка жидкой стали	Комплекс оборудования, включающий подъемно-поворотный стенд, промежуточный ковш, кристаллизатор, зону вторичного охлаждения, тянуще-правильный агрегат, резаки, рольганг

Основное природоохранное оборудование

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду процесса производства стали в дуговых печах на технологических участках и в отделениях устанавливается природоохранное оборудование:

- газоочистное и аспирационное оборудование, обеспечивающее необходимый уровень очистки технологических газов и аспирационного воздуха от содержащихся в них загрязняющих веществ перед отводом газов или воздуха в атмосферу;
- водоочистные сооружения, обеспечивающие очистку загрязнённых промышленных сточных вод.

Назначение, описание, технологические характеристики природоохранного оборудования, используемого при производстве стали в дуговых печах и заготовок, приведены в таблице 2.26.

Таблица 2.26 – Назначение и описание природоохранного оборудования, используемого при производстве стали в дуговых печах и заготовок

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
Система газоочистки комплекса агрегатов печи и МНЛЗ	Улавливание, эвакуация и очистка отходящих и аспирационных газов от пыли	Камера дожигания отходящих газов, осадительная камера, водоохлаждаемый участок газохода, комплекс улавливающих зонтов (укрытий), газоходы, регулирующие заслонки, искрогаситель, сборный коллектор, фильтр, выгрузка пыли
Электрофильтры	Улавливание пыли отходящих технологических газов	Эффективность очистки – до 95–99 %. Остаточная запыленность – до 30 мг/нм^3

Окончание таблицы 2.26

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
Тканевые (рукавные) фильтры	Очистка от пыли отходящих технологических газов. Очистка от пыли аспирационного воздуха	Эффективность очистки от тонкой пыли – до 99,5 %, остаточная запыленность – до 10 мг/м^3
Тканевые фильтры с комбинированными сорбционными процессами	Очистка технологических газов от тонкой пыли и газов SO_x, HCl, HF, ПХДД/Ф	Тип – AIRFINE, SIMETALMEROS Выбросы SO_x сокращаются на 30–90 %
Скрубберы мокрые	Улавливание пыли отходящих технологических газов с помощью воды	Тип – скрубберы оросительные, скрубберы с трубой Вентури, скрубберы AIRFINE. Остаточная запыленность – от 40 до 80 мг/нм^3
Водоочистные сооружения	Очистка воды, используемой для охлаждения технологического оборудования ДСП и МНЛЗ. Отведение образующихся на пылегазоочистках шламов	Комплекс оборудования, включающий отстойники, осветлители и фильтры, устройства для химической обработки воды

2.5.9 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание

По всей технологической цепочке производства стали в дуговых печах и заготовок в местах выгрузки сырья, складирования, подготовки компонентов шихты на различном оборудовании, выплавки, внепечной обработки и разливки, транспортировки отходов производства и готовой продукции имеют место организованные и неорганизованные выбросы (эмиссии) загрязняющих веществ в виде пыли, газов, а также образование отходов.

Материальные потоки, характерные основные эмиссии по стадиям технологического процесса при производстве стали в дуговых печах и заготовок представлены в таблице 2.27.

Таблица 2.27 – Перечень материальных потоков и эмиссий

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Шихтовые компоненты плавки стали в ДСП	Подготовка твердой металли-ческой шихты	Твердая металлическая шихта	Мостовые краны с магнитно-грейферным перегружателем	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO; шум

Продолжение табицы 2.27

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Твердая металлическая шихта	Завалка твердой металли-ческой шихты в ДСП	Твердая шихта в ДСП	Бадья	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, SiO_2, CaO, MgO, MnO; шум
ДСП с загруженной металлошихтой	Выплавка стали в ДСП	Расплав, газообразные продукты плавки CO, CO_2, пыль, жидкий шлак	ДСП с системой подачи кислорода, шлакообразующих и газоотводящего тракта	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, CaO, MgO, MnO, ZnO; газовые компоненты: NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2, бенз(а)пирен; Тепловое излучение, шум, вибрация, электромагнитное загрязнение
Расплав	Окончание плавки, выпуск расплава в сталеразли-вочный ковш. Раскисление, присадка ферросплавов и других добавочных материалов	Расплав в сталеразливочном ковше	ДСП, сталеразли-вочный ковш	Взвешенные вещества-состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, CaO, MgO, MnO, ZnO; газовые компоненты: NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2, бенз(а)пирен; тепловое излучение, шум, вибрация

Продолжение табицы 2.27

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Расплав в сталеразливочном ковше	Внепечная обработка жидкой стали (агрегат «ковш-печь», вакууматор). Раскисление, присадка ферросплавов и других добавочных материалов	Сталь в ковше заданного химического состава	Агрегат «ковш-печь», вакууматор	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, CaO, MgO, MnO, ZnO; газовые компоненты:NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2, бенз(а)пирен; тепловое излучение, шум, вибрация, электромагнитное загрязнение
Сталь в ковше заданного химического состава	Разливка стали на МНЛЗ	Непрерывно-литые заготовки требуемого химического состава и заданного размера	МНЛЗ, резаки	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, CaO, MgO, MnO, ZnO; тепловое излучение, шум, вибрация
Непрерывно-литые заготовки требуемого химического состава и типоразмера	Обработка непрерывно-литых заготовок	Непрерывно-литые заготовки, годные к отгрузке	Оборудование для обработки заготовок	Тепловое излучение, шум, выделения от огневой зачистки
Сталеплавильные шлаки	Охлаждение и переработка сталепла-вильных шлаков	Переработанные шлаки	Оборудование для переработки шлаков	Взвешенные вещества-состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, CaO, MgO, MnO; тепловое излучение, шум

Окончание табицы 2.27

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Стенды сушки и разогрева сталеразливочных ковшей	Нагрев футеровки стальковша	Стальковш, готовый к работе	Стенд сушки и разогрева футеровки	Фенолы (в отсутствие комплекса дожигания выделяющихся продуктов); газовые компоненты: NO, NO_2, CO, CO_2 (при дожигании выделяющихся продуктов)

Неорганизованные выбросы возникают при транспортировке, выгрузке сырья, при хранении пылящих твердых материалов на открытых складах, при дроблении компонентов шихты, транспортировании материалов на открытых конвейерах, выбросов от агрегатов в технологических процессах при отсутствии или недостаточной герметичности укрытий, утечках из фланцев, насосов, вентиляторов.

2.5.10 Факторы негативного воздействия на окружающую среду

Факторами негативного воздействия на окружающую среду являются следующие.

Выбросы в атмосферу

При производстве стали в электродуговых печах имеют место неорганизованные и организованные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ: с твёрдыми компонентами – Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, MgO, MnO, ZnO; газообразными компонентами – NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2, фенолами, формальдегидами от стендов сушки и разогрева ковшей в отсутствие комплекса дожигания продуктов, выделяющихся при разогреве стальковшей.

Сточные воды

В электросталеплавильном производстве используется химически очищенная вода для охлаждения водоохлаждаемых сводов и стен дуговых печей, а также элементов МНЛЗ.

При наличии мокрых систем газоочистки используется оборотная вода.

Водоснабжение осуществляется по специальным водооборотным системам с охлаждением воды (см. рисунок 2.60).



Рисунок 2.60 – Водооборотная система в ЭСПЦ с двумя печами ДСП-180

Отходы и побочные продукты

В процессе электросталеплавильного производства образуются отходы и побочные продукты: пыль сухих газоочисток с различных участков, в том числе графитная, просыпь шихтовых и заправочных материалов, шламы мокрых газоочисток, отходы электродов и абразивных кругов, окалина, отходы футеровок ДСП и ковшей.

Производственные отходы преимущественно утилизируются.

Вредные производственные факторы

При производстве электростали и заготовок для проката вредными производственными факторами являются:

- повышенное напряжение в электрической цепи свыше 50 В;
- движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная температура поверхности оборудования и материалов;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли;
- повышенный уровень инфракрасного излучения свыше 140 Вт/м^2;
- повышенный уровень производственного шума на рабочем месте свыше 80 дБ;
- повышенная загазованность и запылённость неорганической пылью (ПДК окиси углерода – 20 мг/м^3, неорганической пылью – 6 мг/м^3).

2.6 Производство стали в мартеновских печах

Первая мартеновская печь была создана в 1864 г. и до середины XX века производство стали мартеновским способом являлось преимущественным техническим решением. Начиная с 70-х годов новые мартеновские печи в мире больше

не строятся, в объеме мирового производства стали к началу XXI века на мартеновскую сталь приходилось немногим более 2 %.

В металлургической отрасли России объем выплавки стали в мартеновских печах составляет около 2 %. Характеристика действующих (по состоянию на 2020 г.) мартеновских печей представлена ниже [69]:

Предприятие	Мощность, тыс. т	Число агрегатов	Тип
ПАО «ММК»	1155	1	ДСА*
АО «Гурьевский металлургический завод»	210	2	мартен
АО «Омутнинский металлургический завод»	180	2	ПТСА**
АО «Петросталь»	350	1	мартен

* ДСА – двухванный сталеплавильный агрегат.

** ПТСА – политопливный сталеплавильный агрегат.

В мартеновских печах выплавляется широкая номенклатура марок сталей: углеродистая обыкновенного качества, углеродистая конструкционная, автоматная, подшипниковая, электротехническая, легированная, рессорно-пружинная, инструментальная, сталь со специальными требованиями.

Мартеновские печи как и технология мартеновской плавки в последние 20 лет подверглись существенной модернизации и совершенствованию с включением приемов энергосбережения, ковшевой металлургии, разливки стали на МНЛЗ, современных газоочистных устройств и организацией локальных водооборотных циклов.

2.6.1 Технологический процесс производства стали в мартеновской печи

Мартеновская печь представляет собой сооружение из огнеупорного материала (кирпича), схематическое устройство которой показано на рисунке 2.61.

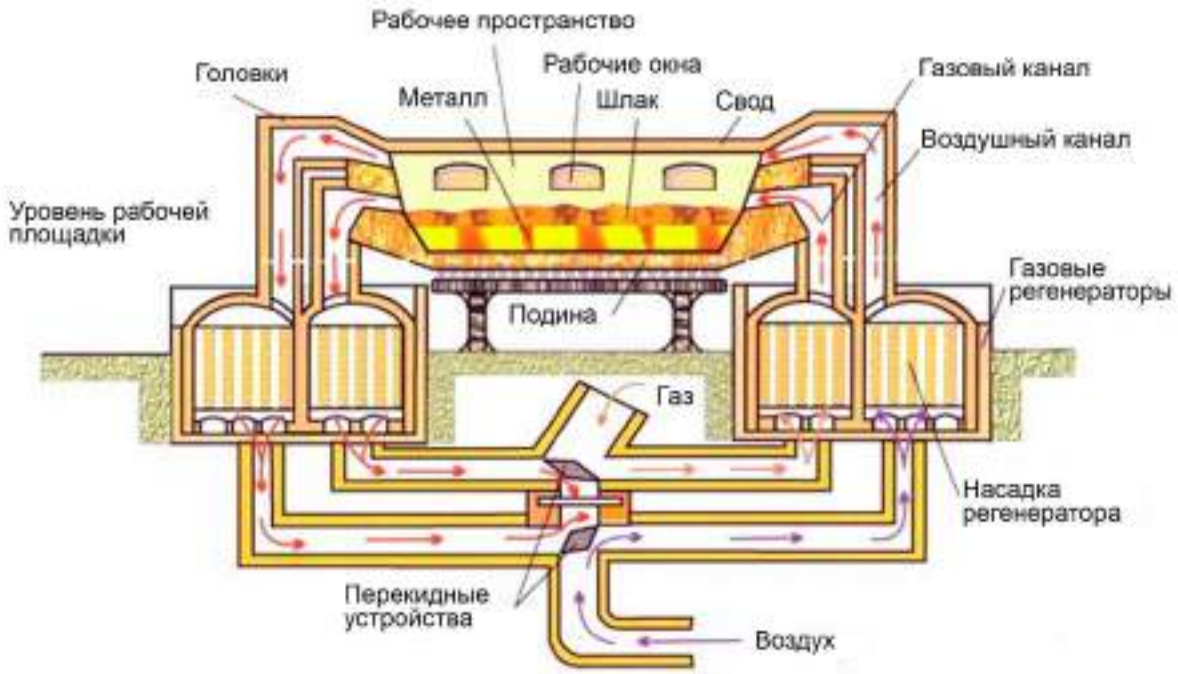


Рисунок 2.61 – Схема устройства мартеновской печи

Мартеновская печь по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью.

Современная мартеновская печь представляет собой вытянутую в горизонтальном направлении камеру, сложенную из огнеупорного кирпича. Рабочее плавильное пространство ограничено снизу подиной, сверху сводом, а с боков передней и задней стенками. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи.

Современные мартеновские печи (политопливные сталеплавильные агрегаты) оборудованы подиной из новых набивных материалов с использованием технологии скрытой донной продувки азотом по технологии VVS [70]

Новая конструкция подины предусматривает изготовление трёх продувочных зон, выполненных из специальной набивной массы с высокой газопроницаемостью, заключённых в керамические чаши. Через продувочные зоны в ходе плавки поддерживается расход азота от 10 до 70 дм^3 в час. Подача азота производится как в автоматическом (по специальной программе), так и в ручном режиме. Данное мероприятие позволило получить дополнительный прирост объема выплавки стали за счет сокращения горячих простоев мартеновской печи, увеличения садки и сокращения длительности плавки.

Задняя и передняя стенки мартеновской печи работают (особенно в нижней части) почти в тех же условиях, что и подина, так как они также соприкасаются с жидким металлом и шлаком.

В передней стенке имеются загрузочные окна для подачи (завалки) шихты и шлпкообразующих материалов, а в задней – отверстия для выпуска готовой стали и шлака. Обычно завалочные окна закрыты специальными футерованными крышками с отверстиями (гляделками), через которые ведется наблюдение за ходом плавки и состоянием печи (рисунок 2.62).



Рисунок 2.62 – Передняя стенка мартеновской печи, загрузочные окна с гляделками

С обоих торцов плавильного пространства расположены головки печи (газовый и воздушный каналы), которые служат для смешивания топлива с воздухом и подачи этой смеси в плавильное пространство. Головки должны обеспечить:

- хорошую настильность факела по всей длине ванны (чтобы максимум тепла передать ванне и минимум – своду и стенкам);
- минимальное сопротивление при отводе продуктов сгорания из рабочего пространства печи;
- хорошее перемешивание топлива и воздуха для полного сжигания топлива в рабочем пространстве печи.

В качестве топлива в мартеновской печи применяют природный газ, мазут. На современных мартеновских печах (в том числе в политопливных сталеплавильных агрегатах) применяют политопливные горелки с многоступенчатой подачей топлива и окислителя с автоматическим регулированием их расходов, позволяющие с высокой эффективностью применять различные виды жидкого и газообразного топлива в различных сочетаниях (от 5 % доли мазута, до 100 %).

Для подогрева воздуха и газа печь имеет два регенератора. Регенератор представляет собой камеру, в которой размещена насадка (огнеупорный кирпич).

Отходящие от печи газы имеют температуру 1500…1600 ^{0}С. Попадая в регенератор, газы нагревают насадку до температуры 1250 ^{0}С…1400 ^{o}С и охлаждаются, затем через очистные устройства (шлаковики), служащие для отделения частиц шлака и пыли, и котел-утилизатор (при наличии) боровом отводятся в дымовую трубу. Высота дымовых труб современных крупных мартеновских печей превышает 100 м.

Через нагретый регенератор подают воздух, который проходя через насадку, нагревается до 1200 $^\circ$С и поступает в головку печи, где смешивается с топливом, на выходе из головки образуется факел, направленный на поверхность шихты. Температура факела пламени достигает 1800 $^\circ$С.

Мартеновская печь – агрегат реверсивного действия, в котором направление движения газов по системе печи периодически меняется. Для этого в боровах, а также в газопроводах и воздухопроводах устанавливают систему шиберов,

клапанов, дросселей, задвижек, объединяемых общим названием «перекидные клапаны».

После охлаждения насадки регенератора переключают клапаны, и поток газов в печи изменяет направление. Переключение клапанов, регулирующих направление факела горения, происходит автоматически через 8–20 мин.

Продолжительность плавки составляет 3…6 часов, для крупных печей – до 12 часов.

Печи работают непрерывно до остановки на капитальный ремонт (примерно 400…600 плавок).

В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают разновидности мартеновского процесса:

- скрап-процесс, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа) и 25…45 % чушкового передельного чугуна, процесс применяют на заводах, где нет доменных печей, но много металлолома (в современных шихтах доля металлического лома увеличена до 90 %);
- скрап-рудный процесс, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (55…75 %), скрапа и железной руды, процесс возможен на металлургических заводах, имеющих доменные печи.

В зависимости от состава огнеупорных материалов подины печи мартеновский способ выплавки стали может быть основ́ным (в составе огнеупора преобладают CaO и MgO) и кислым (подина состоит из SiO_2). В России наиболее распространен основной мартеновский процесс.

Технологический процесс выплавки стали в мартеновской печи осуществляется в комплексе агрегатов и оборудования, который включает:

- скрапной двор (с кранами-перегружателями для разгрузки и усреднения металлошихты);
- шихтовое отделение с бункерами для загружаемых в печь материалов;
- мартеновскую печь с механизмами загрузки сырья и выдачи продуктов плавки;
- установки внепечной обработки стали (УКП, вакууматор);
- машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ);
- системы газоочистки;
- оборудование для охлаждения и переработки шлака (для получения щебня и другой продукции).

Процесс выплавки стали в мартеновской печи (ПТСА) иллюстрируется схемой (рисунок 2.63).

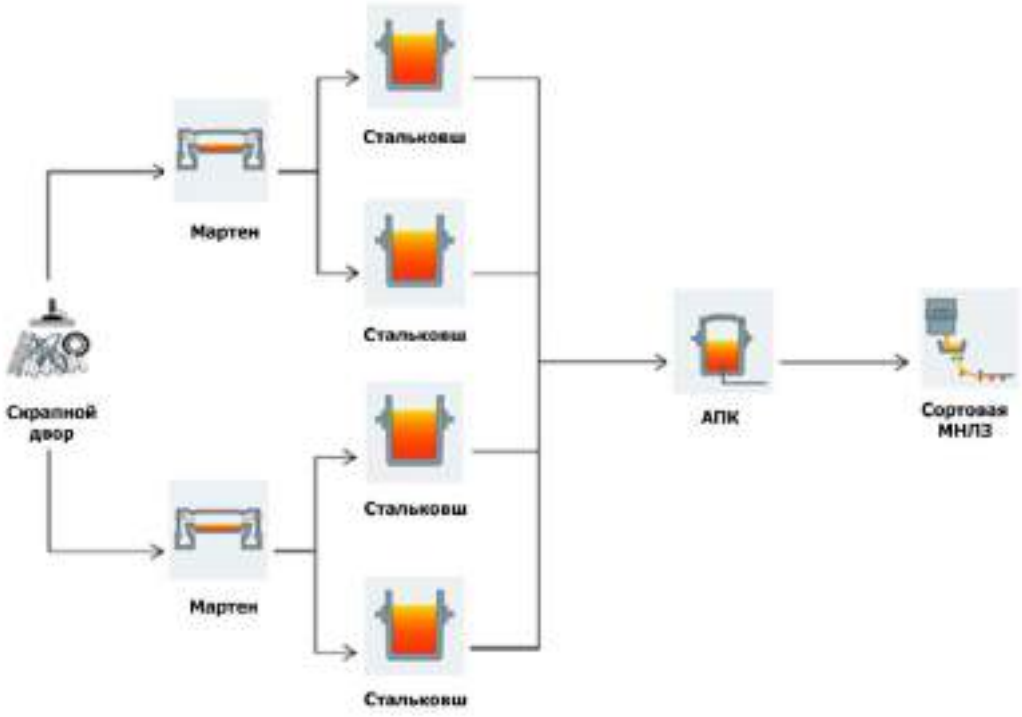


Рисунок 2.63 – Принципиальная схема выплавки стали в мартеновской печи

Основные подпроцессы (операции) в технологии выплавки стали в мартеновской печи аналогичны технологиям выплавки стади в конвертерах или электросталеплавильных агрегатах и включают:

- подготовительные операции (подготовку печи и ковшей; подготовку металлической части шихты, а также шлакообразующих компонентов шихты);
- завалку шихты в печь;
- плавку шихты (в том числе процесс обезуглероживания);
- выпуск металла из печи;
- раскисление и легирование стали (полупродукта);
- внепечную обработку;
- разливку стали на МНЛЗ.

Завалка шихты. Сыпучие шихтовые материалы (руду, известняк, скрап) загружают обычно первыми и каждый слой отдельно прогревают. На подину принято сначала засыпать железную руду, потом известняк и сверху стальной лом. Все эти материалы подвозят к печам на железнодорожных платформах в мульдах.

Прогрев и расплавление шихты. Одновременно с прогревом шихты начинается окисление примесей. К моменту расплавления шихты почти полностью окисляется кремний, часть марганца, фосфора и частично углерод. В период плавления образуется значительное количество FeO ввиду окислительного характера факела (коэффициент избытка воздуха больше 1). Образующийся оксид железа (II), растворяясь в шлаке, окисляет примеси.

Окисление углерода в еще не прогретой ванне вызывает вспенивание шлака. Этим пользуются для удаления из печи самотеком через пороги загрузочных окон части

первичного шлака, содержащего значительное количество фосфора и кремнезем. К концу плавления шихты известняк диссоциирует, образуя известь, и растворяется в шлаке.

Период доводки (процесс выплавки полупродукта). После расплавления шихты начинается период доводки металла, который заключается в доведении полупродукта до нужного базового химического состава и температуры выпуска. Взаимодействуя с факелом, образовавшийся в ванне мартеновской печи шлак, интенсивно перемешиваемый тепловыми потоками и выделяющимся из металла газом, передает ванне тепло и кислород. Интенсификация процесса достигается при помощи скрытой донной продувки VVS. Готовность заданной плавки стали определяют взятием пробыи экспресс-анализом в цеховой лаборатории

Раскисление металла. После доводки металла проводится раскисление. Раскисление стали в ванне мартеновской печи проводят ферромарганцем и/или ферросилицием. Кремний ферросилиция, взаимодействуя с оксидом железа (II), образует сложные силикаты железа с низкой температурой плавления, которые переходят в шлак. В некоторых случаях раскиление ведут в сталеразливочном ковше после выпуска металла.

Выпуск стали. После этого сталь начинают выпускать из печи, завершают раскисление в ковше ферросилицием (45 % или 75 % Si) и вводят небольшое количество более сильного восстановителя, обычно алюминия или силикоалюминия.

На выпуске шлак скачивается из сталеразливочного ковша в шлаковую чашу, установленную под носком ковша.

После выпуска сталеразливочный ковш помещают в стенд для удаления шлака методом выдавливания.

Внепечная обработка стали осуществляется в агрегате «ковш-печь», где металл нагревается за счет тепла электрических дуг, при этом непрерывно продувается инертным газом (аргон), который подводится через продувочные пробки, находящиеся в днище сталеразливочного ковша, Обработка стали в агрегате «ковш-печь» предназначена для:

- усреднения расплава по химическому составу и температуре путем перемешивания за счет продувки расплава инертным газом;
- раскисления металла основным шлаком и удаление неметаллических включений путем поглощения их шлаком;
- защиты инертным газом поверхности расплава от окисления;
- доведения химического состава металла до заданного;
- дегазации и десульфурации;
- модифицирования неметаллических включений (в том числе порошковой проволокой при помощи 4-х ручьевого трайб-аппарата).

Ферросплавы и вспомогательные материалы подают в ковш, используя систему подачи сыпучих на установке «печь-ковш» (после предварительной сушки в сушильном барабане).

Разливка стали на МНЛЗ. Машина непрерывного литья заготовок оборудована:

- промежуточным ковшом (промковшом), снабженным дозаторами для организации струи металла и перегородками, турбостопами и т. д. для рафинирования металла от неметаллических включений;
- подъемно-поворотным стендом с независимым приводом подъема рычагов;
- гидравлическими механизмами качания;
- системой электромагнитного перемешивания на уровне кристаллизаторов;
- кристаллизатором (ами);
- гидравлическими ножницами с диагональным резом;
- рольгангом.

В зависимости от марки разливаемой стали, возможны два варианта разливки:

- разливка открытой струей через стаканы-дозаторы промковша;
- разливка защищенной струей с использованием стопоров и погружных стаканов.

После разливки на МНЛЗ конечный шлак сливается из сталеразливочного ковша в шлаковую чашу, установленную в цехе.

Процессы ведения плавки в современной мартеновской печи в значительной мере автоматизированы.

Внедрена автоматизированная система управления тепловой работой мартеновских печей с наглядной визуализацией процесса, позволяющая сталевару выбирать необходимый тепловой режим.

Разработана система автоматического управления тепловым режимом мартеновской печи. Для этого в сборном борове установлен газоанализатор с возможностью получения и передачи в АСУ ТП печи в режиме реального времени данных по концентрации O_2 и CO в дымовых газах. Полученные сигналы являются обратной связью для системы автоматики подачи природного газа и вентиляторного воздуха для поддержания надлежащего коэффициента избытка воздуха α в рабочей зоне.

Измерение концентрации кислорода и оксида углерода в режиме реального времени с последующим жестким сдерживанием α в узком рабочем диапазоне обеспечивает следующие преимущества выплавке стали в мартеновской печи:

- снижение выбросов CO и NOx в атмосферу (оксида углерода – как следствия четкой организации режима горения, оксидов азота – за счет снижения количества свободного кислорода в рабочем пространстве);
- экономию топлива;
- повышение стойкости элементов оборудования печи (снижение вероятности перегрева регенераторов, перекидных клапанов) и дополнительная защита от «человеческого фактора»);
- возможность оценки усвоения расплавленной сталью твердых углеродсодержащих материалов;
- реализацию автоматизированного расчета КПД печи в режиме реального времени.

2.6.2 Основное технологическое и природоохранное оборудование

Назначение, описание, технологические характеристики основного оборудования, используемого при производстве стали в мартеновских печах, приведены в таблице 2.28.

Таблица 2.28 – Основное технологическое оборудование, используемое при производстве стали в мартеновских печах

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Магнитно-грейферные краны	Разгрузка вагонов, на склад сырья, перегрузка, забор сырья	Грейферные краны: козловые, мостовые
Мульдомагнитный кран	Загрузка габаритного лома в мульды	
Железнодорожные платформы, лафеты	Транспортировка шлаковых чаш	Эвакуация шлака из цеха на участок переработки шлаков
Электромостовые краны	Перемещение грузов	Кран мостового типа
Тележки погрузочно-разгрузочные	Прием и доставка материалов	Прием и доставка материалов
Бункеры, питатели, весовые дозаторы	Хранение и дозирование шихтовых материалов	Хранение и дозирование компонентов (ферросплавы, легирующие, раскислители)
Сушильные барабаны, прокалочные печи	Сушка и прокалка материалов и ферросплавов перед подачей в печь на плавку	Сушка и прокалка материалов и ферросплавов перед подачей в печь на плавку для предотвращения насыщения жидкой стали водородом
Завалочные мульды	Завалка металлошихты в мартеновскую печь	
Мульдозавалочная машина напольная	Загрузка материалов в печь	Напольного типа
Мульдозавалочная машина крановая	Загрузка материалов в печь	Кранового типа
Мостовой разливочный кран разливочного пролета	Транспортировка сталеразливочного ковша	Транспортировка сталеразливочного ковша (со сталевоза) на разливочный стенд и обратно
Мартеновская печь	Выплавка стали	Выплавка стали из металлической шихты
Трайб-аппараты	Порционное дозирование легирующих	Оборудование для обработки металла в сталеразливочном ковше и в составе агрегата «печь-ковш»
Сталевоз	Перемещение сталеразливочного ковша	Перемещение сталеразливочного ковша из печного в разливочный пролет

Окончание таблицы 2.28

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Сталеразливочный ковш	Прием и перемещение выплавленной стали	Цилиндрическая емкость, футерованная огнеупорными материалами для приема жидкой стали
Стенд сушки и разогрева футеровки сталеразливочных ковшей вертикальный	Сушка и разогрев футеровки стальковшей после ее сборки	Стенд с крышкой, в которой установлена газовоздушная или газокислородная горелка. Ковш на стенде стоит вертикально.
Стенд сушки и разогрева футеровки сталераз-ливочных ковшей горизонтальный	Разогрев футеровки стальковшей во время эксплуатации	Подвижная тележка, которая со стальковшом подъезжает к крышке. В крышке установлена газовоздушная или газокислородная горелка. Ковш на тележке лежит горизонтально.
Шлаковая чаша	Прием и транспортировка шлака	Чугунная емкость объемом до 16 м^3
Агрегат «ковш-печь»	Внепечная обработка жидкой стали	Стационарный стенд с системой электродов и бункеров с сыпучими материалами для обработки стали
МНЛЗ	Разливка жидкой стали	Комплекс оборудования, включающий подъемно-поворотный стенд, промежуточный ковш, кристаллизатор, зону вторичного охлаждения, тянуще-правильный агрегат, резаки, рольганг

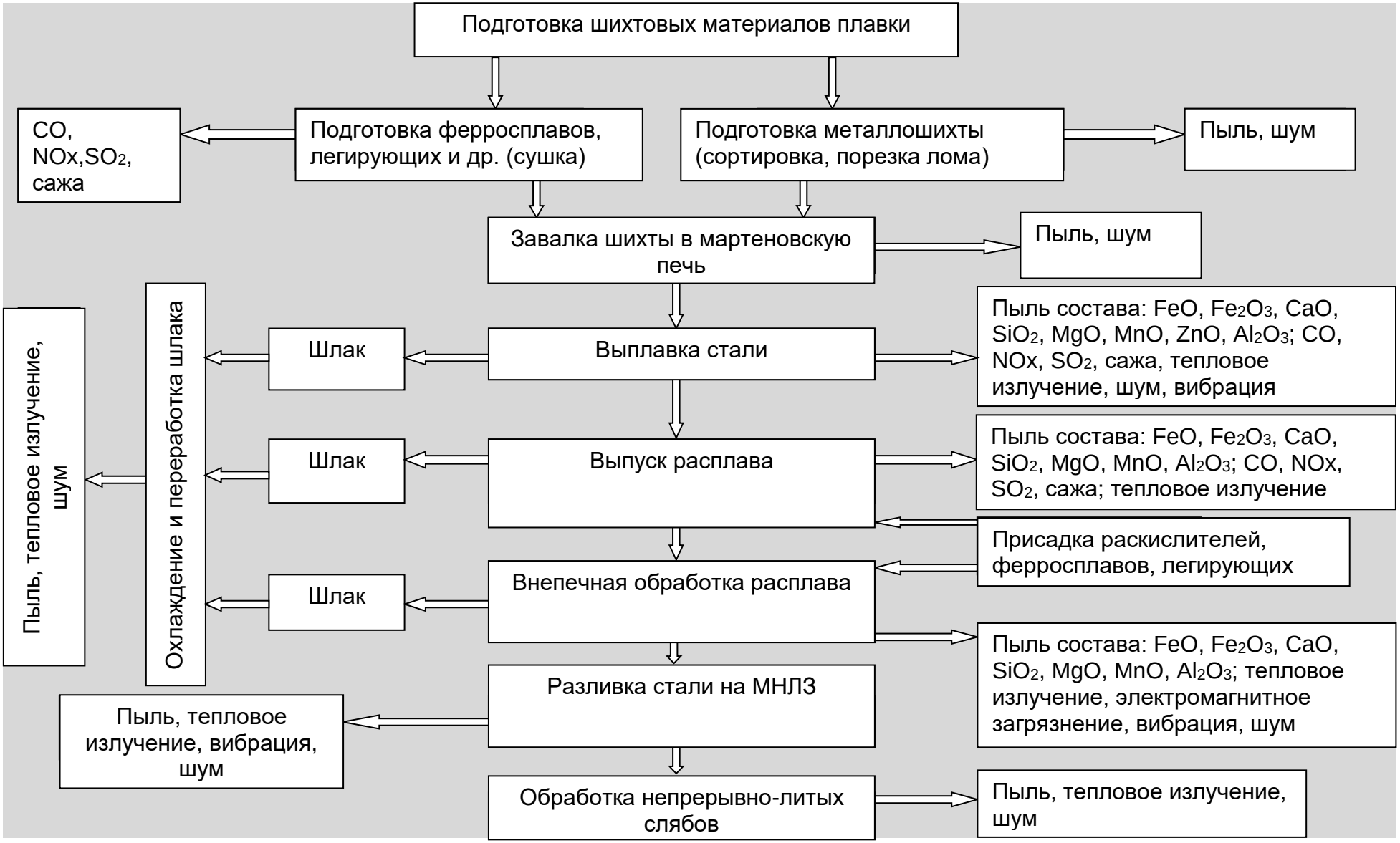


Рисунок 2.64 – Схема технологических процессов выплавки стали в мартеновской печи и образующиеся эмиссии в окружающую среду

Основное природоохранное оборудование

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду процесса производства стали в мартеновских печах на технологических участках и в отделениях устанавливается природоохранное оборудование:

- газоочистное и аспирационное оборудование, обеспечивающее необходимый уровень очистки технологических газов и аспирационного воздуха от содержащихся в них загрязняющих веществ перед отводом газов или воздуха в атмосферу;

- водоочистные сооружения, обеспечивающие очистку загрязнённых промышленных сточных вод.

Назначение, описание, технологические характеристики природоохранного оборудования, используемого при производстве стали в мартеновских печах, приведены в таблице 2.29.

Таблица 2.29 – Назначение и описание природоохранного оборудования, используемого при производстве стали в мартеновских печах

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
Шлаковики	Улавливание пыли и частиц шлака дымовых газов мартеновской печи	Эффективность очистки – до 80–90 %.
Циклоны (горизонтальные и вертикальные)	Улавливание пыли и обеспыливание	Используются, как правило, в комплексе с рукавным фильтром с функцией искрогасителя
Тканевые (рукавные) фильтры	Очистка от пыли отходящих технологических газов (дымов); очистка от пыли аспирационного воздуха	Эффективность очистки от тонкой пыли – до 99,5 %, остаточная запыленность – до 10 мг/м^3
Скрубберы мокрые	Улавливание пыли отходящих технологических газов (дымов)	Тип – скрубберы оросительные, скрубберы с трубой Вентури. Остаточная запыленность – от 40 до 80 мг/нм^3
Электрофильтры	Улавливание пыли отходящих технологических газов (дымов)	Эффективность очистки – 95–99 %. Остаточная запыленность – 30–50 мг/нм^3
Водоочистные сооружения	Обработка воды, используемой для охлаждения технологического оборудования печи и МНЛЗ; очистка воды мокрых систем газоочисток; отведение образующихся на пылегазоочистках шламов	Комплекс оборудования с градирнями и прудами-охладителями; комплекс оборудования, включающий отстойники, осветлители и фильтры, устройства для химической обработки воды, обработки осадка

2.6.3 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание

По всей технологической цепочке производства стали в мартеновской печи в местах выгрузки сыпучих шихтовых компонентов, выплавки, внепечной обработки и разливки стали, охлаждения и переработки шлака имеют место организованные и неорганизованные выбросы (эмиссии) загрязняющих веществ в виде пыли, газов, а также образование отходов (рисунок 2.64).

Материальные потоки, характерные основные эмиссии по стадиям технологического процесса при производстве стали в мартеновской печи представлены в таблице 2.30.

Таблица 2.30 – Перечень материальных потоков и эмиссий

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Шихтовые компоненты плавки стали в мартеновской печи	Подготовка твердой металлической шихты	Твердая металлическая шихта (чугун, лом, скрап, стружка)	Мульды	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, ZnO, шум
	Подготовка сыпучих компонентов шихты, загрузка в бункера	Сыпучие (известняк, доломит, окатыши, ферросплавы, легирующие)	Бункера	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, CaCO3, MgCO3
	Сушка легирующих компонентов и ферросплавов	Легирующие компоненты и ферросплавы	Сушильный барабан, печь	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO; газовые компоненты: CO, NOx, SO_2
Твердая металлическая шихта, шлакообразующие	Завалка твердой металли-ческой шихты в мартеновскую печь	Твердая шихта в печи	Мульды	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO; газовые компоненты CO, SO_2, NOx; шум

Продолжение таблицы 2.30

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Печь с загруженной металлошихтой и шлакообразующими	Выплавка стали	Расплав, газообразные продукты плавки CO, CO_2, пыль, жидкий шлак	Мартеновская печь с системой газо-мазутных горелок, регенераторами и газоотводящим трактом	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, ZnO; газовые компоненты: NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2, сажа; тепловое излучение, шум, вибрация
Расплав	Окончание плавки, выпуск расплава в сталеразливочный ковш. Раскисление, присадка ферросплавов и других добавочных материалов	Расплав в сталеразливочном ковше	Мартеновская печь, сталеразливочный ковш	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, ZnO; Газовые компоненты:NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2, тепловое излучение, шум
Расплав в сталеразливочном ковше	Внепечная обработка жидкой стали (агрегат «ковш-печь»). Раскисление, присадка ферросплавов и других добавочных материалов	Сталь в ковше заданного химического состава	Агрегат «ковш-печь»	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, ZnO; газовые компоненты:NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2; тепловое излучение, шум, вибрация, электромагнитное загрязнение

Окончание таблицы 2.30

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Сталь в ковше заданного химического состава	Разливка стали на МНЛЗ	Непрерывно-литые заготовки требуемого химического состава и заданного размера	МНЛЗ, резаки	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO,SiO_2, MgO, MnO; тепловое излучение, шум, вибрация
Непрерывно-литые заготовки требуемого химического состава и типоразмера	Обработка непрерывно-литых заготовок	Непрерывно-литые заготовки, годные к отгрузке	Оборудование для обработки заготовок	Тепловое излучение, шум, выделения от огневой зачистки (если применимо)
Сталеплавильные шлаки	Охлаждение и переработка сталеплавильных шлаков	Переработанные шлаки	Оборудование для переработки шлаков (дробление, магнитная сепарация, фракциони-рование)	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO; тепловое излучение, шум
Стенды сушки и разогрева сталеразливочных ковшей	Нагрев футеровки стальковша	Стальковш готовый к работе	Стенд сушки футеровки стальковша; Стенд сушки и разогрева футеровки стальковша с системой дожигания	Фенолы (в отсутствие комплекса дожигания выделяющихся продуктов); газовые компоненты: NO, NO_2, CO, CO_2 (при дожигании выделяющихся продуктов)

2.6.4 Факторы негативного воздействия на окружающую среду

Выбросы в атмосферу

При производстве стали в мартеновских печах в различных технологических операциях имеют место неорганизованные и организованные выбросы в атмосферу загряняющих веществ с твёрдыми компонентами (взвешенные вещества) состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, ZnO; и газообразными компонентами – NO_2, NO, SO_2, CO, CO_2,

В газах, выходящих из рабочего пространства мартеновской печи, содержится пыли 20–4,5 г/м³ (при продувке ванны кислородом количество пыли возрастает почти в десять раз).

Эвакуация и оседание пыли из отходящих от мартеновской печи дымовых газов (по существу – очистка от пыли) осуществляется в совокупности устройств самой печи: регенераторах, шлаковиках, котле-утилизаторе (при наличии), борове.

В шлаковиках оседает 50–75 % плавильной грубодисперсной пыли, более мелкие фракции при отсутствии очистного аппарата уносятся в трубу; 10–25 % пыли оседает в насадках регенераторов. В шлаковиках должна умещаться вся плавильная пыль, удаляющаяся из печи.

Современные мартеновские печи оснащаются очистными устройствами с использованием, как правило, электрофильтров. Дополнительные агрегаты ковшовой металлургии, введенные в эксплуатацию сранительно недавно, оборудованы совершенными очистными устройствами (комплекс «циклон (искрогаситель) – рукавный фильтр или рукавный фильтр»).

Неорганизованные выбросы возникают при транспортировке, выгрузке сыпучих материалов плавки, при дроблении и сепарации шлака, выбросов от агрегатов в технологических процессах при отсутствии или недостаточной герметичности укрытий. Поэтому для сокращения неорганизованных выбросов столь эффективны меры по герметизации печи и газоотводящего тракта. Для управления эмиссиями из мартеновской печи применима регулировка давления в рабочем пространстве печи (нагрузкой на дымосос).

Сточные воды

Ряд элементов печи, контактирующий с нагретыми средами (горячими газами), нуждается в непрерывном охлаждении.

Современные большие мартеновские печи требуют для охлаждения более 400 м³ воды/ч. Для уменьшения расхода воды водяное охлаждение ряда элементов печи заменяют испарительным. Если применять не техническую, а химически очищенную воду, то можно, не боясь выпадения осадка (накипи), нагревать её до 100 °С и выше. Таким образом расход воды можно сократить почти в 30 раз, кроме того, на больших печах получают при этом некоторое количество пара (до 10 т/ч), который может быть использован для отопления и горячего водоснабжения.

Существует также так называемое «горячее» охлаждение печей. Система горячего охлаждения технологически мало отличается от обычного способа охлаждения обычной производственной водой. Через охлаждаемые элементы печи вместо обычной производственной воды с температурой 15–30 °С пропускают химически очищенную теплофикационную воду из оборотной теплофикационной сети с температурой 50–80 °С, которая, пройдя охлаждаемые элементы печи и подогревшись в них на 20–30 °С, возвращается обратно в теплофикационную сеть, где передаёт полученное тепло потребителю.

Загрязненые сточные воды образуются при очистке газов в мокрых системах газоочистки, и как правило, функционируют в локальных оборотных циклах.

В настоящее время доля оборотного водоснабжения в мартеновских цехах составляет 70–85 %, в том числе значительная часть ливневых стоков с площадки завода используется в цикле оборотного водоснабжения.

Отходы и побочные продукты

В процессе производства стали в мартеновских печах образуются следующие виды отходов и побочных продуктов: пыль сухих газоочисток с различных участков, просыпь шихтовых и заправочных материалов, шламы мокрых газоочисток, отходы электродов (от ковша-печи), скрап, отходы футеровок печи и ковшей, сталеплавильный шлак.

Отходы производства, как правило, применяются в хозяйственном обороте. Современные мартеновские цехи располагают комплексами по переработке сталеплавильных шлаков, включая дробление, отделение металла, сортировку по фракциям и отгрузку потребителям (используется для отсыпки дорог). Металл возвращается в сталеплавильный агрегат, что повышает выход годной стали.

В целях снижения образования отходов футеровки внедряются новые технологии кладки регенераторов мартеновской печи и состав огнеупорного кирпича: применение высокоглинозёмистого кирпича с низким (менее 1,5 %) содержанием Fe_2O_3 и температурой начала размягчения более 1500 ºС в верхних 20-ти рядах насадки мартеновской печи позволило увеличить срок службы насадки с 230 до 450 плавок.

2.7 Производство ферросплавов

Ферросплавы – это сплавы железа с кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом и другими элементами, применяемые в производстве стали для улучшения ее свойств и легирования [71–76]. Ферросплавы, содержащие более трех ведущих элементов (металлов), называют комплексными сплавами или лигатурами.

Кроме лигатур, различают ферросплавы – модификаторы, которые отличаются от лигатур назначением. Модификаторы обладают свойством модифицировать (видоизменять) структуру обработанного ими металла или сплава (например, измельчать зерно стали или сплава и т. п.).

2.7.1 Общие сведения о процессах производства ферросплавов

Ферросплавы получают восстановлением оксидов соответствующих металлов. Для получения любого сплава необходимо выбрать подходящий восстановитель и создать условия, обеспечивающие высокое извлечение ценного (ведущего) элемента из перерабатываемого сырья.

Восстановителем может служить элемент, обладающий более высоким химическим сродством к кислороду, чем элемент, который необходимо восстановить из оксида, т. е. восстановителем может быть элемент, образующий химически более прочный оксид, чем восстанавливаемый элемент.

Процессы, в которых ферросплавы получают за счет восстановления одного металла другим, называются металлотермическими [71].

Для производства ферросплавов с минимальным содержанием углерода применяют или силикотермический процесс (восстановителем является кремний), или алюмотермический процесс (восстановителем является алюминий), или комбинированный алюмосиликотермический процесс.

При силикотермическом способе применяются рафинировочные печи небольшой мощности. Алюмотермический процесс осуществляют в плавильных горнах (внепечной процесс).

Процессы, в которых ферросплавы получают за счет восстановления металла из оксида углеродом, называются углетермическими (углеродотермическими, углевосстановительными, карботермическими).

Выделяют следующие основные способы производства ферросплавов, существующие в настоящее время:

- электротермический: подвод энергии для протекания восстановительных реакций производится за счет электроэнергии – рудотермические и рафинировочные печи;

- металлотермический: подвод энергии производится за счет тепла от окисления метала-восстановителя – горны, электроплавильные горны;

- доменный: подвод энергии производится за счет тепла от сжигания углерода кокса кислородом воздуха – доменные печи, вагранки;

- электролитический – способ на основе электролиза растворов (расплавов), содержащих какой-либо ведущий металл, в электролитических ваннах; используется для получения ферросплавов в металлическом виде высокой чистоты (в отличие от огневых металлических ферросплавов с большим содержанием примесей, получаемых в электродуговых печах).

Выделяют группы больших и малых ферросплавов.

Группа больших ферросплавов (крупнотоннажные сплавы) – это ферросплавы, потребление и, соответственно, производство которых измеряется от десятков тысяч до сотен тысяч (миллионов) тонн в год. К числу больших ферросплавов относятся высокоуглеродистые ферромарганец и феррохром, силикомарганец и силикохром, а также ферросилиций и кремний кристаллический, получаемые углеродовосстановительным способом в руднотермических или доменных печах (доменный ферромарганец). Их доля от общего объема производимых в мире ферросплавов превышает 90 %.

Группа малых ферросплавов (малотоннажные ферросплавы) – это ферросплавы, потребление и, соответственно, производство которых измеряется от нескольких тонн до тысяч тонн в год. Ферросплавы малой группы (сплавы с W, Mo, Ti, Zr, Nb, V, B, редкоземельные металлы (РЗМ) и щелочноземельные металлы (ЩЗМ)) получают, как правило, металлотермическими способами.

Количество видов и марок производимых ферросплавов достигает нескольких десятков. В таблице 2.31 приведен перечень основных видов ферросплавов [71–76].

Таблица 2.31 – Основные виды ферросплавов, их назначение и способ получения

Наименование сплава	Назначение	Восстановитель	Способ получения
Крупнотоннажные ферросплавы			
Марганец и его сплавы			
Углеродистый ферромарганец (Mn не менее 75 %, C<7 %)	Раскисление и легирование стали	Углерод	Плавка в доменной или в руднотермической электропечи
Среднеуглеродистый ферромарганец (Mn не менее 85 %, C<1,5 %)	Раскисление и легирование стали	Кремний	Плавка в рафинировочной электропечи
Малоуглеродистый ферромарганец (Mn не менее 85 %, C<0,05 %)	Раскисление и легирование стали	Кремний	Плавка в рафинировочной электропечи
Металлический марганец (95–98 % Mn, 0,2 % C)	Легирование стали и изготовление сплавов в цветной металлургии	Кремний	Плавка в дуговой электропечи, электролиз
Ферросиликомарганец (Mn не менее 60 %, в товарном силикомарганце Si до 25,9 %, в передельном не менее 26,0 %)	Раскисление стали и восстановление оксидов в силикотермических процессах	Углерод	Плавка в руднотермической электропечи
Кремний и его сплавы			
Бедный ферросилиций (содержание кремния 9–29 %)	Раскисление и легирование стали	Углерод	Плавка в доменной или в руднотермической электропечи
Богатый ферросилиций (содержание кремния 45, 65, 75 и 90 %)	Раскисление и легирование стали	Углерод	Плавка в руднотермической электропечи
Кремний кристаллический (кремния до 98 %)	Легирование стали и изготовление сплавов в цветной металлургии	Углерод	Плавка в руднотермической электропечи
Хром и его сплавы			
Углеродистый феррохром (Cr не менее 65 %, 6,5–8 % C)	Легирование стали	Углерод	Плавка в руднотермической электропечи
Среднеуглеродистый феррохром (Cr не менее 65 %, 1–2 % C)	Легирование стали	Кремний	Плавка в рафинировочной электропечи и конвертере
Малоуглеродистый феррохром (Cr не менее 65 %, 0,1–0,5 % C)	Легирование стали	Кремний	Плавка в рафинировочной электропечи и конвертере

Окончание таблицы 2.31

Наименование сплава	Назначение	Восстановитель	Способ получения
Безуглеродистый феррохром (Cr не менее 68 %, 0,01–0,06 % C)	Легирование стали	Кремний и алюминий	Плавка в рафинировочной электропечи, конвертере и горне
Металлический хром (Cr не менее 97,5 %)	Легирование стали и изготовление сплавов в цветной металлургии	Кремний и алюминий	Плавка в горне и электролиз
Азотированный феррохром (Cr не менее 60 %, C не более 0,6 %, 0,9–6,0 % N)	Легирование стали	Кремний	Плавка в рафинировочной электропечи с последующей обработкой в атмосфере азота
Ферросиликохром (Si не менее 30–50 %, 20–30 % Cr)	Восстановление оксидов в силикотермических процессах и раскисление стали	Углерод	Плавка в руднотермической электропечи
Малотоннажные ферросплавы			
Ферровольфрам (W не менее 65 %, C не более 0,8 %)	Легирование стали	Углерод, кремний и алюминий	Плавка в электродуговой печи и горне
Ферромолибден (Mo не менее 55 %, C<0,20 %)	Легирование стали	Кремний и алюминий	Плавка в горне
Феррованадий (V не менее 35 %, C <1,0 %)	Легирование стали	Кремний и алюминий	Плавка в электропечи, горне
Ферротитан (Ti не менее 25 %, C <0,20 %)	Легирование стали	Алюминий	Плавка в горне
Ферониобий (Nb + Ta не менее 50 %)	Легирование стали	Алюминий	Плавка в горне
Ферросиликоцирконий (Zr не менее 40 %)	Раскисление и легирование стали	Алюминий	Плавка в горне
Ферроалюмоцирконий (Zr не менее 15–18 %)	Раскисление и легирование стали	Алюминий	Плавка в горне
Ферробор (5–12 % B)	Легирование стали и сплавов	Алюминий	Плавка в горне
Ферроборал (B до 4 %)	Легирование стали и сплавов	Алюминий	Плавка в горне
Силикокальций (Ca – 30 %, Si~60 %)	Раскисление стали	Углерод	Плавка в руднотермической электропечи
Ферросиликокальций (Ca ~17 %, Si – 60 %, Fe ~20 %)	Раскисление стали	Кремний	Плавка в электродуговой печи
Силикоалюминий (A1 – 25 %, Si ~75 %)	Раскисление стали	Кремний	Плавка в электродуговой печи

2.7.2 Производство ферросплавов в доменных печах

Ферросплавы (ферромарганец и ферросилиций), необходимые для раскисления и легирования стали, первоначально выплавляли в доменных печах, где топливом и восстановителем был кокс. Удельный расход кокса на их выплавку был значительно больше, чем на обычный чугун, так как на восстановление марганца и кремния требуется больше затрат энергии и более высокая температура ведения плавки.

С появлением электродуговых печей и развитием технологии электроплавки большинство ферросплавов начали выплавлять электропечным способом, где тепло подводилось электроэнергией, а углетермическое восстановление осуществлялось коксом. Например, на выплавку доменного ферромарганца расходовалось 1800 кг/т кокса, а электропечного – 550 кг/т [71,77].

В доменных печах выплавляли высокоуглеродистый ферромарганец (70–75 % Mn), зеркальный чугун (15–25 % Mn), ферросилиций (9–18 % Si), феррофосфор (14–18 % P), ферроманганофосфор (ФМнФ1–60 % Mn и более 10 % P, ФМнФ5 с 30 % Mn и более 14 % P), а также доменный углеродистый феррохром с содержанием хрома до 40 %. Выбор способа плавки ферросплавов в большой степени определяется стоимостью электроэнергии и кокса. В связи с этим при определенных рыночных условиях вполне целесообразна выплавка в доменной печи ферросилиция марки ФС17 (17 % Si), силикомарганца СМн 10–17 (10–20 % Si и 65 % Mn), а также углеродистого феррохрома с содержанием хрома до 40–45 %.

Современное доменное производство имеет температуру горячего дутья до 1100–1350 °С. Нагрев дутья на каждые 100 °С экономит 95–125 кг кокса и 10 кг марганца. Переход на работу с обогащением дутья кислородом увеличит температуру в горне печи и создаст более благоприятные условия для восстановления марганца и кремния, снизит расход кокса.

В настоящее время при сложившихся ценах на кокс и электроэнергию высокоуглеродистый ферромарганец в электродуговых печах в России не производится [78]. Его выплавляют в доменных печах с расходом кокса 1500–1800 кг/т в зависимости от содержания марганца в руде.

Доменные ферросплавы, применяемые в качестве раскислителей при производстве стали, должны отвечать следующим требованиям (см. таблицу 2.32).

Таблица 2.32 – Химический состав доменных ферросплавов

Марка ферросплава	Массовая доля, %			
	кремния	марганца	фосфора	серы
			не более	
1	2	3	4	5
Ферросилиций доменный (ГОСТ 51630–49)				
СИ15	13,10 и более	Не более 3,0	0,20	0,04
СИ10	9,0–13,0	То же	0,20	0,04
Чугун зеркальный (ТУ 14-15-72–78, с изменениями от 01.11.1984)				
3ч1	Не более 2,0	10,0–12,0	0,18	0,03
3ч2	То же	12,1–14,0	0,18	0,03
3ч3	То же	14,1–16,0	0,18	0,03

Окончание таблицы 2.32

Марка ферросплава	Массовая доля, %			
	кремния	марганца	фосфора	серы
			не более	
1	2	3	4	5
Зч4	То же	16,1–18,0	0,20	0,03
Зч5	То же	18,1–20,0	0,22	0,03
Зч6	То же	20,1–22,0	0,22	0,03
Зч7	То же	22,1–24,0	0,22	0,03
Зч8	То же	24,1–25,0	0,22	0,03
Ферромарганец доменный (ТУ 14-5-80-77, с изменениями от 01.10.1985)*				
Группа А				
Мн5	Не более 1,8	75,1 и более	0,35	0,02
Мн6	То же	70,0–75,0	0,35	0,02
Мн7	Не более 0,9	70,0 и более	0,35	0,02
Группа Б				
Мн5	Не более 1,8	75,1 и более	0,50	0,02
Мн6	То же	70,0–75,0	0,50	0,02
Мн7	Не более 0,9	70,0 и более	0,50	0,02

В России длительные годы в доменной печи успешно выплавляли хромоникелевый чугун с содержанием никеля до 1,0 %. В настоящее время в Китае из бедных никелевых руд в доменных печах массово выплавляют ферроникель с содержанием никеля 2–4 %, который применяют для выплавки нержавеющих марок стали. Никель в таком сплаве значительно дешевле никеля, полученного по обычной технологии.

Производительность одной доменной печи объёмом 1000 м^3 при выплавке углеродистого ферромарганца равна производительности трёх электропечей мощностью 27 МВА [77].

Общая характеристика технологической схемы производства доменного ферромарганца

Производство ферромарганца в России было организовано в 1876 г. на доменной печи Нижне-Тагильского металлургического завода [79].

Доменная плавка ферромарганца аналогична технологии выплавки чугуна с некоторыми отличиями по свойствам сырья, условиям восстановления марганца в печи, ведению процесса плавки.

Для выплавки ферромарганца используют оксидные и карбонатные марганцевые руды и концентраты с 36–44 % Mn, кокс, флюсы – известняк и доломит, а также различные добавки [79, 80]. Нежелательные примеси в марганцевой руде – это фосфор, щелочные соединения R_2O (Na_2O и K_2O). От качества руды по содержанию марганца и составу пустой породы зависят показатели плавки. В таблице 2.33 представлен химический состав оксидного и карбонатного концентратов марганцевой руды, а также Усинской карбонатной руды.

Таблица 2.33 – Химический состав оксидного и карбонатного концентратов марганцевой руды, карбонатной руды Усинского месторождения

Концентрат, руда	Массовое содержание, %								
	Mn	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	P	S	R_2O
Оксидный	44,07	13,2	2,14	4,4	2,06	2,51	0,19	0,073	1,07
Карбонатный	28,66	9,23	9,8	3,8	1,88	2,86	0,17	0,041	0,36
Усинская карбонатная руда	19,3	16,3	14,8			7,8			

Технологическая схема производства доменного высокоуглеродистого ферромарганца с указанием вида и мест эмиссий может быть описана-рисунком 2.26.

Полученный в доменной печи ферромарганец на литейном дворе обрабатывают двумя способами. По первому способу наливают в чугуновозный ковш и разливают на разливочной машине в чушки весом не более 18 кг.

Далее чушки ферромарганца дробят на щековой дробилке до размера кусков менее 100 мм. Образовавшуюся мелочь ферромарганца (фракция менее 10 мм) отсевают для последующей повторной утилизации.

По второму способу ферромарганец разливают непосредственно на литейном дворе в чугунные изложницы или в песчаные, на дно которых насыпают для утилизации отсеянную мелочь ферромарганца. Полученные большие слитки сплава после их остывания разбивают на более мелкие куски для последующего дробления в щековой дробилке и рассева на стандартные фракции.

Процессы при выплавке ферромарганца

При выплавке в доменной печи ферромарганца процессы восстановления и шлакообразования отличаются от процессов при выплавке чугуна из железорудного сырья. В марганцевой руде марганец находится в виде оксидов MnO_2, Mn_2O_3, Mn_3O_4, MnO. Первые два оксида восстанавливаются в верхней части шахты печи при сравнительно невысоких температурах:

$$3MnO_2 + 2CO = Mn_3O_4 + CO_2;$$

$$Mn_2O_3 + CO = 2Mn_3O_4 + CO_2.$$

Оксид Mn_3O_4 также восстанавливается при умеренных температурах до MnO, но реакция обратима. Оксид MnO восстанавливается только твердым углеродом при температурах свыше 1100 °С:

$$MnO + C = Mn + CO.$$

Практически металлический марганец образуется в горне печи при контакте высокомарганцовистого шлака с углеродом кокса, начиная с температуры 1200 °С, т. е. в нижней части распара, заплечиков и горне. Степень извлечения марганца из руды составляет 65–80 %. Остальная часть марганца в виде возгонов уносится из печи газамии и в виде недовосстановленного MnO остаётся в шлаке. Степень извлечения марганца увеличивается при повышении температуры в горне печи. Этому может способствовать увеличение расхода кокса, повышение температуры дутья, обогащение дутья кислородом, а также подбор шлакового режима плавки.

Присутствие восстановленного железа ускоряет процесс восстановления марганца и снижает температуру, при которой он восстанавливается до карбида по реакции:

$$3MnO + 4Fe_3C = Mn_3C + 6Fe + 3CO.$$

Марганец образует с углеродом прочные карбиды. С увеличением содержания марганца в сплаве возрастает содержание углерода. В передельном чугуне с марганцем до 1,0 % углерода около 4,4–4,67 %, в зеркальном чугуне с марганцем до 25 % углерода 5,0–6,0 %, а в ферромарганце с 80 % Mn углерода около 7,0 %.

Показатели доменной плавки при выплавке ферросплавов

Ферромарганец

Ферромарганец выплавляют в доменных печах объёмом от 172 до 1033 м^3. Показатели работы доменной печи при выплавке чугуна и ферромарганца сильно отличаются из-за различного механизма восстановления железа и марганца (марганец из оксидов преимущественно восстанавливается углеродом кокса), поэтому расход кокса выше и производительность ниже, чем при выплавке чугуна.

Работу доменных печей при выплавке ферромарганца осложняет присутствие оксидов Na_2O и K_2O (щёлочи), содержащихся в марганцевой руде. При выплавке ферромарганца на 1 т сплава поступает с марганцевой рудой и коксом до 40–70 кг оксидов щелочей против 5–9 кг при выплавке литейного чугуна. Материальный баланс щелочей показал, что со шлаком ферромарганца уходит 9,9 %, с колошниковой уловленной пылью 15,5 %, со шламом 18,0 %, переходит в воду оборотного цикла газоочистки 53,6 %. Часть щелочей циркулирует в доменной печи, что оказывает разрушающее воздействие на кокс и вызывает его перерасход.

Показатели работы доменных печей, выплавляющих ферромарганец, зависят от качества проплавляемого рудного сырья, удельного выхода и состава шлака, использования кислорода, простоев печей [79, 80]. В таблице 2.34 представлен диапазон параметров основных показателей доменной плавки ферромарганца на сырых рудах и марганцевом агломерате. Простои печей связаны с очисткой газоотводящих трактов и пылеочистных устройств от отложений настылей и заменой сгоревших воздушных фурм.

Таблица 2.34 – Показатели производства ферромарганца в доменных печах

Параметры	Размерность	Значение показателя	
		мин.	макс.
Полезный объём доменной печи	м^3	292	1033
Содержание марганца в шихте	%	40,1	49,0
Удельная производительность	т/м^3·сут	0,336	0,516
Удельный расход кокса	кг/т	1698	2057
Интенсивность плавки по коксу	кг/м^3·сут	603	999
Дутье: температура	°С	940	1161
содержание кислорода	%	21	28,3
Давление на колошнике	МПа	0,020	0,117

Окончание таблицы 2.34

Параметры	Размерность	Значение показателя	
		мин.	макс.
Расход материалов (диапазон параметров):	кг/т		
окисленная руда Никопольская		2597	2615
карбонатная руда Никопольская		206	1022
концентрат Ушкатын-3		795	1780
агломерата Никопольского		1932	2652
Всего рудного сырья на 1 т сплава		1932	2936
Известняк		150	1080
Доломит		204	700
Металлодобавки		146	262
Вынос колошниковой пыли	кг/т	16	133
Состав сплава: кремний	%	1,58	2,25
марганец	%	70,40	72,66
фосфор	%	0,36	0,48
сера	%	0,01	0,02
Состав шлака: MnO	%	5,68	21,7
MgO	%	4,7	8,48
Al_2O_3	%	5,10	9,20
FeO	%	0,16	1,50
Основность $CaO:SiO_2$	ед.	1,04	1,42
Удельный выход шлака	кг/т	1110	1186
Степень извлечения марганца	%	69,5	81,7
Простои печей, календарное время	%	0,45	5,56

Применение дутья, обогащённого кислородом, сокращает удельный расход кокса с 2,08 до 1,79 т (на 14 %) [81, 82]. Теплотворность колошникового газа повышается с 1158 до 1500 ккал/м^3. Расход дутья уменьшается с 6100 до 3720 м^3/т. Экономия кокса происходит главным образом за счёт снижения температуры колошникового газа из-за более полного теплообмена в горне и нижней части шахты печи.

На степень извлечения марганца при выплавке ферромарганца большое влияние оказывает состав шлака – основность и содержание MgO. При высокой основности шлака по CaO/SiO_2 до 1,3–1,4 имеет место лучшее восстановление марганца из шлака, однако возрастают его потери с возгонами из-за повышенной температуры конечного шлака в горне печи. Меньшие потери марганца с возгонами имеют место при работе на шлаках с основностью 1,0–1,2, положительно влияние содержание в шлаке MgO в пределах 6–10 %.

Феррофосфор

На доменной печи объемом 172 м^3 Староуткинского металлургического завода длительное время выплавляли феррофосфор и ферроманганофосфор, которые применялись при выплавке автоматных марок стали [98]. Феррофосфор выплавляли из фосфоритовой руды с добавлением железной стружки. При выплавке ферроманганофосфора вместо железной стружки использовали марганцевую руду. В сутки выплавляли 29,6 т ферроманганофосфора. На 1 т сплава расходовалось 4,04 т кокса, выход шлака составлял 2,47 т/т сплава. В сплаве содержалось, %: 55,51 Mn; 13,22

P; 1,75 C; 0,58 Si; 0,022 S. Состав шлака, %: 27,95 SiO_2; 8,90 Al_2O_3; 43,2 CaO; 1,19 MgO; 16,70 MnO; 0,73 FeO; 0,86 P_2O_5. Состав колошниковой пыли, %: 18,56 C; 18,50 SiO_2; 23,04 Al_2O_3; 15,73 H_2O; 12,02 CaO; 1,35 MgO; 6,48 P_2O_5; 4,32 MnO.

В таблице 2.35 представлен материальный баланс плавки ферроманганофосфора на 1 т сплава.

Таблица 2.35 – Материальный баланс плавки ферроманганофосфора на 1 т сплава

Поступило в печь	т	Получено	т
Марганцевой руды	2,60	Сплава	1,00
Фосфоритовой руды	1,41	Шлака	2,47
Известняка	0,68	Газа	16,22
Стружки	0,15	Влаги	1,16
Кокса	4,04	Пыли	0,06
Дутья	12,9	Улет оксидов по разности	0,87
Всего	21,78	Всего	21,78

По результатам балансовых плавок феррофосфора степень извлечения марганца составила 59,75 % и фосфора – 89,50 %.

Ферросилиций

Марки выплавлявшегося в доменных печах ферросилиция приведены в таблице 2.32. Кремнезём является более прочным оксидом, чем MnO, и может восстанавливаться только углеродом в нижней части печи при температуре свыше 1500°C. При наличии свежевосстановленного железа восстановление кремния в доменной печи начинается около 1400°C. Восстановление кремния идёт с предварительным образованием его монооксида – SiO:

$$SiO_2 + C = SiO + CO,$$

$$SiO + C = Si + CO,$$

$$SiO_2 + 2C = Si + 2CO.$$

Кремний с железом образует силициды железа, например:

$$Fe + Si = FeSi.$$

Предельное содержание кремния в ферросилиции 33 %. Практически в доменных печах при температуре дутья около 700–1000 °C получали ферросилиций, содержащий 13–15 % SiO_2. Степень восстановления оксида кремния, переходящего в металл, составляет не более 35–50 %. Около 15 % Si уносится газом в виде легко испаряющегося SiO, остальная часть в виде SiO_2 переходит в шлак.

Для выплавки ферросилиция в доменной печи предпочтительно использовать бедную железную руду, а не агломерат, так как наличие в нём закиси железа даёт легкоплавкие холодные шлаки, которые охлаждают горн печи, где восстановление железа и кремния углеродом кокса происходит при пониженных температурах с большими затратами энергии.

Расход кокса при выплавке ферросилиция несколько ниже, чем при производстве доменного ферромарганца. Повышение температуры дутья и обогащение его кислородом благоприятны для улучшения показателей выплавки ферросилиция.

Например, при увеличении содержания кислорода в дутье с 21 % до 26 % при выплавке ферросилиция на Челябинском металлургическом заводе выход газа уменьшился с 4300 до 3220 м^3 на 1 т ферросилиция, а температура колошникового газа – с 500–700 °С до 200–300 °С. Коэффициент полезного использования тепла в печи возрос с 0,67 до 0,75 [80].

В таблице 2.36 приведена характеристика шлаков доменного ферросилиция, выплавлявшегося на разных железных рудах на нескольких заводах.

Таблица 2.36 – Характеристика шлаков при выплавке доменного ферросилиция

№ п/п	Химический состав, %				CaO/SiO_2	Темп.плавл., °С
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO		
1	38,8	9,5	44,9	4,0	1,16	1350
2	39,4	9,06	41,4	5,7	1,05	1350
3	38,9	10,96	44,63	1,58	1,14	1350
4	38,4	10,3	45,6	1,71	1,16	1350
5	42,55	15,81	34,48	4,9	0,81	1350
6	45,26	16,40	31,30	4,29	0,79	1350

Феррохром

В доменной печи успешно выплавляется феррохром, поведение оксидов хрома в доменной печи аналогично оксидам марганца.

Степень извлечения хрома из руды составляет более 90 %. Выплавка феррохрома требует повышенного расхода кокса, высокого нагрева дутья и основных шлаков. Хром – карбидообразующий металл, поэтому в доменной печи получается высокоуглеродистый феррохром с содержанием углерода до 10–12 %. Несмотря на восстановление хрома в доменной печи, получить металл с содержанием хрома более 40–45 % затруднительно из-за увеличения вязкости расплава и трудности его выпуска из печи. В то же время полученный в доменной печи высокоуглеродистый феррохром с содержанием хрома 40–45 % будет иметь более низкую себестоимость в пересчёте на хром металлический по сравнению с электропечным.

Отвод доменного газа, его очистка и водопотребление

При выплавке ферросплавов колошниковые газы имеют высокую калорийность благодаря содержанию CO до 30–38 %. Для очистки колошникового газа, образующегося при выплавке ферросплавов, применяется та же совокупность пылеочистного оборудования доменной печи, что и при выплавке чугуна, с такими же показателями эффективности очистки (раздел 2.3).

Большую проблему для очистки колошникового газа представляют щелочи, в большом количестве содержащиеся в марганцевых рудах. Выносимая из печи марганцевая пыль совместно со щелочами образует камнеподобные отложения в газоотводах и газовом тракте на участках мокрой очистки вплоть до полного их закупоривания, что требует периодической остановки печи для очистки газоходов механическим способом.

Щелочи из доменной печи возгоняются в виде цианистых соединений калия, которые образуются по следующей схеме:

$$2C + N_2 = (CN)_2;$$

$$2K + (CN)_2 = 2KCN.$$

Цианистые соединения, образующиеся в нижних частях шахты печи, возгоняются в верхние горизонты. При температуре колошника выше 300 °С они с колошниковым газом и пылью попадают в газоочистку.

Содержание аммиака в колошниковом газе составляет 1–2 г/м^3, в промывочных водах газоочистки при выходе из скруббера 300–500 мг/л, в оборотной воде 150–250 мг/л [79].

При выплавке ферросплавов применение сухой газоочистки устранит образование камнеподобных отложения в газопроводе, снизит простои доменных печей и улучшит показатели работы доменной печи. При установке ГУБТ за сухой газоочисткой на 20–25 % увеличивается выработка электроэнергии [83].

Сухая газоочистка доменного газа установлена на доменных печах № 1 и № 2 Косогорского металлургического заводаж.

Водопотребление

Режим водопотребления описан в разделе 2.3.

Основное технологическое и природоохранное оборудование

Назначение, описание, технологические характеристики основного и природоохранного оборудования, используемого при производстве доменных ферросплавов, аналогичны для производства чугуна и приведены в разделе 2.3.

Материальные потоки, виды эмиссий

По всей технологической цепочке производства ферросплавов в доменных печах в местах выгрузки сырья, складирования, хранения пылящих материалов на открытых площадках, дозирования компонентов шихты на различном оборудовании, работе уравнительных клапанов при загрузке печи, выпуске чугуна и шлака, транспортировки отходов производства и готовой продукции имеют место организованные и неорганизованные выбросы (эмиссии) загрязняющих веществ в виде пыли, газов, образования отходов, сточных вод.

Факторы негативного воздействия на окружающую среду

Факторы негативного воздействия на окружающую среду при производстве ферросплавов в доменных печах аналогичны таковым при выплавке чугуна в доменных печах и изложены в разделе 2.3.

2.7.3 Производство ферросплавов в руднотермических печах

2.7.3.1 Общий принцип плавки ферросплавов в руднотермических печах

Общий принцип восстановительной плавки в руднотермических печах заключается в восстановлении оксидов металлов, содержащихся в исходных рудах (концентратах, окатышах, брикетах и т. д.), углеродом, содержащимся в углеродистых восстановителях (кокс, антрацит, уголь, древесная щепа и т. д.).

В общем виде процесс восстановления оксидов углеродом описывается реакциями [71]:

$$2/y\mathrm{Me_xO_y} + 2\mathrm{C} = 2x/y\mathrm{Me} + 2\mathrm{CO} - Q_c,$$

$$2/y\ \mathrm{Me_xO_y} + (2 + 2\ x/z)\ \mathrm{C} = 2\ x/yz\mathrm{Me_zC_y} + 2\mathrm{CO} - Q_c',$$

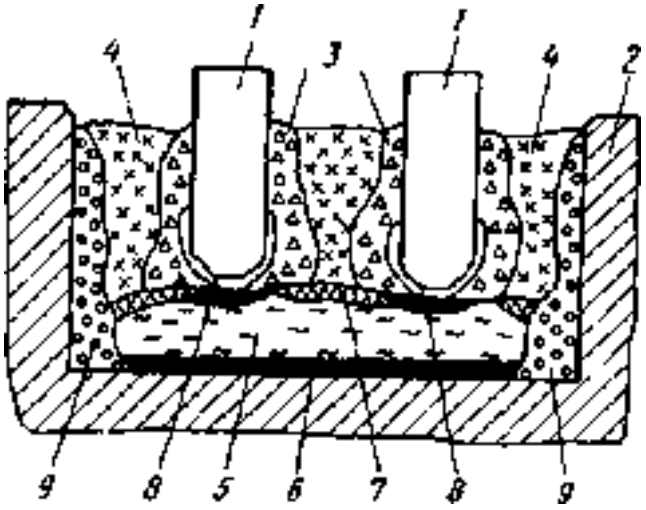
где Q_c — тепло, затрачиваемое при восстановлении элемента из оксида углеродом;

Q_c' — тепло, затрачиваемое при восстановлении элемента из оксида углеродом с образованием карбида.

Перемешанные компоненты шихты постоянно (порциями или непрерывно) загружают сверху в руднотермическую печь на колошник (верхний уровень шихты) ванны печи (ванна – емкость, в которой производится плавка ферросплава). Ванна печи до самого верха постоянно заполнена шихтой. В шихту погружают электроды, на концах которых постоянно горит электрическая дуга. Шихта находится со всех сторон электрода (плавка с закрытой дугой).

Температура дуги столь высока, что вокруг зоны горения дуги образуется пространство, заполненное только печными газами, – тигель, из которого вся шихта испаряется. Граница тигля определяется температурой испарения шихтовых материалов. За этой границей материалы шихты находятся сначала в жидком, а затем в полужидком и твердом виде.

Строение ванны рудотермической печи приведено на рисунке 2.65.



1 – электроды; 2 – угольная футеровка печи; 3 – зона максимального схода шихты; 4 – зона замедленного схода шихты; 5 – зона расплавления шихты или шлака; 6 – жидкий металл; 7 – зона скопления кокса; 8 – тонкая газовая прослойка (тигель); 9 – гарнисаж

Рисунок 2.65 – Схема расположения шихтовых материалов, шлака и металла в ванне руднотермической печи [73]

За счет тепла электрических дуг происходит непрерывный нагрев и плавление поступающих в зону горения дуги шихтовых материалов. Тепла оказывается достаточно для протекания процесса восстановления оксидов металлов углеродом. При этом углерод окисляется кислородом оксидов металлов и образует газообразный оксид

углерода – CO, который через неплотности и поры смеси шихтовых материалов удаляется вверх, через слой непрерывно загружаемой шихты, в атмосферу.

Жидкий ферросплав в процессе плавки под собственной тяжестью собирается в нижней части ванны на подине печи. На этом уровне в боковой стенке печи просверливают отверстие, называемое «летка печи». Это отверстие – летку печи закрывают («затыкают») материалом, который легко удаляется из канала летки. Вместе с тем этот материал не позволяет жидкому ферросплаву вытекать из ванны печи. Чаще всего для закрытия летки используют влажную огнеупорную глину или используют специально изготовленные леточные массы.

Периодически летку печи открывают путем расчистки леточного канала вручную, либо перфоратором, либо электропрожигом, либо прожигом кислородом. Жидкий ферросплав (металл) через этот канал самотеком вытекает из печи по леточному желобу в ковш. Происходит выпуск плавки (выпуск металла). Вместе с металлом из печи вытекает шлак, который образуется из невосстановленных оксидов шихтовых материалов.

Таким образом, плавка в руднотермической печи – это плавка с непрерывной загрузкой шихты и периодическим выпуском.

В некоторых случаях для обеспечения более высокого извлечения металла в ферросплав в состав шихты вводят добавки, регулирующие состав печного шлака, – флюсы. В этом случае количество шлака увеличивается, однако потери металла за счет меньшего перехода металла в шлак меньше. Если флюсы в шихту не добавляют, то плавка называется бесфлюсовой, если добавляют – флюсовой. Такие варианты процесса используют, например, для выплавки углеродистого ферромарганца.

Жидкий ферросплав разливают на разливочных машинах или в стационарные плоские чугунные изложницы. Застывшие слитки отправляют в склад готовой продукции, где металл дробят, фракционируют, упаковывают и отгружают потребителям.

Шлак вывозят на участок переработки шлака или шлакоотвал.

Общая блок-схема технологического процесса производства ферросплавов с образующимися эмиссиями приведена на рисунке 2.66.

В соответствии с представленной схемой производственный процесс в ферросплавном цехе включает три основные последовательные стадии:

- подготовку шихтовых материалов, включая дозирование;
- плавку подготовленной шихты в электропечах;
- разливку и разделку готового сплава.

Исходя из этого, ферросплавный цех включает в себя:

- склад шихтовых материалов (склад шихты) с отделением или корпусом подготовки шихты;
- корпус шихтовых бункеров;
- плавильный корпус;
- склад готовой продукции.

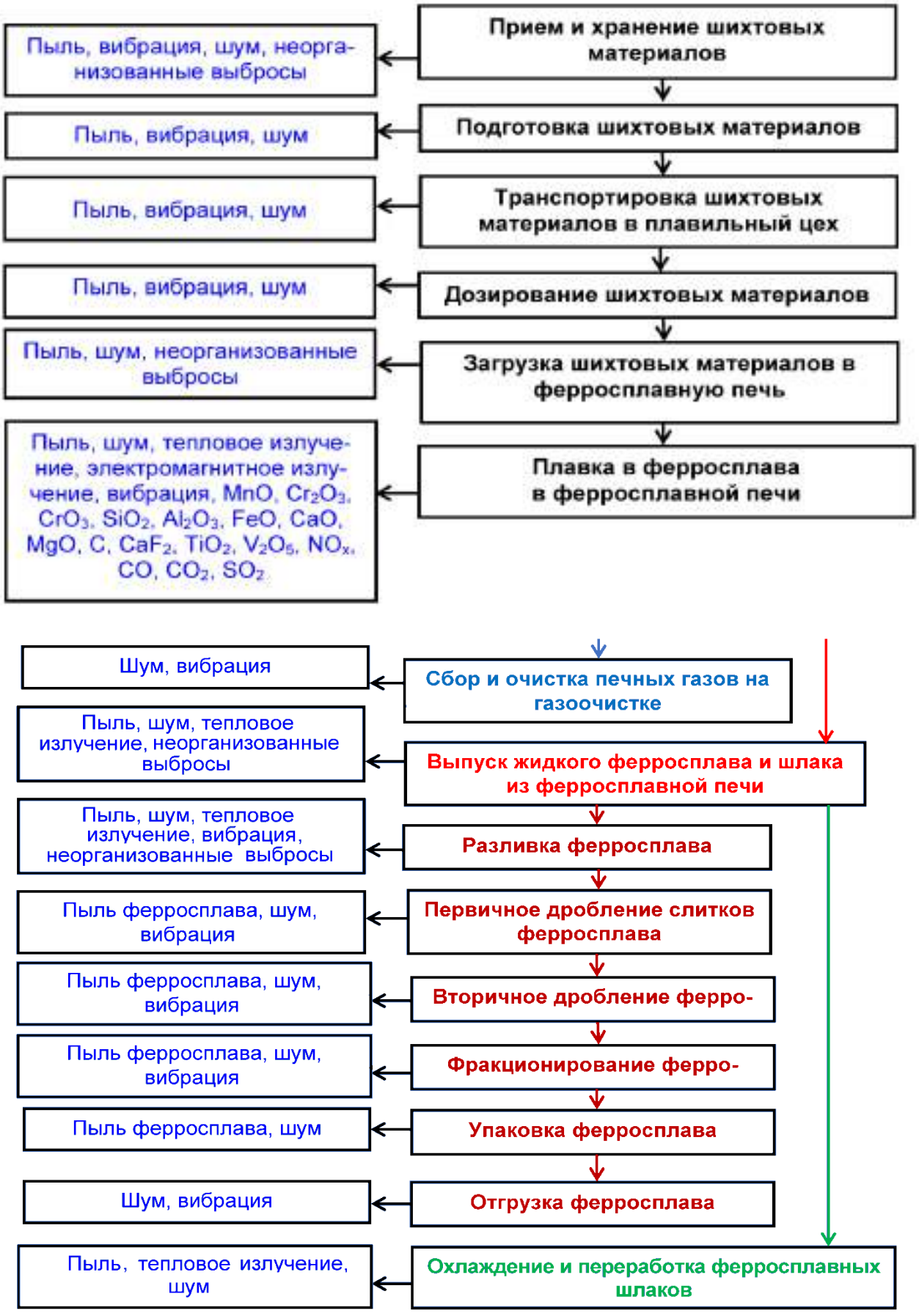


Рисунок 2.66 – Общая блок-схема технологического процесса производства ферросплавов с образующимися эмиссиями

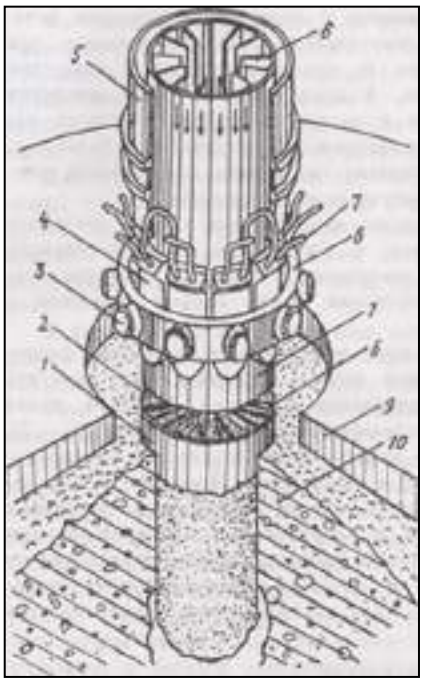
2.7.3.2 Элементы конструкции руднотермических печей

В поперечном сечении большая часть ванн рудно-термическихпечей имеет круглую форму, а ряд мощных печей имеют прямоугольную форму (иногда – эллипсную форму) [72, 84, 85]. Высота ванн руднотермических печей сопоставима с диаметром (шириной) кожуха ванны, поэтому их называют низкошахтными в отличие от шахтных печей, например доменных, в которых высота печи составляет несколько ее диаметров.

Кожух печей выполняют из листовой стали толщиной 15–35 мм и усиливают снаружи вертикальными ребрами и горизонтальными поясами жесткости, днище кожуха выполняют плоским.

Ванна печи выкладывается внутри кожуха из огнеупорных материалов (огнеупорный кирпич (шамотный, магнезитовый, муллитокорундовый и т. д.), огнеупорные бетоны, асбест, углеродистые блоки и т. д.), которые составляют футеровку печи. Материалы, применяемые для футеровки печи, выбирают в зависимости от выплавляемого сплава. Так, для выплавки кремнистых сплавов и углеродистого ферромарганца рабочее пространство печи выкладывают из угольных блоков, для выплавки углеродистого феррохрома – из магнезитового кирпича. Верх стен выкладывают шамотным кирпичом.

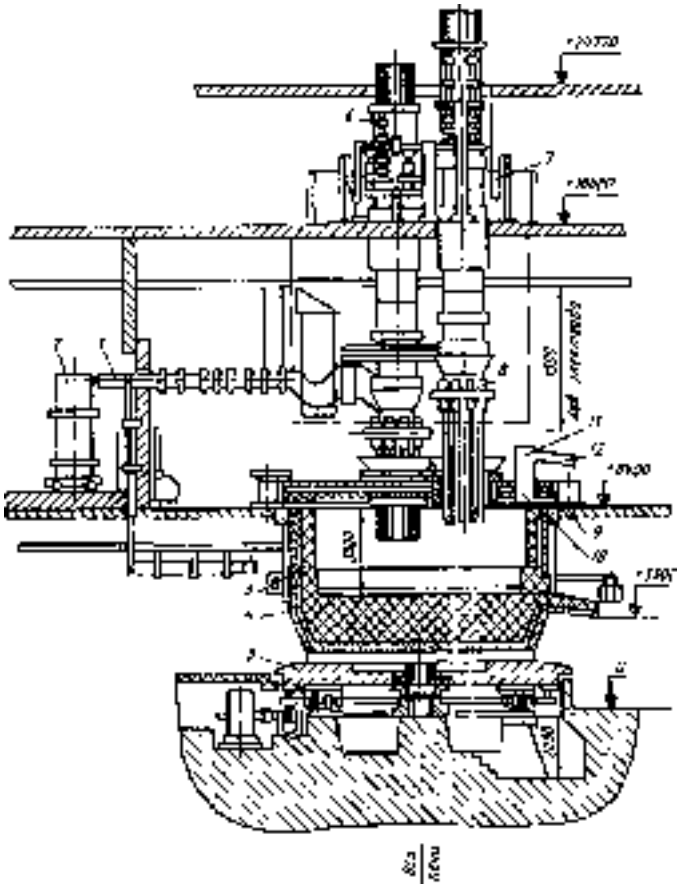
В ванну печи вертикально сверху опущены электроды. Вниз электроды перемещаются под собственной тяжестью. Вверх электроды поднимают с помощью механизмов перемещения электродов. Схема самоспекающегося электрода приведена на рисунке 2.67 [84].



1 – кожух электрода; 2 – электродная масса; 3 – нажимное устройство;
4 – контактная шека;5 – несущий цилиндр; 6 – ребра;
7 – труба подвода электрического тока и воды;
8 – нажимное кольцо; 9 – свод печи; 10 – шихта
Рисунок 2.67 – Самоспекающийся электрод

В руднотермических печах используются самоспекающиеся непрерывные электроды, изготовляемые непосредственно в процессе работы печи. Электроды состоят из железного кожуха, заполняемого специальной электродной массой, состоящей из термоантрацита, литейного кокса, каменноугольной смолы и пека.

Схема руднотермической печи представлена на рисунке 2.68 [85].



1 – короткая сеть; 2 – трансформатор; 3 – футеровка; 4 – кожух;
5 – механизм вращения;6 – устройство для перепуска электродов;
7 – гидроподъемник; 8 – электрододержатель;9 – свод; 10 – отверстия газоходов; 11 – стакан газосборника; 12 – наклонный газоход

Рисунок 2.68 – Схема руднотермической печи

Мощность трансформаторов руднотермических печей составляет от 10 до 115 МВА, вторичное напряжение – в пределах 130–250 В, сила тока в электроде на мощных печах достигает 100–110 кА.

Большая часть руднотермических печей – печи переменного тока. Их оборудуют тремя электродами, установленных по вершинам равностороннего треугольника (круглые печи), а печи большой мощности иногда имеют шесть электродов, установленных в линию (прямоугольные печи). Эти печи оборудуют одним трехфазным или тремя однофазными печными трансформаторами.

В руднотермических печах постоянного тока используется один электрод. В качестве второго электрода используют подовый электрод – электрод, установленный в подине печи, или вторым электродом служит токопроводящая подина специальной

конструкции. Электропитание печи постоянного тока производится от источника питания, который преобразует переменный ток печного трансформатора в постоянный.

Подвод электрического тока от печных трансформаторов к электродам производится помедным водоохлаждаемым трубошинам.

В процессе плавки в руднотермической печи оборудование, которое находится в зоне воздействия высоких температур (все оборудование под зонтом печи и оборудование электроподвода), требует интенсивного охлаждения. Это охлаждение достигается за счет применения водооборотной системы. Из бассейна с холодной водой вода насосами под давлением подается на «горячие» элементы печи. Горячая вода свободно сбрасывается из элементов печи в приемные коллектора и далее самотеком собирается в бассейн горячей воды. Из этого бассейна горячая вода насосами подается на градирни для охлаждения. Охлажденная вода от градирен возвращается в бассейн с холодной водой и снова на охлаждение элементов печи.

Печные газы, выделяющиеся с колошника и от летки руднотермической печи, собирают различными способами и направляют на газоочистку. В зависимости от способа сбора печных газов, выделяют открытые, закрытые, герметичные и полузакрытые печи [72, 84, 85].

Открытые печи – это печи, оборудованные высоким зонтом (газовым колпаком) над колошником печи, крышу которого устанавливают выше токоподводов к электродам печи, а между нижней границей боковой части зонта и рабочей площадкой вокруг печи на уровне колошника оставляют свободное пространство. Это пространство (кольцевой зазор высотой около 2 м) используют для доступа к колошнику печи для его обслуживания. Газы из открытой печи вместе с частью окружающего воздуха, поступающего через кольцевой зазор, забирают из-под крыши зонта на газоочистку сухого типа (тканевые рукава). Однако часть печных газов из-за неравномерного хода печи выбивается из-под зонта в атмосферу цеха и окружающую среду.

Закрытые печи – это печи, колошник которых полностью закрыт водоохлаждаемым сводом. Секции (части) свода подвешивают к перекрытию над печью. Периферийная часть секций опирается на стены печи. В своде оставляют кольцевые отверстия для электродов. Зазор между электродами и сводом герметизируют за счет непрерывной подачи шихты вокруг электродов. Между верхним уровнем загруженной в печь шихты и сводом оставляют свободное пространство, из которого через специальные проемы в своде отбирают выделяющиеся печные газы на газоочистку мокрого типа (орошаемый скруббер Вентури).

Примерно 1/3 печных газов закрытых печей выделяется через шихту вокруг электродов и выбрасывается в атмосферу без газоочистки.

Герметичные печи – это печи, укрытые водоохлаждаемым сводом, герметизация электродных отверстий в котором производится за счет специальных уплотнений, а шихта загружается на колошник печи по труботечкам, проходящим через соответствующие отверстия в своде печи. В герметичных печах все выделяющиеся из печи газы собираются в подсводовом пространстве и удаляются на мокрую газоочистку. Уловленная пыль также в виде шлама отправляется в шламоотстойник.

Полузакрытые печи (печи с низким зонтом) отличаются от открытых печей тем, что кольцевой зазор между низом боковой поверхности зонта и рабочей площадкой укрывают щитами, дополнительно герметизируя зонт печи [84]. За счет этого

повышается эффективность сбора печных газов на газоочистку и сокращаются выбросы неочищенного газа в атмосферу цеха.

Крыша зонта полузакрытых печей выполняется ниже уровня токоподвода к электродам. Это продлевает срок службы короткой сети печи неопределенно долго. Это же позволяет разместить печные трансформаторы максимально близко к электродам и максимально сократить электрические потери.

Полузакрытые печи имеют преимущество перед печами другого типа:

- перед открытыми печами – более высокая степень сбора печных газов на газоочистку, лучшие условия эксплуатации короткой сети;

- перед закрытыми и герметичными печами – сохраняется возможность обработки колошника печи для корректировки хода плавки, ниже расход электрической энергии из-за отсутствия потерь с индукцией на свод (3–5 %), используется газоочистка сухого типа – отсутствует необходимость строительства, имеется возможность отгрузки потребителям товарной пыли.

Подавляющая часть новых ферросплавных печей строится с полузакрытыми зонтами.

Подготовка шихтовых материалов

Подготовка шихтовых материалов к плавке решает следующие задачи [74, 84]:

- усреднение шихты;
- сушка шихты;
- подогрев и прокалка шихты;
- обеспечение газопроницаемости шихты.

Усреднение состава шихты достигается в результате операций разгрузки сырья в складе шихты, подачи материалов на подготовку, перегрузок шихты при транспортировке к печам и пересыпках при дозировании и подаче шихты в печь.

Сушка шихты. В практике работы руднотермических печей на территории России сушка шихтовых материалов не применяется. Как правило, влага из шихтовых материалов испаряется на колошнике печи за счет подогрева шихты выделяющимися печными газами.

Предварительный подогрев и прокалка шихты нашли применение в зарубежных заводах при выплавке ферро- и ферросиликохрома с целью экономии электрической энергии. На российских предприятиях не применяются.

Обеспечение газопроницаемости шихты. Из-за высокой интенсивности углеродовосстановительных реакций в руднотермических печах происходит постоянное образование газообразного оксида углерода, особенно в зоне тигля печи, под электродами. Для эвакуации образующегося оксида углерода необходима хорошая газопроницаемость шихты, которая обеспечивается загрузкой надлежащей фракции материала в печь (отсев мелочи и додрабливание кусков, превышающих допустимый размер).

Подготовка кусковых руд. Необходимая фракция рудной части шихты (марганцевые и хромовые руды, железная руда, агломерат и т. п.) для плавки – 10–100 мм, для кварцита – 20–120 мм. Однако при перегрузке руд в вагоны, перевозке, выгрузке руд на складах шихтовых материалов происходит повторное образование мелочи. Поэтому руды перед подачей в печь рассевают на 2-ситном грохоте на ситах с ячейками 10 × 10 мм и 100 × 100 мм.

Фракцию более 100 мм додрабливают на щековой дробилке и возвращают на отсев мелочи. В некоторых случаях, если доля фракции+100 мм в руде невелика, отсев на сите 100 × 100 мм не производят.

Мелочь руд 0–10 ммнаправляют на окускование или агломерирование и возвращают на плавку. Мелочь кварцита 0–20 мм на плавку больше не возвращают – используют как флюс в других металлургических переделах, при строительстве дорог в качестве балласта, в цементном производстве в качестве кремнеземистой добавки и т. п.

Рудные концентраты после обогащения представляют собой пески крупностью менее 3 мм или тонкопомолотые концентраты крупностью менее 0,075 мм и менее. Поэтому непосредственно в плавке на руднотермической печи их использовать невозможно. Концентраты подвергают предварительному окускованию – агломерированию, окатыванию или брикетированию на соответствующих фабриках. Мелочь агломерата, окатышей, брикетов отсеивают в процессе производства. На ферросплавные заводы поступает готовое окускованное сырье, поэтому дополнительную подготовку этого сырья перед плавкой не производят.

Флюсы. Для флюсов используют фракцию 10–30 мм. Как правило, эту фракцию получают от поставщиков и используют для плавки в руднотермических печах без предварительной подготовки.

Подготовка восстановителя. Кокс необходим фракции 5–16 мм. Для этого кокс додрабливают на 4-валковой дробилке и рассевают на 2-ситном грохоте на ситах с ячейками 5 × 5 мм и 16 × 16 мм. Фракцию более 16 мм возвращают на додрабливание и рассев.

Подготовку каменного угля (антрацита) проводят на выделение целевой фракции10–100 мм. Как правило, с угледобывающих предприятий поставляется уголь фракции 20–50 мм. В этом случае уголь и антрацит рассевают на односитном грохоте на сите с ячейками 8 × 8 (10 × 10) мм. Додрабливание не производят. Однако если поставляется уголь крупностью более 100 мм, то этот уголь направляют на додрабливание на 2-валковой дробилке и рассевают на односитном грохоте на сите с ячейками 8 × 8 (10 × 10) мм.

Фракцию угля 10–50 (10–100) мм подают на печь.

Нерудные железосодержащие материалы. К ним относятся стальная стружка, чугунная стружка, доменный присад. Крупность чугунной стружки и доменного присада не превышает 10 мм, поэтому это сырье не требует предварительной подготовки.

Длина витков стальной стружки не должна превышать 50 мм. В противном случае происходит зависание стружки в суточных бункерах и труботечках с прекращением поступления стружки в печь. Поэтому стружку подвергают предварительному измельчению на стружкодробильной машине и рассеву на барабанном сите.

Шихтовое хозяйство ферросплавного завода, оборудованного руднотермическими печами, состоит из:

- корпуса разгрузочного оборудования с вагоноопрокидывателями;
- открытого напольного или закрытого склада шихтовых материалов;
- корпуса подготовки шихтовых материалов;
- корпуса шихтовых бункеров;
- дозировочного отделения, которое может быть совмещенным либо с корпусом подготовки материалов, либо с корпусом шихтовых бункеров.

Поступающее на ферросплавный завод сырье складируется на складе шихтовых материалов.

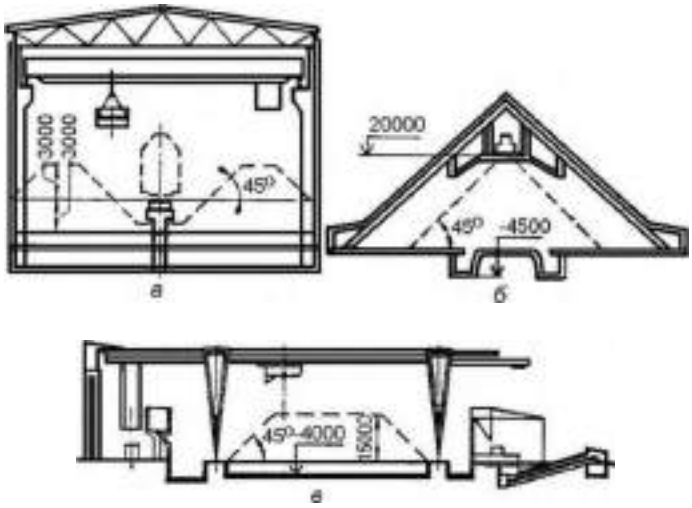
Для хранения шихтовых материалов применяются три типа складов [74]:

- закрытый грейферный с железнодорожной колеей, расположенной посередине склада (см. рисунок 2.67, а);

- закрытый бескрановый ангарного типа с конвейерной подачей (см. рисунок 2.67, б);

- открытый с конвейерной подачей сырых материалов, оборудованный мостовым грейферным перегружателем для подачи, штабелирования и выдачи материала на подготовку (см. рисунок 2.69, в).

Из склада каждый шихтовый материал передается в корпус подготовки.



а – закрытый грейферный; б – закрытый бескрановый; в – открытый

Рисунок 2.69 – Типы напольных складов для хранения шихтовых материалов

В корпусе подготовки материалов установлено необходимое сушильное, дробильное и классифицирующее оборудование для подготовки шихтовых материалов, как указано выше.

Подача и загрузка шихты в печь

Подготовленная шихта по системе ленточных транспортеров передается в корпус шихтовых (суточных) бункеров. Под каждым из суточных бункеров установлен питатель, который позволяет выдавать материал из бункера с определенной скоростью.

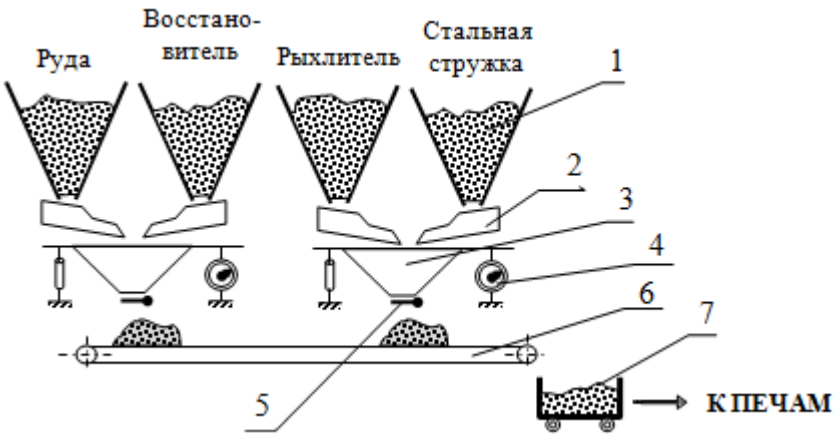
Шихтовые бункера могут располагаться как в отдельном здании (корпус шихтовых бункеров, отделение дозирования шихты и т. п.) – для мощных печей, так и в плавильном корпусе – для печей малой и средней мощности.

Шихтовые материалы перед подачей в печь необходимо смешивать в определенных пропорциях – произвести дозирование шихты, только после этого шихту можно загружать в печь. В ферросплавном производстве существует два принципа дозирования шихтовых материалов: порционное и непрерывное.

Дозирование в цехах малой мощности – порционное и производится непосредственно под суточными бункерами, которые располагают на цеховых отметках

значительно выше печи. Принцип порционного дозирования заключается в формировании порции шихты (колоши), в которой компоненты заданы в определенном соотношении (см. рисунок 2.70) [75].

Это достигается за счет подачи небольших порций шихтовых материалов из суточных бункеров через вибрационные питатели в весовые бункера (один на два бункера). Под весовыми бункерами проходит монорельсовая или напольная тележка, в которую последовательно сбрасывается шихта из весовых бункеров. Тележка набранную колошу шихты доставляет и сбрасывает в свободный печной бункер (карман) печи.



1 – бункер с шихтовым компонентом; 2 – питатель; 3 – весовой бункер; 4 – весоизмерительное устройство; 5 – затвор; 6 – транспортное устройство для формирования колоши; 7 – транспортное устройство для передачи колоши шихты в печь

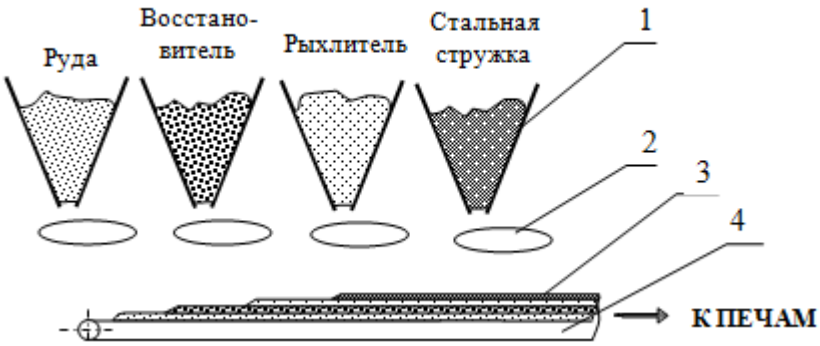
Рисунок 2.70 – Принципиальная схема порционного дозирования шихты

Под каждым печным бункером (карманом) установлен затвор, при открывании которого с пульта управления печью шихта из печного кармана самотеком по стальным трубам – труботечкам падает на колошник печи. Иногда вместо затвора в труботечке устанавливают вибропитатель. В этом случае количество шихты, загружаемой в печь, может быть меньше одной колоши и регулируется длительностью работы вибропитателя. Нижняя часть труботечек, находящаяся под зонтом печи, выполняется водоохлаждаемой.

Непрерывное дозирование шихтовых материалов применяется в цехах с мощными рудотермическими печами. В этом случае дозирование производится в корпусе шихтовых бункеров.

Принцип непрерывного дозирования заключается в том, что на движущуюся транспортерную ленту из суточных бункеров шихтовые компоненты насыпаются со строго определенной производительностью, как правило, с помощью ленточных весовых дозаторов. При этом соотношение компонентов выдерживается в соответствии с требованиями технологии.

Принципиальная схема непрерывного дозирования изображена на рисунке 2.71 [75].



1 – бункер с шихтовыми компонентами; 2 – ленточный дозатор;
3 – сдозированная шихта;4 – транспортер
Рисунок 2.71 – Принципиальная схема непрерывного дозирования шихты

2.7.3.3 Восстановительная плавка в руднотермической печи

На колошник печи постоянно загружается свежая шихта, с колошника ванны руднотермической печи постоянно выделяются печные газы, нагретые до высоких температур (900–1500 °С), которые образуются в печи в результате испарения влаги, выделения летучих из шихтовых материалов и в результате восстановления оксидов шихты углеродом.

В процессе плавки нижний конец электрода постоянно сгорает. Задача поддержания оптимальной длины рабочих концов решается за счет перепуска электродов; обычно небольшими разовыми перепусками по 10–20 мм за перепуск.

Между выпусками происходит накопление металла в печи, в первую очередь в тиглях. Из-за сравнительно небольшого объема в тиглях происходит довольно быстрый рост уровня накопленного металла. Накопившийся в процессе плавки металл периодически выпускают из руднотермической печи. Жидкий ферросплав (металл) вместе со шлаком через леточный канал самотеком вытекает из печи по леточному желобу (сливной носок наклонный, металлический, футерованный кирпичом, желоб) в ковш.

По окончании выпуска летку закрывают либо вручную конусами из огнеупорной глины или леточной массы, либо машиной для обслуживания летки печи (пушкой).

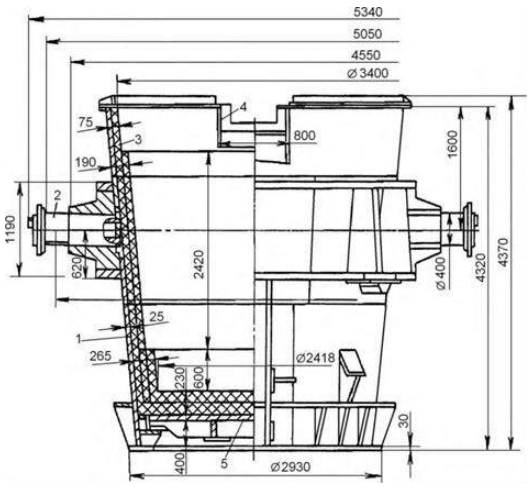
Для печей большой мощности выпуск металла и шлака производят раздельно – через отдельные шлаковую и металлическую летки. Шлаковая летка выполняется выше металлической – на уровне верхней границы накопленного перед выпуском металла. Для бессшлаковых процессов (производство ферросилиция) вся плавка выпускается в ковш (металл и печной шлак).

В зависимости от типа выплавляемого сплава количество печного шлака значительно меняется: от 3–5 % от веса металла (выплавка ферросилиция – бесшлаковый процесс) до 150–300 % от веса металла (выплавка феррохрома, ферромарганца – шлаковые процессы). Отношение веса шлака к весу выпускаемого металла называется кратностью шлака.

Ковш выполняется футерованным (см. рисунок 2.72), а шлаковни изготавливаются литыми из стали и не футеруются [85].

Для шлаковых процессов (ферро- и силикомарганец, ферро- и силикохром) объем ковша подбирают равным объему металла за выпуск (+25 % запас объема). А шлак из

ковша в процессе выпуска по сливному носку перетекает в шлаковню (или шлаковый ковш), которую устанавливают под сливным носком ковша. Шлаковня также имеет сливной носок, под который устанавливают вторую шлаковню и т. д., такая установка называется каскадным выпуском (каскад).



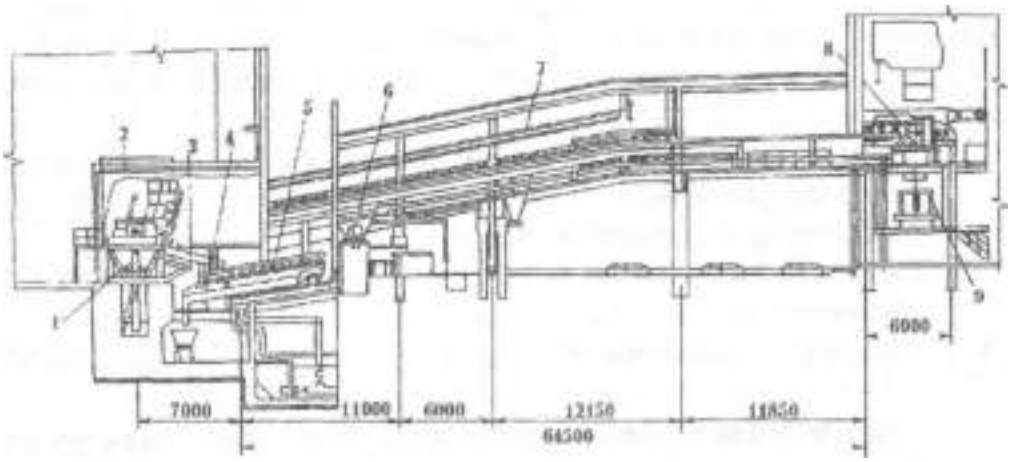
1 – корпус ковша; 2 – цапфы; 3 – футеровка; 4 – носок; 5 – днище

Рисунок 2.72 – Ковш сварной футерованный разливочный емкостью 20 м^3

В настоящее время в практике ферросплавного производства нашли наибольшее применение следующие способы разливки:

- на разливочных машинах различного типа;
- в стационарные поддоны и изложницы;
- послойно в напольные изложницы или в канаву методом «плавка на плавку».

Наибольшее распространение получила разливка ферросплавов на ленточных конвейерных машинах (см. рисунок 2.73) [85]. Они применяются для разливки углеродистого ферромарганца, силикомарганца, углеродистого феррохрома, силикохрома и низкопроцентного ферросилиция.

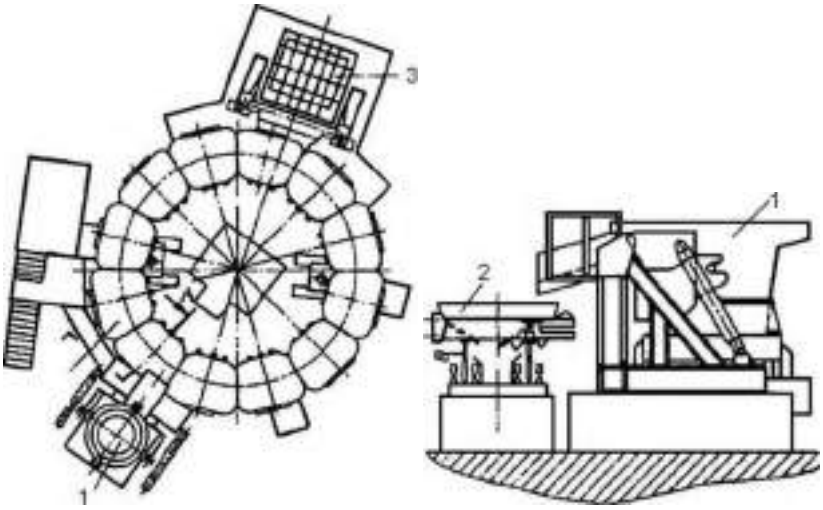


1 – ковш; 2 – передвижное укрытие камеры; 3 – желоб; 4 – натяжная станция; 5 – лента;6 – бункер для опрыскивания известковым молоком; 7 – трубопроводы для водяного душирования слитков; 8 – приводная станция; 9 – короб для металла

Рисунок 2.73 – Машина для разливки ферросплавов конвейерного типа, двухленточная

Кроме конвейерных разливочных машин, используют также машины конвейернотележечного типа для разливки высококремнистых сплавов, модификаторов и лигатур, а также сплавов, содержащих элементы, легко поддающиеся окислению (см. рисунок 2.74).

Машина представляет собой непрерывный эллиптический конвейер, составленный из установленных на рельсовые пути тележек с поддонами-изложницами овальной формы для приема металла. На одной ветви конвейерной машины в разливочном пролете установлено оборудование для заливки сплава, подсыпки изложниц отсевами ферросплавов. Другая ветвь разливочного конвейера размещается за стеной разливочного пролета и служит для охлаждения слитков. Там же установлен кантователь для изложниц и бункер для приема металла.



1 – ковш с кантователем; 2 – изложница;
3 – приемный бункер для металла
Рисунок 2.74 – Карусельная разливочная машина [85]

Широкое распространение получает послойная разливка методом «плавка на плавку». Установки могут располагаться как в закрытом помещении, так и на открытой площадке. Основным элементом установки является железобетонная чаша, футерованная с трех боковых сторон и снизу чугунными плитами. Для облегчения выгрузки затвердевшего сплава передняя плита съемная.

Для разливки ферросилиция используют водоохлаждаемые медные изложницы. Ферросилиций из летки печи по желобу через копильник поступает в одну из двух медных изложниц, принимающей весь выпуск металла, из которой металл после охлаждения подают на рольганг молотковой дробилки. Короба с дробленым металлом отправляют в сталеплавильное производство.

Заполненные шлаком шлаковни (шлаковые ковши) вывозят из разливочного пролета на участок переработки шлака или шлакоотвал.

Дробление, сортировка, упаковка ферросплавов

Сталеплавильные заводы, оборудованные автоматизированными линиями подачи ферросплавов, потребляют ферросплавы только определенной фракции, в основном фракции 10–50 мм (в некоторых случаях 10–100 мм).

Разливка ферросплавов позволяет получать слитки с поддонов с габаритными размерами до 500 × 800 × 1500 мм, с разливочных машин – до 150 × 250 × 700 мм.

Для подготовки ферросплавов надлежащего фракционного состава, как правило, применяется двухстадийное дробление с последующим рассевом на двухситном грохоте на фракции 0–10, 10–50, 50–100 мм.

Выделенные фракции упаковывают в мягкие контейнеры (биг-беги) или отгружают навалом в сухогрузных контейнерах или вагонах.

Обработка шлаков ферросплавного производства

Производство ферросплавов сопровождается образованием значительного количества шлаков [74]. Общий выход ферросплавных шлаков составляет более 1,5 млн т/г. Разные сплавы имеют разный удельный выход шлаков на 1 т выплавляемого сплава.

При бесшлаковых (малошлаковых) процессах производства ферросплавов углетермическимспособом (ферросилиций, двухстадийный силикохром) кратность шлака составляет 0,06–0,07, а при шлаковых процессах (ферросиликомарганец, феррохром и силикохром, низкоуглеродистые сплавы) кратность шлака может достигать величины 2,7–3,5.

Ферросплавные шлаки содержат корольки готового сплава, различное количество оксидов ведущего элемента и других ценных металлов и минералов. К тому же шлаки характеризуются прочностью, абразивностью, огнеупорностью, поэтому представляют собой достаточно ценное сырье для использования в различных отраслях промышленности.

Все ферросплавные шлаки в зависимости от выплавляемых сплавов и химического состава делятся на саморассыпающиеся и нерассыпающиеся. Причиной саморассыпания является полиморфное превращение ортосиликата кальция $2CaO \cdot SiO_2$ при остывании шлаков до температуры 450–550 °С, происходящее с увеличением объема.

К саморассыпающимся относятся шлаки производства низкоуглеродистого феррохрома, силикокальция и марганца металлического, которые во время остывания превращаются в порошок. Применение указанных шлаков весьма разнообразно: шлаки производства низкоуглеродистого феррохрома применяются в литейном производстве для получения быстротвердеющих формовочных смесей, в сельском хозяйстве для известкования кислых почв, в цементной промышленности и ряде других производств.

Нерассыпающиеся шлаки высокоуглеродистого феррохрома представляют собой плотный камневидный материал, который обычно поступает в отвал и в дальнейшем используется в качестве строительного материала. Переработанный шлак может быть использован как щебень и инертный песок в качестве заполнителя для жаростойких бетонов.

В настоящее время перерабатывают около 45 % образующихся шлаков. Способы переработки ферросплавных шлаков весьма разнообразны (металлургический передел, воздушная и магнитная сепарация, механическое измельчение, водная грануляция и др.), их выбор определяется особенностями шлака.

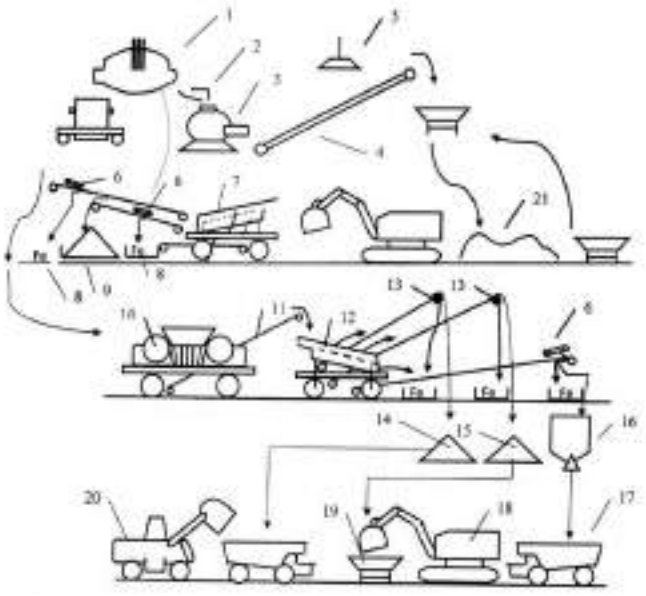
При переработке шлаков с вовлечением их для использования в качестве металлургического сырья (на собственные нужды ферросплавного предприятия) приходится примерно 10 % от общего количества текущего шлака. Около 40 %

отправляется в отвал. Остальное количество стремятся реализовать в смежные отрасли, главным образом производителям цемента и строительных материалов.

Переработка текущих нерассыпающихся шлаков

В настоящее время применяют два основных способа переработки жидких шлаков: охлаждение и дробление в твердом состоянии; гранулирование или поризация с последующим охлаждением. Первый способ является основой технологии производства товарного продукта в виде щебня, второй – обеспечивает получение более высококачественного продукта.

Универсальная схема переработки шлаков в жидком состоянии показана на рисунке 2.75.



1- руднотермическая печь; 2 – ограничитель шлакового потока; 3 – установка барабанного типа; 4 – конвейер; 5 – магнитная шайба; 6 – магнит подвесной; 7 – агрегат сортировки передвижной СМД-174 А; 8 – закрома, емкости для магнитного продукта: 9 – склад щебня фракции 40–70 мм; 10 – агрегат второй стадии дробления СМД-131А; 11 – конвейер передвижной; 12 – агрегат сортировки передвижной СМД-174 А-10; 13 – отгрузочные передвижные конвейеры со шкивными железоотделителями для щебня фракций 10–20 и 20–40 мм; 14 – склад щебня фракции 20–40 мм; 15 – склад щебня фракции 10–20 мм; 16 – бункерный склад щебеночно-песчаной смеси 0–10 мм; 17 – автосамосвал; 18 – экскаватор; 19 – думпкар железнодорожный; 20 – автопогрузчик фронтальный; 21 – шлак

Рисунок 2.75 – Схема переработки жидких печных шлаков

Существует ряд способов охлаждения жидких шлаков с дроблением их на щебень в твердом состоянии. Наиболее простой заключается в сливе шлака послойно в шлаковую яму с дальнейшей разработкой экскаваторами и дроблением в дробилках. Однако в последнее время все чаще применяют охладители барабанного типа, состоящие из одного-двух барабанов, имеющие наружное или внутреннее охлаждение, с дальнейшим дроблением шлаковой ленты или корки в дробилках.

Охлажденный шлак грузится экскаватором на поворотную решетку (с ячейками 200 × 400 мм) приемного бункера, откуда пластинчатым питателем подается в агрегат первичного дробления. Над пластинчатым питателем установлены спаренные электромагнитные шайбы типа ЭМ-12 для отбора крупных металлических включений.

С ленточного транспортера через колосниковый грохот шлак поступает в агрегат вторичного дробления и окончательно додрабливается, после чего рассеивается на передвижной установке, состоящей из грохота и транспортера. Дробленый фракционированный щебень грузится в автомашины или в железнодорожные вагоны для отправки потребителям.

Переработка нерассыпающихся шлаков гравитационными методами

Определенное распространение получила переработка нерассыпающихся шлаков гравитационными методами в водной среде. Отделение переработки шлаков гравитационными методами размещают в специальном отапливаемом помещении.

Технологическая схема гравитационного обогащения на примере шлаков углеродистого феррохрома представлена на рисунке 2.76.

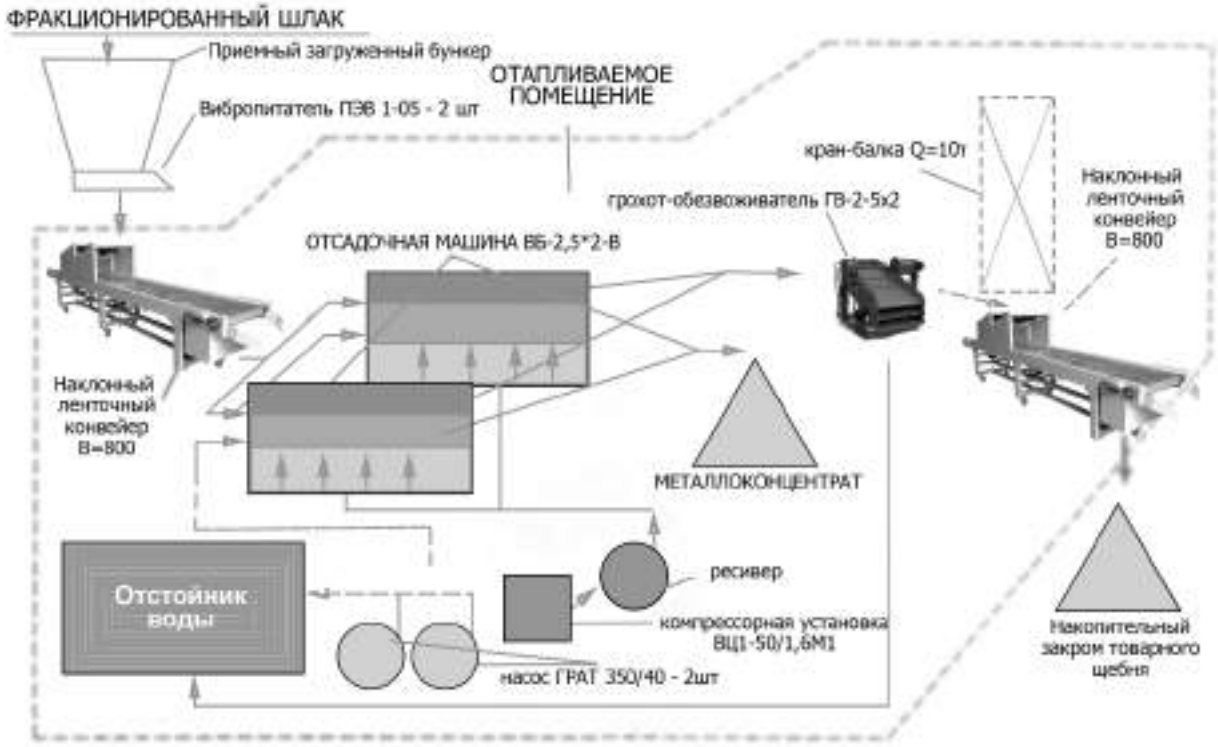


Рисунок 2.76 – Технологическая схема гравитационного обогащения шлака высокоуглеродистого феррохрома

В состав отделения обогащения входят: приемный бункер (сдвоенный) объемом 20 м^3; ленточные конвейеры желобного типа с шириной ленты (В) 800 мм; вибропитатель типа ПЭВ 1–0,5; отсадочная машина ВБ-2,5 × 2-В; питательные насосы ГРАТ-350/40; компрессорная установка ВЦ 1–50/1,6М 1 с ресивером; емкости для грязной и осветленной воды автономного оборотного цикла; электромостовой кран грузоподъемностью 10 т; цепные элеваторы ЭОЦП – 2 шт.

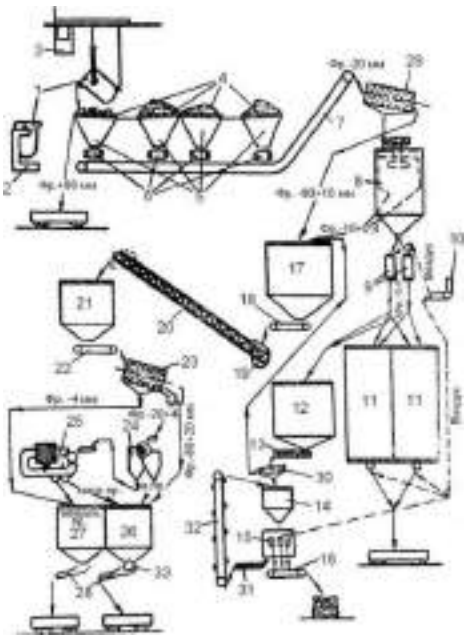
Процесс обогащения осуществляется следующим образом: материал по течке поступает на решето загрузочного устройства, где под действием пульсирующих восходящих и нисходящих потоков воды, создаваемых сжатым воздухом, прерывисто поступающим из пневмопровода в воздушные камеры машины, необогащенный материал, содержащий металлоконцентрат и шлаковую составляющую, под воздействием горизонтального транспортирующего потока и вследствие текучести во взвешенном состоянии движется вдоль машины. В результате материал разделяется по высоте, образуя слои продуктов с различной плотностью. В нижних слоях концентрируются тяжелые фракции (металл), выше – смесь тяжелых и легких фракций, а в самом верхнем слое – легкие фракции (шлаковая составляющая).

Тяжелые фракции (концентрат) обогащаемого материала попадают в разгрузочные камеры в конце каждого отделения машины, накапливаются и разгружаются роторными разгрузчиками в приемные воронки обезвоживающих ковшевых элеваторов, собираются в специальную тару и отгружаются потребителям. Промежуточный продукт в зависимости от выбранной схемы– поступает вместе с исходным материалом обратно в отсадочную машину или складируется.

Легкие фракции вместе с транспортной водой направляются через сливной порог машины на грохот-обезвоживатель и дальше наклонным ленточным транспортером передаются в закром-накопитель, откуда также отгружаются потребителям как товарный щебень.

Переработка саморассыпающихся шлаков

Саморассыпающиеся шлаки содержат до 5 % корольков сплава. Корольки сплава выделяются из этого шлака воздушной или магнитной сепарацией. Конечный шлак широко применяется как известковое удобрение в сельском хозяйстве, для изготовления жидких самотвердеющих смесей в литейном производстве, в составе минерального порошка для асфальтобетона в строительстве. Технология переработки саморассыпающихся шлаков на примере низкоуглеродистого феррохрома приведена на рисунке 2.77.



1 – ковш; 2 – стенд; 3 – кран; 4 – решетка; 5, 12, 14, 17, 21, 26, 27 – бункер; 6 – дозатор; 7, 13, 16, 18, 22 – конвейер; 15 – упаковочная машина; 19 – скип; 20 – наклонная галерея; 23, 29 – грохот-бункер; 24 – барабанный магнитный сепаратор; 25 – индукционно-роликовый сепаратор; 28 – вибрационный питатель; 30 – грохот; 31 – шнековый питатель; 32 – элеватор; 33 – челюстной затвор

Рисунок 2.77 – Технологическая схема сепарации саморассыпающегося шлака рафинированного феррохрома

Шлак в литых ковшах-шлаковнях подают в отделение остывания шлака на железнодорожных платформах, а затем ковши со шлаком устанавливают на специальные стенды для остывания на воздухе. После остывания в течение 2 сут. шлак из ковша выдают в приемные решетки бункерной эстакады, где он рассыпается и проваливается через решетку в бункер. На решетке остается металлический скрап размером более 80 мм, который собирают при помощи крановых клещей и отправляют обратно в цех на переплав.

Шлак из бункеров подается на воздушную сепарацию. В отделении воздушной сепарации шлак поступает на грохот, где происходит отделение фракции от 10 до 120 мм, которая направляется в бункер крупного продукта. Шлак фракции от 0 до 10 мм поступает на воздушный сепаратор, где его разделяют на классы – 0,4 и 0,4–10 мм. Фракцию 0,4–10 мм направляют на вторичное додрабливание. Шлак фракции – 0,4 мм передается при помощи пневмотранспортера в бункера, из которых его загружают в железнодорожные вагоны и отправляют потребителям.

Переработка шлаков производства ферросилиция

Производство ферросилиция относится к бесшлаковым процессам, однако при выплавке образуется 40–100 кг шлака на 1 т сплава [75]. В шлаках ферросилиция содержится значительное количество металлической фазы (от 40 % до 60 %) в виде корольков и ковшевых остатков, а также до 15 % карбида кремния. Химический состав металла обычно соответствует марке выплавляемого сплава, а минеральная часть

содержит, %: SiO_2 – 32; CaO – 18; Al2O – 3-16; MgO – 0,8; SiC – 15. Эти шлаки успешно используются в составе раскислительных и рафинирующих смесей в сталеплавильном производстве. Шлаки богатых по кремнию марок ферросилиция применяются в шихте взамен кварцита при выплавке силикохрома и литейных чугунов, в качестве флюса при производстве углеродистого феррохрома.

Шлаки ферросилиция дробят на щековой дробилке до крупности менее 150 мм. Иногда крупные куски ферросилиция из дробленого шлака вручную выбирают на ленточном транспортере.

2.7.3.4 Показатели производства ферросплавов в руднотермических печах

В таблицах 2.37–2.41 приведены основные показатели производства ферросплавов в руднотермических печах [71, 76, 86].

Таблица 2.37 – Основные технико-экономические показатели выплавки углеродистого ферромарганца

Показатели	Способ выплавки		Материальный баланс			
	флюсовый	бесфлюсовый	Задано:	кг	Получено	кг
Удельный расход, кг/б. т.(78 %Mn):			Руда марганцевая	100,0	Сплав	35,9
- марганцевое сырье (48 %Mn)	2060	2971	Кокс	17,8	Шлак	37,1
- кокс	580	415	Железная стружка	2,9	Пыль	4,9
- окатыши	110	85	Электродная масса	0,8	Газы	43,6
- известняк	700	-				
- электродная масса	21	22,4				
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/б. т.	4290	3498				
Выход малофосфористого шлака (48 % Mn), кг/б. т.	–	1353				
Содержание Mn в шлаке, %	14,2	35,8				
Кратность шлака	1,2	0,88				
Извлечение Mn, %	78–82	98	Всего:	121,5	Всего:	121,5

Таблица 2.38 – Основные технико-экономические показатели выплавки ферросиликомарганца (17 % Si)

Показатели	Содержание фосфора, %			Материальный баланс			
	0,20	0,35	0,60	Задано:	кг	Получено	кг
Удельный расход, кг/т:				Концентрат марганцевый	30,0	Сплав	51,4
- марганцевое сырье (48 %Mn)	1843	1728	1674	Руда марганцевая	70,0	Шлак	52,2
- кокс	415	425	395	Кварцит	34,1	Пыль	5,9
- кварцит	285	333	294	Кокс	32,4	Газы	64,5
- известняк	100	–	–	Доломит	3,8		
- возвратные отходы	163	234	217	Кислород воздуха	3,7		
- вторичное марганцевое сырье	–	208	153				
- электродная масса	28,5	24,6	24,0				
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	4191	4088	3840				
Содержание Mn в шлаке, %	11,7	12,4	12,5				
Кратность шлака	1,6	1,5	1,3				
Извлечение Mn, %	75	80	82	Всего:	174,0	Всего:	174,0

Таблица 2.39 – Основные технико-экономические показатели выплавки углеродистого феррохрома

Показатели	Значение	Материальный баланс			
		Задано:	кг	Получено	кг
Удельный расход, кг/т:		Руда хромовая	192,9	Сплав	99,5
- хромовая руда	1900	Кварцит	28,5	Шлак	85,0
- кварцит	70	Кокс	45,0	Пыль	4,7
- кокс	440	Электродная масса	2,6	Газы	118,9
- электродная масса	27	Воздух	39,1		
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/б. т.	3400				
Кратность шлака	0,85				
Извлечение Cr, %	92	Всего:	308,2	Всего:	308,2

Таблица 2.40 – Основные технико-экономические показатели выплавки ферросиликохрома

Показатели	Ферросиликохром		Материальный баланс			
	ФСХ30	ФСХП	Задано:	кг	Получено	кг
Удельный расход, кг/т:			Феррохром передельный	58,2	Сплав	102,6
- кварцит	650	1100	Кварцит	106,8	Шлак	4,1
- кокс	280	500	Кокс	43,6	Пыль	5,4
- феррохром передельный	750	540	Электродная масса	5,0	Газы	148,6
- электродная масса	48	74	Воздух	47,2		
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/б. т.	3700	5500				
Извлечение Cr, %	94	96	Всего:	260,9	Всего:	260,9

Таблица 2.41 – Основные технико-экономические показатели выплавки ферросилиция

Показатели	ФС45*	ФС65*	ФС75*	Материальный баланс ФС45**			
Удельный расход, кг / б. т:				Задано:	кг	Получено	кг
- кварцит	1015 / 931	1520 / 1568	1786 / 1930	Кварцит	100,0	Сплав	101,7
- стальная стружка	560 / 558	320 / 343	223 / 250	Кокс	15,2	Шлак	3,2
- кокс	485 / 438	665 / 720	840 / 845	Полукокс	44,8	Газы	135,5
- электродная масса	19 / 16	45 / 43,3	54 / 54	Стальная стружка	57,6	Пыль	5,1
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч / б. т.	4580 / 4760	7410 / 7610	8490 / 8840	Электродная масса	2,4		
Извлечение Si, %	97,9 / 98,2	94,9 / 92,1	92,3 / 91,8	Прутья для прожига летки	0,7		
* Числитель – открытые печи; знаменатель – закрытые печи.				Воздух	24,8		
** Закрытые печи.				Всего:	245,5	Всего:	245,5

2.7.4 Производство ферросплавов металлотермическим способом

Для выплавки высоколегированных сталей (нержавеющих, жаропрочных и др.) необходимо иметь минимальное содержание углерода в ферросплавах. Для этой цели выплавляют ферросплавы с низким содержанием углерода, например: малоуглеродистый ферромарганец, безуглеродистый феррохром, металлический хром и марганец, ферросплавы с титаном, вольфрамом, ванадием и другими металлами.

Для этих ферросплавов применяют или силикотермический процесс, или алюмотермический процесс, или комбинированный алюмо-силикотермический процесс [71, 76, 87].

2.7.4.1 Силикотермический процесс

В упрощенном виде реакция силикотермического восстановления может быть представлена в следующем виде [71]:

$$2/y\mathrm{Me}_x\mathrm{O}_y + \mathrm{Si} = 2x/y\mathrm{Me} + \mathrm{SiO_2} + Q_{\mathrm{Si}},$$

$$\mathrm{SiO_2} + z\ \mathrm{CaO} = (\mathrm{CaO})z \cdot \mathrm{SiO_2} + Q_{\mathrm{CaO\ SiO2}},$$

где Q_{Si} — тепло, выделяющееся при восстановлении элемента из оксида кремнием;

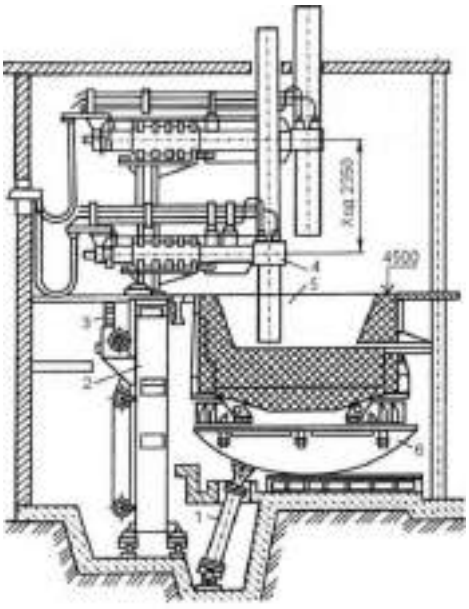
$Q_{\mathrm{CaO\ SiO2}}$ — тепло, выделяющееся при образовании силицида кальция.

Для увеличения степени восстановления ведущего элемента из оксидов в шихту добавляют флюс (как правило, известь – CaO), связывающий кремнезем в легкоплавкие соединения для обеспечения требуемой вязкости и жидкоподвижности шлака. Кратность шлака может составлять 1,5–2,5 и более, что также требует дополнительных затрат тепла и, следовательно, электроэнергии.

В качестве кремнистого восстановителя применяю сплавы кремния, полученные более дешевым, углеродовосстановительным способом: ферросилиций, передельные кремнистые сплавы (ферросиликохром, ферросиликомарганец) с высоким содержанием кремния.

Производство ферросплавов силикотермическим способом осуществляется в рафинировочных печах небольшой мощности.

Мощность рафинировочных печей по сравнению с руднотермическими печами относительно невелика и составляет 2,5–7 МВА. Отличительными особенностями рафинировочных печей являются периодический характер процесса и работа в открытом режиме. Общий вид рафинировочной печи РКО-3,5 показан на рисунке 2.78.



1 – механизм наклона; 2 – шахта стойки электрододержателя;
3 – механизм перемещения электродов; 4 – электрододержатель;
5 – ванна печи; 6 – опорные секторы

Рисунок 2.78 – Рафинировочная электропечь ОКБ-262 мощностью 5 МВА [72]

Для хранения подготовленных шихтовых материалов в рафинировочных цехах устанавливают бункерную эстакаду, встроенную в виде отдельного пролета. Шихта из бункерного пролета передается в печной пролет самоходной монорельсовой тележкой и подается в печные карманы бадьей с помощью мостового крана.

Основной объем силикотермического производства занимает производство металлического марганца и низкоуглеродистого феррохрома.

Производство металлического марганца

Для производства металлического марганца используют вместо марганцевой руды малофосфористый шлак. Малофосфористый шлак выплавляют в руднотермической печи с получением попутного высокофосфористого сплава. Малофосфористый шлак от руднотермических печей передают на выплавку рафинированных сплавов в стальных ковшах в жидком виде, заливают в рафинировочную печь. Туда же загружают известь и твердый силикомарганец. В процессе проплавления загруженной шихты происходит восстановление марганца из марганцевого шлака кремнием силикомарганца по реакции [72, 86]:

$$[MnSi] + 2(MnO) + 2(CaO) = 3[Mn] + (2CaO \cdot SiO_2).$$

После окончания плавки металл и шлак из рафинировочной печи выпускают в стальной ковш, заполненный шлаком предыдущей плавки. Избыток шлака переливается из ковша в шлаковую чашу. Металл после вакуумирования разливают в металлические изложницы (поддоны). Шлак отправляют на шлакопереработку.

В общем виде производство металлического марганца может быть представлено схемой, приведенной на рисунке 2.79 [74]:

- выплавка высокомарганцовистого бесфосфористого шлака;
- производство передельного силикомарганца;
- получение металлического марганца путем восстановления бесфосфористого марганцевого шлака силикомарганцем в присутствии извести.

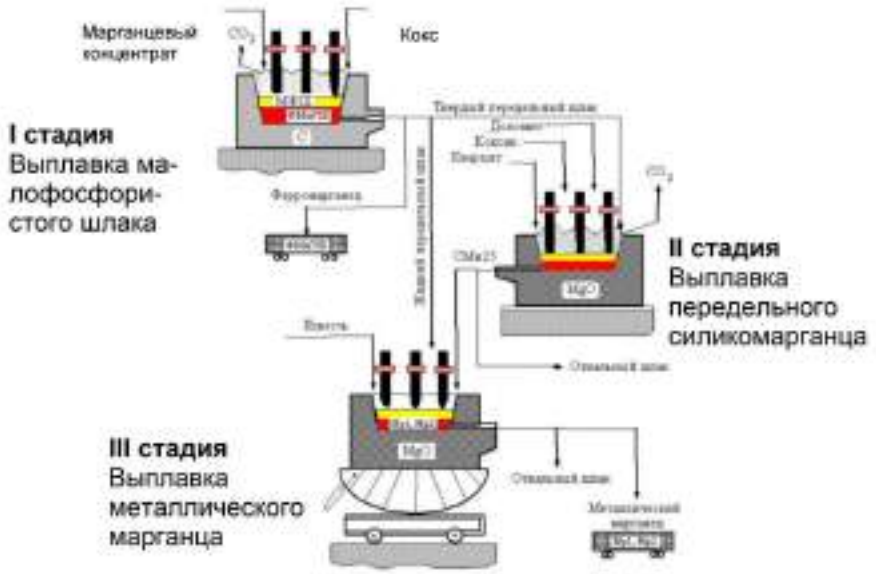


Рисунок 2.79 – Трехстадийная технологическая схема производства металлического марганца с получением на первой стадии высокоуглеродистого ферромарганца ФМн78Б и малофосфористого передельного шлака

Производство низкоуглеродистого феррохрома силикотермическим методом подобно производству металлического марганца. Отличие состоит в том, что в качестве сырья используют концентрат хромовой руды, ферросиликохром и известь.

Показатели производства ферросплавов силикотермическим методом

В таблицах 2.42 и 2.43 приведены основные показатели производства металлического марганца и низкоуглеродистого феррохрома силикотермическим методом [71, 76, 86].

Таблица 2.42 – Основные технико-экономические показатели выплавки марганца металлического

Показатели	Значение	Материальный баланс			
		Задано:	кг	Получено	кг
Удельный расход, кг/т:		Малофосфористый шлак (48 %Mn)	100,0	Сплав	42,7
- малофосфористый шлак (48 %Mn)	2113	Силикомарганец передельный	30,2	Шлак	159,0
- известь	1694	Известь	77,1	Пыль	5,0
- силикомарганец передельный	676	Воздух	14,2	Газы	14,8
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	2641				
Кратность шлака					
Извлечение Mn, %	62,8	Всего:	221,5	Всего:	221,5

Таблица 2.43 – Основные технико-экономические показатели выплавки низкоуглеродистого феррохрома

Показатели	Значение	Материальный баланс			
		Задано:	кг	Получено	кг
Удельный расход, кг/т:		Хромовая руда(50 % Cr_2O_3)	100	Сплав	230
- хромовая руда (50 % Cr_2O_3)	1782	Ферросиликохром (48 %)	426	Шлак	569
- ферросиликохром (48 %)	615	Известь	311	Пыль	84
- известь	1560	Воздух	222	Газы	176
Графитированные электроды	12				
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	2807				
Кратность шлака					
Извлечение Cr, %	75,64	Всего:	1059	Всего:	1059

2.7.4.2 Алюмотермический процесс

В упрощенном виде реакция алюмотермического восстановления может быть представлена в следующем виде [72, 87]:

$$2/y\mathrm{Me_xO_y} + 4/3\ \mathrm{Al} = 2x/y\mathrm{Me} + 2/3\ \mathrm{Al_2O_3} + Q_{\mathrm{Al}},$$

$$2/3\ \mathrm{Al_2O_3} + z\ \mathrm{CaO} = 2/3(\mathrm{CaO})z \cdot \mathrm{Al_2O_3} + Q_{\mathrm{CaO\ Al2O3}},$$

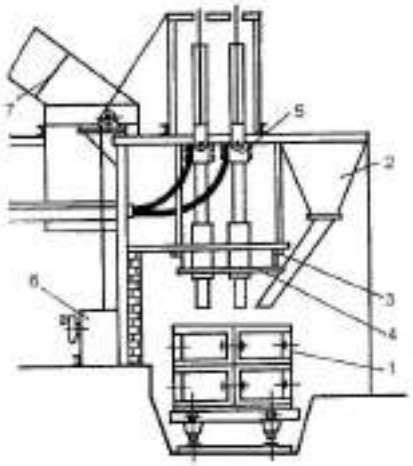
где Q_{Al} — тепло, выделяющееся при восстановлении элемента из оксида алюминием;

$Q_{\mathrm{CaO\ Al2O3}}$ — тепло, выделяющееся при образовании алюмината кальция.

Из-за относительно высокой стоимости алюминия алюмотермический процесс применяют только для восстановления из оксидов элементов, обладающих высокой термодинамической прочностью, высокой температурой плавления, а также для получения ферросплавов с низким содержанием углерода и кремния. Рудное сырье для алюмотермического процесса обычно представляет собой либо чистый оксид элемента, либо концентрат с минимальной долей пустой породы и примесей, что обычно обуславливается высокой стоимостью элемента и необходимостью как можно более полного его восстановления и извлечения в сплав. Шихтовые материалы находятся обычно в дисперсном виде: концентрат в виде порошка, алюминий в виде порошка либо крупки.

Алюмотермический процесс осуществляют в плавильных горнах; возможно также применение предварительного расплавления шихты в дуговых электропечах или добавление в состав шихты материалов, выделяющих при взаимодействии с алюминием много тепла: аммиачная или калиевая селитра, бертолетова соль.

Агрегат для проведения алюмотермического процесса с предварительным проплавлением части шихты под электродами трехфазной печной установки приведена на рисунке 2.80 [74].



1 – плавильный горн; 2 – загрузочный бункер; 3, 4 – теплоизоляционные экраны; 5 – электрододержатели; 6 – механизм подъема электродов; 7 – вытяжной зонт

Рисунок 2.80 – Электропечной агрегат для выплавки металлического хрома с предварительным расплавлением части оксидов (плавка на блок)

Цехи алюмотермических ферросплавов и лигатур выполняются обычно двухпролетными. В шихтовом пролете располагаются склад шихтовых материалов и

оборудование для подготовки шихты. В плавильном пролете на специальной площадке под вытяжными зонтами или на тележках, закрываемых в плавильные камеры, устанавливают плавильные горны или электропечи типа ДСП. В этом же пролете предусмотрены площадки для разделки и хранения готовых сплавов.

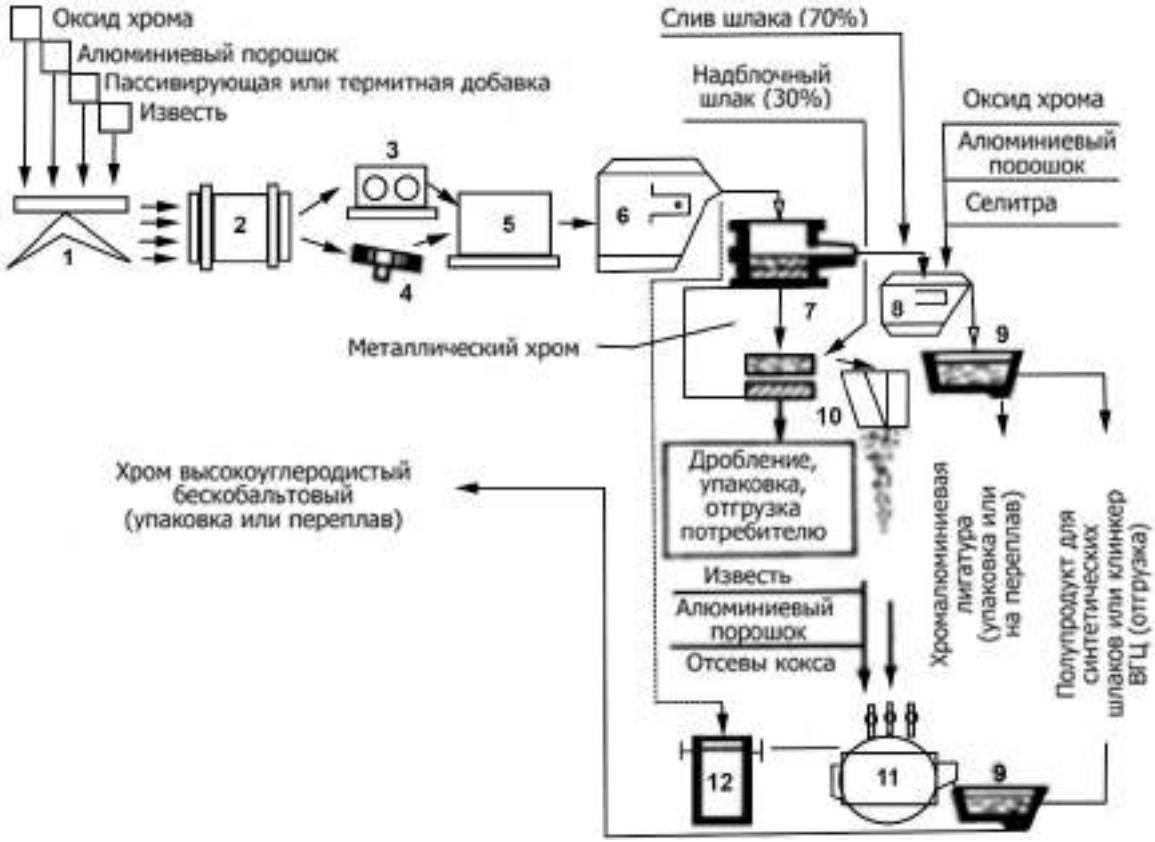
Наибольшее распространение (по объемам производства) получили технологии производства алюмотермическим способом сплавов хрома и титана.

Производство металлического хрома

Восстановление хрома алюминием происходит по реакции [94]:

$$(Cr_2O_3) + 2Al = 2[Cr] + (Al_2O_3).$$

На рисунке 2.81 приведена технологическая схема получения металлического хрома, включая переработку конечных шлаков на полупродукт для изготовления синтетических шлаков или клинкера [74, 87].



1 – весы; 2 – смеситель; 3 – пресс брикетировочный; 4 – гранулятор тарельчатый; 5 – печь сушильная; 6, 8 – горн плавильный; 7 – изложница для металла и шлака; 9 – шлаковня; 10 – дробилка для шлака; 11 – электропечь для довосстановления шлака; 12 – ковш разливочный

Рисунок 2.81 – Технологическая схема производства металлического хрома с довосстановлением шлаков и получением полупродукта или клинкера высокоглиноземистого цемента

Плавку металлического хрома «на блок» ведут в разъемном чугунном горне с футеровкой в нижней части стен магнезитовым кирпичом и подиной из магнезитового кирпича. Плавку ведут на шихте, состоящей из оксида хрома технической чистоты, алюминиевого порошка и натриевой селитры. Расплав после окончания плавки выдерживается в горне в течение 6 ч, а затем горн снимают с тележки. Полученный слиток охлаждают в воде еще 4 ч, а затем подвергают дроблению.

Бихроматная технология получения хрома металлического

Шихта содержит окись хрома, порошок первичного алюминия, натрия бихромат, хромовый ангидрид, известь обожженную, гидроокись кальция, соль поваренную, концентрат плавиковошпатовый. Предварительно в смесительном барабане перемешивают гидроокись кальция и натрия бихромат. Затем загружают в смесительный барабан окись хрома, алюминий, соль поваренную, часть извести и хромовый ангидрид и перемешивают. Полученную смесь загружают в горн и поджигают. Процесс производства хрома металлического алюминотермического – внепечной, проходит самопроизвольно, без дополнительного введения тепла. По окончании проплавления основной шихты на колошник загружают оставшуюся часть извести и концентрат плавиковошпатный. После его полного растворения и прекращения кипения, расплав сливают в изложницу. Технология обеспечивает получение высших марок хрома металлического и попутного продукта плавленого глиноземистого, имеющего средний химический состав: Al_2O_3 – 80,8 %, SiO_2 – 0,1 %, MgO – 0,9 %, CaO – 9,0 %, Cr_2O_3 – 8,7 %, FeO – 0,5 %.

Продукт плавленый глиноземистый используется в качестве сырья при производстве синтетических флюсов глиноземсодержащих, огнеупорных смесей и цементов.

Восстановление хрома алюминием происходит по следующим реакциям:

$$Cr_2O_3 + 2Al = 2[Cr] + (Al_2O_3);$$

$$Na_2Cr_2O_7 + 4Al = 2[Cr] + Na_2O + 2(Al_2O_3);$$

$$CrO_3 + 2Al = [Cr] + (Al_2O_3).$$

Процесс выплавки ведется в горне, футерованном периклазовым кирпичом, с последующей разливкой металла в стальную изложницу. При выплавке «на блок» процесс выплавки ведется в изложнице, футерованной периклазовым кирпичом, без разливки расплава.

Расплав после окончания плавки выдерживается в изложнице до полного разделения металла и шлака и их кристаллизации. Полученный слиток хрома отделяют от попутного продукта глиноземистого, охлаждают в воде, разбивают, а затем подвергают дроблению, фракционированию и упаковке.

Производство феррохрома низкоуглеродистого

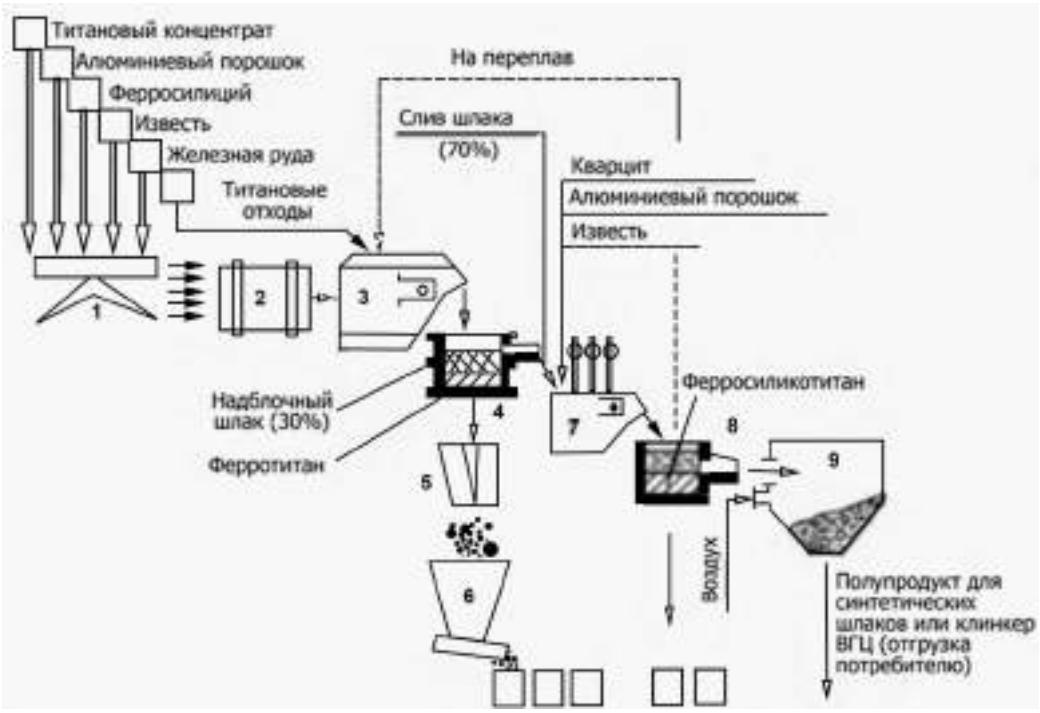
При получении феррохрома низкоуглеродистого в качестве основного хромового сырья используют предварительно прокаленный концентрат хромовый, в запальной части шихты в качестве окислителя используют бихромат натрия, в качестве восстановителя порошок первичного или вторичного алюминия, в качестве флюсующей добавки известь и соль поваренную.

В начале технологического процесса в плавильный горн загружают запальную часть шихты, после ее проплавления зажигают электрические дуги и проплавляют оксидную часть шихты, состоящую из концентрата хромового и извести, далее внепечным способом проплавляют восстановительную часть шихты. По окончанию плавки делают выдержку для полного протекания восстановительных процессов, затем сливают продукт плавленый глиноземистый и металл в изложницу. Расплав после окончания плавки выдерживается в изложнице до полного разделения металла и шлака и их кристаллизации. Полученный слиток феррохрома отделяют от продукта плавленого глиноземистого, охлаждают в воде, разбивают, затем подвергают дроблению, фракционированию и упаковке.

При необходимости повышения содержания хрома в сплаве в шихту дополнительно вводят окись хрома, при необходимости снижения содержания хрома в сплаве в шихту дополнительно включают лом стальной.

Производство ферротитана

Наиболее распространенная технологическая схема выплавки ферротитана приведена на рисунке 2.82.



1 – весы; 2 – смеситель; 3 – плавильный горн для выплавки ферротитана;
4 – изложница для металла и шлака; 5 – дробилка;
6 – упаковочная машина; 7 – электропечь для довосстановления шлака;
8 – копилъник; 9 – установка для сухой грануляции

Рисунок 2.82 – Технологическая схема производства ферротитана с довосстановлением шлаков и получением полупродукта или клинкера высокоглиноземистого цемента [74, 87].

Основное количество ферротитана получают из ильменитовых концентратов. В качестве восстановителя для получения ферротитана используется алюминиевый

порошок, получаемый из вторичного алюминия. В качестве флюса используют свежеобожженную известь.

Выплавляют ферротитан в разборном чугунном горне, состоящем из отдельных половин либо нескольких секций. Подготовленный горн на тележке подается в плавильную камеру, оборудованную бункерами для шихты и шнеками для ее подачи в горн, а также установкой для пылеулавливания и вентиляции.

Технологическая схема получения ферротитана 20 %-ного аналогична технологической схеме получения феррохрома низкоуглеродистого, но с использованием других видов сырья, электрического и теплового режима плавки.

При получении ферротитана 20 %-процентного в качестве основного сырья используют предварительно прокаленный ильменитовый концентрат с содержанием 59–65 % масс. TiO_2, предварительно выплавленный титаносодержащий продукт (54–59 % TiO_2) и продукт плавленый глиноземистый от ферротитана (17–21 % TiO_2) от предыдущей выплавки, в качестве флюсующей добавки известь, в качестве восстановителя порошок первичного или вторичного алюминия и ферросилиций 65 %-ный, для создания металлической ванны лом стальной, а в качестве окислителя используют окалину железную.

Вначале в горн загружают запальную часть шихты, после ее проплавления зажигают электрические дуги и проплавляют лом стальной, а далее оксидную часть шихты, состоящую из концентрата ильменитового, титаносодержащего продукта, продукта плавленого глиноземистого от ферротитана и извести, затем проплавляют внепечным способом восстановительную часть шихты, состоящую из концентрата ильменитового, алюминиевого порошка, ферросилиция и окалины железной. По окончании плавки подбирают цепи наклона горна, делают выдержку для полного протекания восстановительных процессов, затем сливают продукт плавленый глиноземистый и металл в изложницу. Расплав после окончания плавки выдерживается в изложнице до полного разделения металла и шлака и их кристаллизации. Полученный слиток ферротитана отделяют от продукта плавленого глиноземистого, охлаждают в воде, а затем подвергают дроблению и упаковке.

Среднестатистический химический состав получаемого ферротитана: 28–31 % Ti; 10–13 %Al; 4–6 % Si; 0,1–0,3 % Cu; 0,04–0,10 % C; 0,06–0,07 % P. При этом получают попутный продукт плавленый глиноземистый следующего химического состава: TiO_2 6–15 %; Al_2O_3 60–68 %; CaO 18–24 %; MgO 3,5–6,5 %; FeO 0,5–1,5 %; SiO_2 0,1–0,2 %.

Производство ферробора

Технологическая схема получения ферробора 20 %-ного аналогична технологической схеме получения феррохрома низкоуглеродистого, но с использованием других видов сырья, электрического и теплового режима плавки.

При получении ферробора 20 %-процентного в качестве основного сырья используют борный ангидрид и борную кислоту, в качестве железосодержащего сырья используют железную окалину, в качестве восстановителя порошок первичного алюминия, в качестве флюсующих добавок известь, плавиковошпатовый концентрат и соль поваренную.

Вначале в горн загружают запальную часть шихты, после ее проплавления зажигают электрические дуги и проплавляют основную часть шихты, состоящую из борного ангидрида, борной кислоты, извести, окалины железной, плавиковошпатового

концентрата и соли, затем проплавляют внепечным способом восстановительную часть шихты, состоящую из алюминиевого порошка, окалины железной и извести. По окончании плавки подбирают цепи наклона горна, делают выдержку для полного протекания восстановительных процессов, а затем сливают продукт плавленый глиноземистый и металл в изложницу. Расплав после окончания плавки выдерживается в изложнице до полного разделения металла и шлака и их кристаллизации. Полученный слиток ферробора отделяют от продукта плавленого глиноземистого, охлаждают в воде, а затем подвергают дроблению и упаковке.

Среднестатистический химический состав получаемого ферробора: 19–22 % B; 1,5–2,3 %Al; 0,1–0,4 % Si; 0,04–0,05 %Cu; 0,01–0,04 %C; 0,01–0,03 %P. При этом получают попутный продукт плавленый глиноземистый следующего химического состава: B_2O_3 6–9 %; Al_2O_3 66–72 %; CaO 12–20 %; MgO 3–8 %; FeO 0,5–1,9 %; SiO_2 0,2–0,5 %.

Производство лигатуры никельниобиевой

Технологическая схема получения лигатуры никельниобиевой аналогична технологической схеме получения ферротитана 20 %-процентного, но с использованием других видов сырья, электрического и теплового режима плавки.

Температура плавления 1180–1350 °C.

При получении лигатуры никельниобиевой в качестве основного сырья используют технический пентаоксид ниобия и электролитический никель, в качестве восстановителя порошок первичного алюминия, в качестве флюсующих добавок известь, для увеличения кратности продукта плавленого глиноземистого используется молотый плавленый продукт глиноземистый от предыдущей выплавки NiNb.

Никельниобиевую лигатуру выплавляют в электропечи в горне, на подину которого уложена металлическая часть шихты, сначала проплавляют запальную часть шихты и на полученном расплаве зажигают электрические дуги и расплавляют никель, а затем при отключенной печи на поверхность расплава загружают основную часть шихты, состоящую из технического пентаоксида ниобия, первичного алюминиевого порошка, продукта плавленого глиноземистого, селитры натриевой и извести и после этого проплавляют рафинировочную часть шихты. По окончании плавки подбирают цепи наклона горна, делают выдержку для полного протекания восстановительных процессов, а затем сливают продукт плавленый глиноземистый и металл в изложницу. Расплав после окончания плавки выдерживается в изложнице до полного разделения металла и шлака и их кристаллизации Полученный слиток лигатуры никельниобиевой отделяют от продукта плавленого глиноземистого, охлаждают в воде, а затем подвергают дроблению и упаковке.

Среднестатистический химический состав выплавляемой лигатуры никельниобиевой: 39–45 % Nb; 50–53 % Ni; 1–3 % Al; 0,4–0,8 % Fe; 0,1–0,5 % Si; 0,02–0,05 % C. При этом получают попутный продукт плавленый глиноземистый следующего химического состава: Al_2O_3 65–70 %; CaO 15–25 %; MgO 2–5 %; Nb_2O_5 0,2–1,5 %, NiO 0,2–0,4 %.

Показатели производства ферросплавов алюмотермическим методом

В таблицах 2.44 и 2.45 приведены основные показатели производства металлического хрома и ферротитана алюмотермическим методом [86, 87].

Таблица 2.44 – Основные технико-экономические показатели выплавки металлического хрома

Показатели	Значение		Материальный баланс			
			Задано:	кг	Получено	кг
Удельный расход, кг/т:	внепечной	электропечной	Окись хрома (99 % Cr_2O_3)	2320	Сплав (97 % Cr)	1456
- окись хрома (99 % Cr_2O_3)	1650	1593	Алюминиевый порошок	842	Шлак	1990
- алюминиевый порошок	620	578	Известь	200	Пыль	34
- известь	100	137	Натриевая селитра	16		
- натриевая селитра	140	11	Подсыпка	102		
Расход электроэнергии, кВт·ч/т	–	576				
Кратность шлака	1,4	1,37				
Извлечение Cr, %	88,0	92,5	Всего:	3580	Всего:	3580

Таблица 2.45 – Основные технико-экономические показатели выплавки ферротитана

Показатели	Значение	Материальный баланс			
		Задано:	кг	Получено	кг
Удельный расход, кг/т:		Ильменитовый концентрат	100,0	Сплав(28 %Ti)	66,1
- ильменитовый концентрат (42 %TiO_2)	940	Алюминиевый порошок	41,8	Шлак	92,6
- алюминиевый порошок	400	Известь	10,0	Пыль	3,3
- известь	100	Железная руда	8,0	Газы	3,7
- ферросилиций (75 % Si)	24	Ферросилиций (75 % Si)	1,5		
- железная руда	130	Воздух	4,4		
- титановые отходы	9				
Кратность шлака	1,45				
Извлечение Ti, %	70–80	Всего:	165,7	Всего:	165,7

2.7.4.3 Производство феррованадия (пятиокиси ванадия)

Ванадий относится к группе рассеянных элементов, несмотря на то, что содержится в земной коре в количествах, исчисляемых миллионами тонн. Тем не менее, ванадий не образует собственных минералов, встречающихся в промышленно значимых количествах.

В основном ванадий в виде примеси встречается преимущественно в титаномагнетитовых рудах, а также в тяжелых нефтях, фосфоритах, бокситах, урановых

рудах и др. Поэтому за редким исключением соединения ванадия выделяют как побочный продукт при производстве основной продукции, например, стали [88].

Даже будучи выведенным в соответствующий концентрат, ванадий требует дополнительной технологической переработки, он является единственным химическим элементом, применяемым для легирования стали, получение которого требует использования достаточно дорогих и сложных гидрометаллургических и химических процессов. Однако экономическая эффективность его применения окупает затраты, в частности введение его в сталь при производстве арматуры всего до 0,05–0,07 % приводит к повышению ее класса прочности с А500 до А600–А700 и позволяет применять сварные соединения без ограничений и без потери прочности по сварному шву [89].

Основная технологическая схема производства феррованадия представлена на рисунке 2.83.



Рисунок 2.83 – Принципиальная схема производства оксидов ванадия и феррованадия

Извлечение ванадия с получением оксидов ванадия

Основным сырьем для производства феррованадия являются оксиды ванадия, как индивидуальные (V_2O_5, V_2O_3), так и смешанные, которые можно определить как продукты частичного восстановления пентоксида или частичного окисления триоксида ванадия.

При производстве феррованадия степень окисления применяемых оксидов отражается на расходе восстановителя, кратности шлака и выборе оборудования.

Основными сырьевыми источниками при производстве оксидов ванадия являются титаномагнетитовые руды и концентраты, а также конвертерные шлаки, получаемые при переработке ванадиевых чугунов дуплекс-процессом. Однако ванадий находится в этих сырьевых источниках в чрезвычайно стабильных химических соединениях, преимущественно в виде твердых растворов $V_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ и др., шпинеллидов – $FeO \cdot V_2O_3$, $MnO \cdot V_2O_3$ и т. д. Их разрушение требует применения достаточно «жестких» химических приемов. Кроме того, необходимы процессы обработки, обладающие высокой селективностью по отношению к ванадию.

Производство оксидов ванадия из титаномагнетитовых железорудных концентратов

Извлечение ванадия гидрометаллургическим путем непосредственно из титаномагнетитовых руд возможно осуществить при наличии дисперсной (минус 15 мм) фракции руды с высоким содержанием (более 3 %) пентоксида ванадия. Во всех остальных случаях переработка титаномагнетитовых руд состоит из следующих основных переделов:

1. Мокрый размол руды (−0,1 мм) и магнитное обогащение с выделением титаномагнетитовой фракции, содержащей 2–3 % пентоксида ванадия.

2. Смешивание титаномагнетита с содой и сульфатом натрия.

3. Обжиг полученной смеси во вращающейся печи длиной~100 м и диаметром до 4 м при температуре 1050–1150 °С. При этом ванадий переходит в технологически извлекаемое состояние по следующей схеме:

$$V_2O_3 + Na_2CO_3 + Na_2SO_4 + O_2 \rightarrow NaVO_3 + CO_2 + SO_2.$$

4. Охлаждение и размол огарка.

5. Противоточное выщелачивание огарка водой и оборотными растворами, отделение твердого остатка сгущением или фильтрацией, его промывка и удаление на шламовое поле.

6. Очистка раствора от взвеси и примесей кремния, добавление осадителя – раствора сульфата аммония, осаждение кристаллов метаванадата аммония (МВА) схеме:

$$NaVO_3 + (NH_4)_2SO_4 \rightarrow NH_4VO_3\downarrow + Na_2SO_4.$$

7. Отделение МВА фильтрацией, его промывка и сушка.

8. Термическое разложение (МВА) с получением триоксида ванадия – V_2O_3

$$NH_4VO_3 \rightarrow V_2O_3 + N_2 + H_2O$$

или пентоксида ванадия – V_2O_5

$$NH_4VO_3 + O_2 \rightarrow V_2O_5 + N_2 + H_2O.$$

9. Упарка маточных растворов, выделение оборотного сульфата натрия для использования при обжиге и оборотного раствора сульфата аммония, используемого после укрепления твердым сульфатом аммония для осаждения ванадия.

В дальнейшем пентоксид ванадия используется для получения феррованадия. К основным недостаткам рассмотренных процессов следует отнести:

- необходимость работы на бедном сырье, что приводит к образованию значительного количества твердых отходов (70–100 т на тонну ванадия);
- существенные энергозатраты на упаривание растворов, объем которых превышал 25 $м^3$/ч;
- высокое содержание диоксида серы в отходящих газах.

Производство оксидов ванадия из конвертерных шлаков дуплекс-процесса

При переработке ванадиевого чугуна дуплекс-процессом образуется шлак, содержащий до 30 % V_2O_5 [90, 91], который является наиболее ценным сырьем для переработки с получением оксидов ванадия. Отличительная особенность такого шлака состоит в значительном содержании (до 25 %) металловключений, представляющихсобой застывшие выплески металла, захваченные шлаком во время продувки конвертера. Эти металлические включения имеют размеры от 0,5 до 200 мм и создают значительные трудности для измельчения шлака. Они заполняют собой межшаровое пространство мельниц, вынуждая периодически производить их остановку и переборку шаров, а также способствуют увеличению содержания в шихте дисперсного железа. Это ухудшает проведение окислительного обжига и приводит к спеканию шихты и образованию настылей и гарнисажных колец во вращающейся печи.

Обобщенная схема извлечения ванадия из дуплекс-шлака выглядит следующим образом:

1. Измельчение шлака сухим или мокрым методом в шаровых мельницах с удалением металловключений.

2. Смешение молотого шлака с реакционной добавкой – содой 7–16 % или известняком – 10 %.

3. Окислительный обжиг шихты во вращающейся печи длиной от 45 м и диаметром от 3 м при температуре 780–820 °С в случае применения соды и 820–850 °С в случае известняка.

4. Охлаждение и измельчение огарка.

5. Выщелачивание огарка водой (при содержании соды 16 %), водой и серной кислотой (при содержании соды 7–8 %) или серной кислотой при использовании известняка. При этом протекают следующие процессы:

$$(Ca, Mn)V_2O_7 \text{ тв.} + H_2SO_4 \rightarrow (Ca, Mn)H_2V_{10}O_{28} \text{ р-р} + CaSO_4 + MnSO_4.$$

Твердый остаток промывают водой и складируют.

6. Осаждение ванадия из раствора. При этом в зависимости от применяемых дополнительных реагентов может образовываться поливанадат аммония $(NH_4)_2V_6O_{16}\cdot H_2O$ или поливанадат магния-марганца $(0{,}5Mg\ ^*0{,}5Mn)V_6O_{16}\cdot H_2O$. Осадки отделяют от маточных растворов и промывают водой.

7. Поливанадат аммония прокаливают в восстановительной атмосфере и получают триоксид ванадия, а в окислительной атмосфере – пентоксид ванадия. Поливанадаты магния-марганца плавят в подовой печи и охлаждают струю расплава на

водоохлаждаемом вращающемся столе, получая пластины буро-фиолетового цвета. Порошкообразный пентоксид ванадия также часто переплавляют для получения компактного непылящего материала.

8. Маточные растворы после осаждения ванадия подвергают очистке от солей марганца и хрома (VI), а затем отводят в водные бассейны (при обжиге с содой) или используют в технологическом обороте (при обжиге с известняком).

Состав пентоксида ванадия, производимого в РФ, представлен в таблице 2.46.

Таблица 2.46 – Химический состав пентоксида ванадия различных производителей.

Производитель	Компоненты, масс. %								
	V_2O_5	MnO	Fe_2O_3	SiO_2	CaO	As	$Na_2O + K_2O$	S	P
ОАО «Чусовской металлургический завод»	87–88	0,9–2,1	4,2–4,8	0,6–0,7	1,4	н. д.	2,0–2,2	0,05	0,02–0,04
ОАО «ЕВРАЗ Ванадий-Тула»	93–94,5	1,2–1,5	0,5–1	0,2–0,6	1,0–1,5	н. д.	0,2	0,05–0,1	0,02–0,05
Южная Корея	98,3	н. д.	0,1	0,3	н. д.	0,1	0,8	0,01	0,03
Китай	99,2–99,6	Н. д.	0,2	0,3–0,4	Н. д.	0,002	0,6–0,8	0,005	0,012–0,018
ЮАР	99,7	0,003	0,05	0,1	Н. д.	0,001	0,22	0,003	0,009

Производство феррованадия с использованием различных оксидов ванадия

Металлический ванадий обладает высокой температурой плавления (1910 °С), легко окисляется при повышенных температурах и имеет более низкую плотность в сравнении с железом – 5,49 г/см^3 (против 7,85), а также высокую стоимость. Это делает его малопригодным материалом для легирования стали. Основным видом ванадийсодержащего легирующего материала является феррованадий – сплав ванадия и железа. Его получают восстановлением окислов ванадия в присутствии железа. В качестве восстановителей могут применяться кремний, сплавы на его основе и алюминий, протекающие при этом процессы можно схематически описать следующим образом:

$$V_2O_5 + FeSi + CaO \rightarrow FeV + 2CaO \cdot SiO_2;$$

$$V_2O_5 + Al + Fe + CaO \rightarrow FeV + CaO \cdot 2Al_2O_3.$$

В зависимости от термичности выбранного состава шихты, вида оксида ванадия и восстановителя, а также особенности технологического процесса производство феррованадия может быть организовано по двум путям – тигельный процесс или электропечной.

Особенности организации тигельного процесса

Тигельный процесс возможен в случае применения пентоксида ванадия или его смеси с небольшим (до 25 %) количеством триоксида ванадия. Тигельный процесс организован следующим образом:

1. Загрузка в смеситель компонентов шихты – оборотных ванадийсодержащих отходов, стальной высечки или отходов метизов, пентоксида ванадия, триоксида

ванадия, извести и алюминиевой крупки в выбранном соотношении. После перемешивания шихту пересыпают в саморазгружающуюся бадью. Массу шихты выбирают в зависимости от емкости тигля.

2. Шихту подают в стальной тигель, футерованный периклазовым кирпичом или оборотным глиноземистым шлаком.

3. Заполненный тигель перемещают в запальную камеру, погружают в шихту электрозапал, закрывают камеру и зажигают запал, а от него – всю массу шихты.

4. После прекращения горения шихты тигель выдерживают в запальной камере 30 мин. до затвердения металла, после чего тигель перемещают в зону охлаждения не менее чем на 12 ч.

5. Остывший тигель разбирают, отделяют шлаковый слиток и слиток металла, металл охлаждают в ванне с водой; при необходимости зачищают поверхность и дробят на щековой дробилке до требуемого размера кусков.

Дробленый феррованадий упаковывают в биг-бэги или стальные барабаны.

6. Шлаковый слиток дробят на щековой дробилке до фракции минус 50 мм и упаковывают в биг-бэги.

7. На остывшем тигле ремонтируют футеровку и готовят к следующей плавке.

В том случае, если термичность шихты недостаточна для самостоятельного протекания процесса по причине большого количества оборотных отходов или значительной доли трехокиси ванадия в шихте, применяют дополнительный ее разогрев с помощью электрической дуги. Как правило, такой процесс проводят в электродуговых печах типа ДСП-3 или ДСП-6 или их модификациях.

Особенности электрометаллургического процесса производства феррованадия

Применение электродуговых печей различной конструкции позволяет использовать при выплавке феррованадия в качестве сырья не только низкоэнергетические восстановители типа углерода и ферросилиция, но и значительное количество возвратных отходов. Также становится возможным перерабатывать исключительно триоксид ванадия, что приводит к экономии до 40 % восстановителя и соответственному снижению кратности шлака.

Производство феррованадия в электродуговой печи включает следующие основные этапы:

Для одностадийного процесса:

1. Приготовление шихты путем смешения оборотных отходов, стальной высечки, оксида ванадия, алюминиевой крупки и извести.

2. Загрузка полученной шихты в электродуговую печь, расплавление ее при помощи электрической дуги.

3. Выпуск содержимого печи в стальную изложницу, футерованную графитовыми плитами.

4. Перемещение изложницы на площадку охлаждения, по остывании разделка металлошлакового слитка, выделенный металл отправляют на дробление и упаковку, а шлак дробят и упаковывают в биг-бэги.

Применяется технология, по которой расплав оставляют охлаждаться в ванне печи с удаленными электродами, после охлаждения расплава ванну разбирают, отделяя донную часть, в которой находится слиток феррованадия. Из корпуса выбивают

шлаковый слиток, ремонтируют футеровку корпуса и дна, собирают печь и проводят новую плавку;

Для двух-трех стадийного процесса:

1. Загрузка компонентов шихты в смеситель с таким расчетом, чтобы она содержала максимальное количество относительно бедных отходов и оборотных материалов, а количество восстановителя беретсяс таким избытком, чтобы в получившемся металле содержалось 8–10 % кремния или алюминия.

2. Загрузка шихты в печь и проплавление ее.

3. Скачивание шлака в шлаковую чашу с сохранением металла в печи.

4. Загрузка в печь новой партии шихты, содержащей меньшее количество восстановителя из такого расчета, чтобы в конечном металле содержалось до 5 % алюминия или кремния.

5. Проплавление шихты и скачивание шлака в шлаковню. Металл сохраняется в печи.

6. Загрузка на жидкий металл рафинировочной смеси, состоящей из извести и пентоксида ванадия, перемешивание содержимого ванны. После окончания процесса рафинировочный шлак скачивают в специальную емкость, а металл сливают в стальную изложницу.

7. После охлаждения слитка металла его выбивают из изложницы, зачищают и отправляют на дробление и упаковку, остывший рафинировочный шлак используют в качестве компонента шихты первого периода плавки.

2.7.5 Основное оборудование для производства ферросплавов

2.7.5.1 Основное оборудование для производства феррованадия

Для производства оксидов ванадия из титаномагнетитовых руд используется металлургическое и гидрометаллургическое оборудование – вращающиеся обжиговые печи стандартного образца, радиальные сгустители, пульповые насосы, химические реакторы, ленточные фильтры, вращающиеся печи для сушки или прокаливания.

Для производства оксидов ванадия из шлаков дуплекс-процесса применяют стандартное термическое и химическое оборудование – вращающиеся или многоподовые печи, шаровые мельницы с классификаторами, сгустители, химические реакторы с перемешивающими устройствами емкостью 20–30 м^3, пульповые и водяные насосы, ленточные и пресс-фильтры, барабанные печи для прокаливания сыпучих продуктов и подовые печи с охлаждающими грануляционными столами для получения плавленого пентоксида ванадия.

Дробление слитка феррованадия и классификацию по размерам проводят, используя щековые дробилки, вибросита и барабанные грохота.

2.7.5.2 Основное оборудование для производства ферросплавов

Основное оборудование для производства ферросплавов приведено в таблице 2.47 [72, 74, 85, 92].

Таблица 2.47 – Основное оборудование для производства ферросплавов

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
1	2	3
Дробилка щековая	Дробление руд. Дробление ферросплавов	Стационарная установка заводского изготовления, имеющая вертикально расположенные неподвижную и подвижную металлические щеки, между которыми дробят загружаемый сверху материал
Дробилка валково-зубчатая 2-валковая	Дробление угля	Стационарная установка заводского изготовления, имеющая 2 стальных зубчатых валка, вращающиеся навстречу друг другу, между которыми дробят загружаемый сверху материал
Дробилка 4-валковая	Дробление кокса	Стационарная установка заводского изготовления, имеющая 4 стальных гладких валка, вращающиеся навстречу друг другу, расположенные по 2 валка друг под другом, между которыми дробят загружаемый сверху материал
Грохот инерционный 2-дечный	Рассев руд. Рассев угля и кокса. Рассев ферросплавов	Стационарная установка заводского изготовления, имеющая 2 сита, расположенные горизонтально друг над другом, с приводом для встряхивания сит, сверху на которые подают рассеваемый материал
Ленточные транспортеры	Транспортировка сырьевых материалов	Стационарная установка заводского изготовления, состоящая из транспортерной ленты, натянутой между двумя вращающимися стальными барабанами, горизонтально или под углом, поддерживаемая опорными роликами
Установка дозирования	Смешивание сырьевых материалов в заданном соотношении	Стационарная установка, состоящая из бункеров с сырьевыми материалами и дозаторами
Руднотермическая печь	Выплавка ферросплавов углетермическим методом непрерывным процессом	Стационарная установка, состоящая из футерованной ванны круглой или прямоугольной формы, в которую погружены электроды, с системой загрузки шихты, с системой электроподвода к электродам, мощностью 8–110 МВА, с системой сбора и эвакуации отходящих газов, с системой выпуска металла и шлака из печи

Продолжение таблицы 2.47

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
1	2	3
Машина для обслуживания леток руднотермических печей	Открывание и закрывание леток руднотермических печей	Стационарная установка заводского изготовления, состоящая из перфоратора для открывания летки и гидравлического пресса для закрывания летки огнеупорной массой
Рафинировочная печь	Выплавка ферросплавов силикотермическим методом периодическим процессом	Стационарная установка, состоящая из футерованной ванны круглой формы, в которую погружаются электроды, с системой загрузки шихты, с системой электроподвода к электродам, мощностью 4–11,5 МВА, с системой сбора и эвакуации отходящих газов и механизмом наклона ванны для слива металла и шлака
Установка печь-горн	Выплавка ферросплавов алюмотермическим методом периодическим процессом	Стационарная установка, состоящая из футерованного горна на выкатной тележке, в который погружаются электроды, с системой загрузки шихты, с системой электроподвода к электродам, мощностью 1–1,5 МВА, с системой сбора и эвакуации отходящих газов
Ковш для ферросплава	Выпуск (слив) ферросплава	Цилиндрическая емкость, футерованная огнеупорными материалами для приема жидкого ферросплава
Шлаковня	Выпуск (слив) шлака	Стальная нефутерованная емкость для приема жидкого шлака
Выкатная тележка	Передача ковша с ферросплавом и шлаковен со шлаком от печи в разливочный пролет	Рельсовая колесная тележка с приводом для перемещения
Разливочная машина	Разливка ферросплавов	Машина с системой изложниц для приема ферросплава, расположенных в виде транспортерной ленты или круговой карусели
Поддоны	Разливка ферросплавов	Плоские изложницы для приема ферросплава
Короб технологический	Сбор горячих слитков ферросплавов	Металлический сварной короб
Межцеховая передаточная тележка	Передача ферросплавов из разливочного пролета в склад готовой продукции	Рельсовая колесная тележка с приводом для перемещения

Окончание таблицы 2.47

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
1	2	3
Узел первичного дробления ферросплавов	Дробление слитков ферросплавов	Стационарный стенд с решеткой, на которой разбивают слитки ферросплава гидромолотом. Стационарная установка на базе щековой дробилки
Узел вторичного дробления ферросплавов	Дробление ферросплава до заданной крупности	Стационарная установка на базе щековой дробилки
Узел рассева ферросплавов	Рассев ферросплава на товарные фракции	Стационарная установка на базе инерционного грохота
Узел упаковки ферросплавов в мягкие контейнеры	Упаковка товарных партий ферросплавов в мягкие контейнеры	Стационарная установка, имеющая бункера для ферросплава с дозаторами и весами
Узел загрузки ферросплавов в сухогрузные контейнера	Загрузка ферросплава в сухогрузные контейнеры	Стационарная установка, имеющая бункера с питателями для ферросплава, ленточный транспортер для передачи ферросплава в сухогрузный контейнер и весовое устройство
Электромостовой кран. Электромостовой литейный кран	Разгрузка и подача сырья на подготовку в складах шихтовых материалов. Перемещение грузов в печном пролете и складе готовой продукции. Перемещение грузов в разливочном пролете	Мобильная установка заводского изготовления в виде стальной фермы, перемещающаяся по подкрановым рельсовым путям, с колесным приводом и с подкрановой тележкой, на которой установлены крановые лебедки, перемещающиеся по крановой ферме

Основное природоохранное оборудование

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду процесса производства ферросплавов на технологических участках (отделениях) устанавливается природоохранное оборудование:

- газоочистное и аспирационное оборудование, обеспечивающее необходимый уровень очистки технологических газов и аспирационного воздуха от содержащихся в них загрязняющих веществ перед отводом газов (воздуха) в атмосферу и/или возвратом обратно в рабочую зону;

- водоочистные сооружения, обеспечивающие очистку загрязненных промышленных сточных вод.

Комплексы водоочистных сооружений независимо от их производительности и типа включают: реагентное хозяйство со смесителем, камеры реакции (хлопьеобразование), горизонтальные отстойники или осветлители, фильтры, резервуары для чистой воды, насосная станция II подъема и т. д.

Природоохранное оборудование ферросплавного завода приведено в таблице 2.48 [72, 74, 85, 92].

Таблица 2.48 – Природоохранное оборудование предприятия по производству ферросплавов

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики природоохранного оборудования
Газоочистные установки	Улавливание, охлаждение и очистка печных газов и газов от леток печей	Комплекс очистных сооружений, который выполняет функции и действия по очистке воздуха
Аспирационные установки	Локализация выбросов в ферросплавных цехах в воздух рабочей зоны. Удаление запыленного воздуха из-под укрытий оборудования подготовки шихты, транспортно-технологического оборудования, узлов пересыпки, оборудования дозирования шихты, узлов разливки ферросплава на разливочных машинах, узлов дробления, рассева и упаковки ферросплава	Комплекс оборудования с разветвленной сетью воздуховодов, с вертикальными коллекторами (аспирационными стояками), с барабанными проходными коллекторами; оборудования для очистки воздуха от локальных точек забора запыленного воздуха
Водоочистные сооружения	Очистка воды, используемой для охлаждения и промывки технологических агрегатов и устройств ферросплавного цеха. Отведение шламов, образующихся на газоочистках	Комплекс оборудования, включающий отстойники, устройства и аппаратуру для химической обработки воды, осветлители и фильтры

2.7.6 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание

По всей технологической цепочке производства ферросплавов в местах выгрузки сырья, складирования, хранения пылящих материалов на открытых площадках, дробления, дозирования компонентов шихты на различном оборудовании, загрузке в ферросплавные печи, дроблении и рассеве получаемых ферросплавов, переработки шлаков имеют место организованные и неорганизованные выбросы (эмиссии) загрязняющих веществ в виде пыли, газов, образования отходов, образования сточных вод.

2.7.6.1 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание при производстве оксидов ванадия и феррованадия

Воздействие производства оксидов ванадия и феррованадия на окружающую среду по стадиям технологического процесса представлено в таблице 2.49.

Таблица 2.49 – Воздействие технологического процесса производства оксидов ванадия и феррованадия на окружающую среду

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Производство оксидов ванадия из титаномагнетитовых железорудных концентратов				
Руда	Выделение титаномагне-титовой фракции (при размоле руд)	Титаномагнетиты	Конусные и щековые дробилки, грохота, мельницы мокрого помола, магнитные сепараторы	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2, V_2O_5, шум, хвосты обогащения
Шихтовые компоненты обжига	Смешение компонентов шихты, обжиг во вращающейся печи	Огарок	Проходной смеситель, конвейеры, вращающаяся обжиговая печь, холодильник, шаровая мельница	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2, V_2O_5, газовые компоненты: NO_2, NO, CO, CO_2, SO_2; тепловое излучение, шум, вибрация
Пульпа огарка	Выщелачивание ванадия из огарка, фильтрация пульпы, очистка раствора от кремния	Раствор метаванадата натрия	Радиальные сгустители, агитаторы, ленточные фильтры	Отвальный шлам, проливы растворов
Раствор метаванадата натрия	Осаждение метаванадата аммония	Маточный раствор	Агитаторы, радиальные сгустители, ленточные фильтры	Проливы растворов, выделение аммиака в атмосферу
Маточный раствор	Выпарка	Техническая вода, оборотный раствор сульфата аммония, оборотный сульфат натрия	Выпарные установки	Газовые компоненты: NO_2, NO, CO, CO_2, SO_2
Метаванадат аммония	Термическое разложение метаванадата аммония	Оксиды ванадия	Барабанная сушилка, реакторы термического разложения	Взвешенные вещества состава: ванадат аммония, оксиды ванадия; аммиак

Продолжение таблицы 2.49

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Производство оксидов ванадия из конвертерных шлаков дуплекс-процесса				
Шлак дуплекс-процесса	Измельчение шлака, отделение металловключений, смешение с реакционной добавкой	Шихта, металловключения	Щековые и роторные дробилки, шаровые мельницы, классификаторы, сгустители, фильтры, конвейеры	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2, V_2O_5, шум
Шихта	Окислительный обжиг	Огарок	Вращающаяся или многоподовая печь, холодильник, стержневая мельница	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2, VO_3; газовые компоненты, тепловое излучение, шум
Огарок	Выщелачивание ванадия	Раствор ванадия	Агитаторы, насосы, фильтры, баки	Отвальный шлам, проливы серной кислоты, отработанные фильтровальные ткани
Раствор ванадия	Осаждение ванадия, термическая обработка осадка ванадия	Товарные оксиды ванадия, маточный раствор, соединения Cr(VI)	Баки, агитаторы, сгустители, фильтры, печи	Кислотные испарения, диоксид серы, маточные растворы, дымовые газы
Маточный раствор, соединения Cr(VI)	Нейтрализация маточных растворов, очистка от Cr(VI)	Оборотная техническая вода	Баки, агитаторы, фильтры	Сливная вода, осадки известкования, осадки соединений хрома
Производство феррованадия				
Компоненты шихты	Смешение компонентов	Шихта	Бункера, смеситель, технологическая посуда	Взвешенные веществ состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2, V_2O_5

Окончание таблицы 2.49

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Шихта	Выплавка сплава	Слиток феррованадия, шлаковый слиток	Тигли, электродуговые печи, шлаковые чаши, изложницы, краны	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2, V_2O_5, электромагнитное излучение, тепло, шум
Слиток феррованадия	Дробление, классификация и упаковка металла	Товарный продукт	Щековые дробилки, грохота	Взвешенные вещества состава: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, MnO, V_2O_5, шум
Шлаковый слиток	Дробление	Товарный продукт	Копер, щековая дробилка	Взвешенные вещества состава: : Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2, V_2O_5, шум

2.7.6.2 Материальные потоки, виды эмиссий, их образование и улавливание при производстве ферросплавов

Воздействие производства ферросплавов на окружающую среду по стадиям технологического процесса представлено в таблице 2.50 [72, 74].

Таблица 2.50 – Воздействие производства ферросплавов на окружающую среду по стадиям технологического процесса

Входной поток	Этап процесса	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
1	2	3	4	5
Шихтовые компоненты для плавки ферросплавов	Подготовка руды	Фракция руды	Щековая дробилка. Грохот	Взвешенные вещества состава*: C, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2,MoO_2, B, Nb; шум, вибрация, неорганизованные выбросы
	Подготовка углеродистых восстановителей	Фракция угля и кокса	Валковые дробилки. Грохот	

Продолжение таблицы 2.50

Входной поток	Этап процесса	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
1	2	3	4	5
	Подготовка стальной стружки	Фракция стальной стружки	Стружкодробилка Барабанный грохот	Взвешенные вещества состава*: Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, шум, неорганизованные выбросы
Фракционированные шихтовые компоненты	Транспортировка шихтовых материалов плавильный цех	Фракционированные шихтовые компоненты	Ленточные конвейера	Взвешенные вещества состава*: C, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, TiO_2,MoO_2, B, Nb; шум, вибрация
Фракционированные шихтовые компоненты	Дозирование шихты	Смешанная шихта	Дозаторы непрерывные или порционные	Взвешенные вещества состава*: C, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, Cr_2O_3, CrO_3 TiO_2,MoO_2, B, Nb, CaF_2, шум, вибрация
Смешанная шихта	Загрузка шихтовых материалов в ферросплавную печь	Загруженная шихта в ферросплавной печи	Труботечки. Машина DDS	Взвешенные вещества состава*: C, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, Cr_2O_3, CrO_3, TiO_2,MoO_2, B, Nb, иное CaF_2, шум, неорганизованные выбросы
Загруженная шихта в ферросплавной печи	Плавка ферросплава в ферросплавной печи	Расплав в печи, газообразные продукты плавки, CO, CO_2, жидкий ферросплав, жидкий шлак	Ферросплавная печь	Взвешенные вещества состава*:C, MnO, Cr_2O_3, CrO_3, SiO_2, Al_2O_3, FeO, CaO, MgO, CaF_2, TiO_2,MoO_2, B, Nb; газовые компоненты NO_x, CO, CO_2, SO_2, шум, тепловое излучение, электромагнитное излучение, вибрация,
Печные газы	Сбор и очистка печных газов	Очищенные газы. Уловленная пыль	Газоочистные установки	Шум, вибрация

Продолжение таблицы 2.50

Входной поток	Этап процесса	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
1	2	3	4	5
Жидкий ферросплав и жидкий шлак	Выпуск жидкого ферросплава и шлака в ковш и шлаковни	Жидкий ферросплав и шлак в разливочном ковше и шлаковнях	Машина для открывания и закрывания леток печей	Взвешенные вещества состава*: C. Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, Cr_2O_3, CrO_3 CaF_2, TiO_2,MoO_2, B, Nb; тепловое излучение, шум, неорганизованные выбросы
Жидкий ферросплав в разливочном ковше	Разливка ферросплава	Слитки ферросплава	Разливочные машины. Поддоны	Взвешенные вещества состава*: C, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, Cr_2O_3, CrO_3 TiO_2,MoO_2, B, Nb; тепловое излучение, шум, вибрация, неорганизованные выбросы
Слитки ферросплава	Первичное дробление слитков ферросплава	Дробленый ферросплав первичного дробления	Узел первичного дробления	Взвешенные вещества состава*: C, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, MnO, Cr_2O_3, CrO_3, TiO_2,MoO_2, B, Nb; шум, вибрация
Дробленый ферросплав первичного дробления	Вторичное дробление ферросплава	Дробленый ферросплав вторичного дробления	Узел вторичного дробления	Взвешенные вещества состава*: C, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, MnO, Cr_2O_3, CrO_3, TiO_2,MoO_2, B, Nb; шум, вибрация
Дробленый ферросплав вторичного дробления	Фракционирование ферросплава	Фракционированный ферросплав	Узел рассева на базе инерционного грохота	Взвешенные вещества состава*: C, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, MnO, Cr_2O_3, CrO_3, TiO_2,MoO_2, B, Nb; шум, вибрация
Фракционированный ферросплав	Упаковка ферросплава	Упакованный ферросплав в мягких или сухогрузных контейнерах	Узел упаковки в мягкие контейнеры. Узел упаковки в сухогрузные контейнеры	Взвешенные вещества состава*: C, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, MnO, Cr_2O_3, CrO_3, TiO_2,MoO_2, B, Nb; шум

Окончание таблицы 2.50

Входной поток	Этап процесса	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
1	2	3	4	5
Упакованный ферросплав в мягких или сухогрузных контейнерах	Отгрузка ферросплава	Товарный ферросплав	Мостовой кран, козловой кран. Ричтакер	Взвешенные вещества состава*: C, FeO, Fe_2O_3, SiO_2, MnO, Cr_2O_3, CrO_3, TiO_2,MoO_2, B, Nb; шум, вибрация
Жидкие ферросплавные шлаки	Охлаждение и переработка ферросплавных шлаков	Перерабо-танные шлаки, металлоконц ентрат	Оборудование для переработки шлаков	Взвешенные вещества состава*: C, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, CaO, SiO_2, MgO, MnO, Cr_2O_3, CrO_3 TiO_2,MoO_2, B, Nb, CaF_2; тепловое излучение, шум

*Состав взвешенных веществ определяется видом выплавляемого ферросплава и способом его производства и контролируется выборочно по ведущему компоненту сплава.

2.7.6.3 Факторы воздействия на окружающую среду при производстве ферросплавов

Производство ферросплавов по всей технологической цепочке сопровождается воздействием на атмосферу, воздух рабочей зоны цехов, поверхностные и подземные воды, образованием отходов производства и потребления.

Выбросы в атмосферу

При производстве ферросплавов имеют место выбросы в атмосферу загрязняющих веществ: взвешенные вещества состава*: MnO, Cr_2O_3, CrO_3, SiO_2, Al_2O_3, FeO, CaO, MgO, C, CaF_2, TiO_2, MoO_2, B, Nb и т. д.; газовые компоненты – оксиды азота (NO_x), оксиды углерода (CO, CO_2), диоксид серы (SO_2),а также физические факторы – тепловое излучение, шум, вибрация, электромагнитное излучение.

*Состав взвешенных веществ определяется видом выплавляемого ферросплава и способом производства ферросплава и контролируется выборочно по ведущему компоненту сплава.

Сточные воды

Водоснабжение потребителей технической водой осуществляется по водооборотным системам:

- система водоснабжения технологических агрегатов плавильного цеха;
- система водоснабжения технологических агрегатов разливки ферросплавов;
- система водоснабжения мокрых газоочисток закрытых и герметизированных руднотермических печей.

Оходы и побочные продукты

В процессе производства ферросплавов образуются отходы и побочные продукты:

- отсевы угля и кокса;
- отсевы руды;
- пыль шихтовых материалов;
- пыль сухих газоочисток;
- шламы мокрых газоочисток;
- лом стальной;
- отходы от самоспекающихся электродов;
- отходы футеровки ковшей;
- отходы футеровки ферросплавных печей;

Отходы производства преимущественно утилизируются.

Вредные производственные факторы

При производстве ферросплавов производственными факторами являются:

- повышенное напряжение в электрической цепи (свыше 50 В);
- движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенный уровень инфракрасной радиации;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная температура расплавов, поверхности оборудования, материалов;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности пола;
- повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны.

Допускаемые санитарными нормами уровни и концентрации вредных факторов:

- предельно допустимая концентрация (ПДК) неорганической пыли – 6 мг/м^3;
- уровень производственного шума – 80 дБ;
- ПДК окиси углерода – 20 мг/м^3;
- уровень инфракрасного излучения – 140 Вт/м^2.

2.8 Системы менеджмента

2.8.1 Системы экологического менеджмента

Ожидания общества в отношении устойчивого развития, прозрачности и подотчетности развивались наряду с ужесточением природоохранного законодательства, растущим воздействием загрязнений на окружающую среду, неэффективным использованием ресурсов, неправильным управлением отходами, климатическими изменениями, деградацией экосистем и потерей биологического разнообразия.

Указанные проблемы оказывают значительное влияние на бизнес и распространяются на общество в целом, контрольно-надзорные органы, потребителей, клиентов, локальные сообщества и другие заинтересованные стороны, которым необходимы гарантии бизнеса по бережному и ответственному отношению к

окружающей среде, а также по отсутствию пагубных последствий деятельности организации, ее продукции и производственных операций.

Системный подход к решению вопросов экологического менеджмента дает возможность управлять бизнес-рисками, а также обеспечивать высокий уровень экологической ответственности [93]

Система экологического менеджмента (СЭМ) представляет собой часть системы менеджмента организации, используемую для управления экологическими аспектами, выполнения принятых обязательств и учитывающую риски и возможности [94]. Основой систем менеджмента организации является цикл PDCA (Plan – планируй, Do – делай, Check – контролируй, Act – принимай решения), который представляет непрерывный, повторяющийся процесс, позволяющий организации разработать, внедрить и поддерживать ее экологическую политику и постоянно совершенствовать систему экологического менеджмента в целях улучшения показателей экологической эффективности [230].

В общем случае система менеджмента – это совокупность взаимосвязанных элементов, используемых для установления политики и целей, а также для достижения этих целей (рисунок 2.84). СЭМ включает в себя организационную структуру, деятельность по планированию, распределение ответственности, практики, процедуры, процессы и ресурсы.

Эффективность системы экологического менеджмента определяется следующими условиями [93]:

- управляется не изолированно, а интегрирована в бизнес-процессы организации;
- принимается во внимание при принятии стратегических бизнес-решений;
- согласована с бизнес-целями;
- обеспечивается ресурсами, предоставляемыми своевременно и эффективным образом;
- приносит реальную пользу для организации;
- постоянно улучшает и обеспечивает долгосрочный успех.

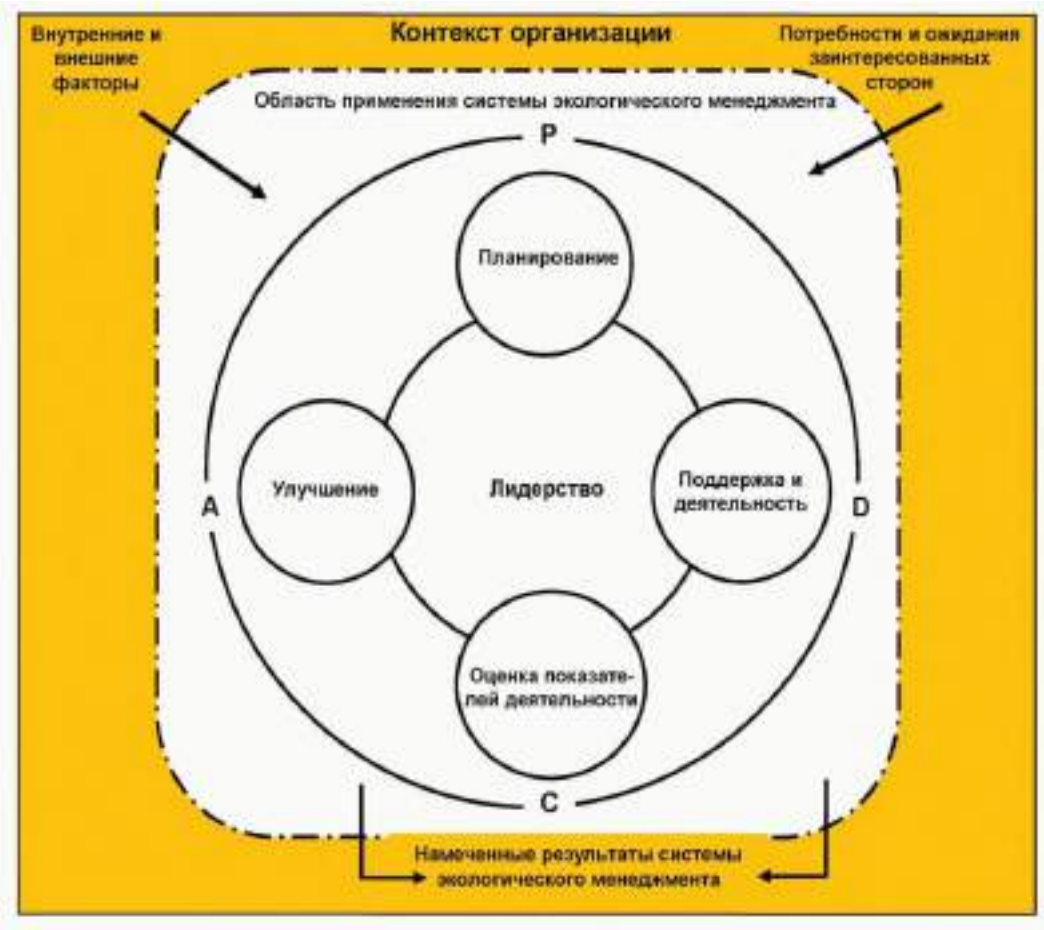


Рисунок 2.84 – Модель системы экологического менеджмента [93]

Экологический аспект – ключевое понятие СЭМ. Экологический аспект рассматривается как элемент деятельности организации, ее продукции или услуг, который может взаимодействовать с окружающей средой. Использование этого понятия существенно облегчает применение подходов предотвращения загрязнения, так как позволяет идентифицировать и обеспечить контроль экологических аспектов и тем самым минимизацию негативного воздействия при условии соблюдения производственных требований. Соотношение «экологические аспекты» и «воздействие на окружающую среду» можно рассматривать как соотношение «причины и условия» и «следствие». В контексте НДТ это означает, что контроль причин и условий воздействия – экологических аспектов – позволяет решать задачи предотвращения и/или сокращения негативного воздействия организации на окружающую среду, т. е. обеспечивать ее защиту.

Для предприятий области распространения настоящего справочника НДТ приоритетные экологические аспекты идентифицируются в результате анализа таких факторов воздействия на окружающую среду, как (см. раздел 3):

- выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;
- сбросы загрязняющих веществ в водные объекты и организация водооборотных циклов;
- образование отходов;
- потребление энергии, сырья и материалов.

В открытых нефинансовых отчетах компаний, предприятия которых реализуют виды деятельности, отнесенные к областям применения настоящего справочника НДТ, отмечено, что приоритетное внимание следует уделять улучшению показателей экологической результативности производственных процессов и учету экологических требований в инвестиционной политике при реконструкции и развитии производства.

Планирование имеет решающее значение для определения и принятия мер, необходимых для достижения СЭМ запланированных результатов и адекватного реагирования:

- на наиболее важные экологические аспекты (т.е. для повышения экологической эффективности и предотвращения загрязнений);
- соблюдение обязательств в части соответствия требованиям;
- риски и потенциальные возможности, существенные для рассмотрения.

Следует отметить, что с принятием стандартов [95,96] появились системные инструменты, которые нацелены на повышение результативности системы экологического менеджмента (менеджмент рисков, оценка зрелости элементов системы).

В целях определения областей совершенствования СЭМ, планирования мероприятий, прогноза достижения заявленных результатов целесообразна оценка уровня зрелости СЭМ и/или ее отдельных элементов с применением матрицы зрелости (см. таблицу 2.51). Строки в матрице соответствуют элементам СЭМ по [94], а столбцы матрицы – характеру (уровню) выполнения соответствующих требований стандарта (их 5, низший уровень зрелости 1, высший уровень зрелости 5). Уровни 1 и 5 определены четко. Уровень 1 характеризует понимание конкретного элемента СЭМ в целом, но не означает соответствия стандарту. Уровни 2–4 в этой матрице не характеризуют каких-либо конкретных показателей системы экологического менеджмента, однако предназначены для облегчения продвижения каждого ее элемента по матрице уровней зрелости. Уровень 5 отвечает требованиям стандарта [94] к конкретному элементу СЭМ [96].

Таблица 2.51 – Матрица зрелости системы экологического менеджмента и ее элементов (пример)

Подпункт стандарта*	Уровни зрелости системы экологического менеджмента				
	1	2	3	4	5
4.1 Понимание организации и ее контекста					
4.2 Понимание потребностей и ожиданий всех заинтересованных сторон					
4.3					
4.4					
5.1					

Продолжение таблицы 2.51

Подпункт стандарта*	Уровни зрелости системы экологического менеджмента				
	1	2	3	4	5
5.2 Экологическая политика организации	Руководители высшего звена организации признают необходимость в организации соответствующей экологической политики	Руководители высшего звена организации разработали проект экологической политики, которая в соответствии с областью применения СЭМ подходит для данной организации (соответствует целям и контексту организации, включая тип, масштаб и виды воздействия ее деятельности, продукции и услуг на окружающую среду)	Руководители высшего звена организации завершили разработку экологической политики, которая учитывает заинтересованность в: - защите окружающей среды, включая предотвращение вредных загрязнений; - выполнении обязательств по соблюдению экологических и иных требований (обязательства соответствия); - непрерывном совершенствовании СЭМ с целью повышения экологической эффективности	Экологическая политика внедряется и распространяется во всей организации. Политика в области охраны окружающей среды регистрируется в виде задокументированной информации	Экологическая политика используется в качестве основы для определения экологических целей
5.3					
6.1.1 Действия в отношении рисков и возможностей					
6.1.2 Экологические аспекты					
….					

Окончание таблицы 2.51

Подпункт стандарта*	Уровни зрелости системы экологического менеджмента				
	1	2	3	4	5
9.2 Внутренний аудит					
9.3 Анализ со стороны руководства					
….					
10.2 Несоответствия и корректирующие действия					
10.3 Непрерывное совершенствование СЭМ					

* [130]

Современные системы менеджмента разрабатываются с учетом оценки рисков и возможностей: первоочередное внимание уделяется экологическим аспектам, вызывающим наиболее значимое негативное воздействие на окружающую среду, обусловливающим репутационные риски и проблемы взаимодействия с природоохранными органами и населением и, напротив, открывающим дополнительные возможности для развития бизнеса [94, 97][1)].

Организация должна иметь процесс(ы) определения рисков и возможностей, которые необходимо учесть, при этом организация обладает свободой в выборе подхода к определению рисков и возможностей. Примеры рисков и возможностей, которые необходимо учесть, представлены в [93].

Организация может использовать существующие бизнес-процессы для определения рисков и возможностей. Выбранный подход может предусматривать простой качественный метод или количественную оценку (например, применение критериев для матрицы принятия решений) в зависимости от среды, в которой функционирует организация. Примеры подходов представлены в [93].

Применительно к СЭМ существуют три возможных источника рисков и возможностей, которые необходимо принимать во внимание для обеспечения уверенности в том, что система экологического менеджмента может достигнуть намеченных результатов, предотвратить или уменьшить нежелательные воздействия и добиться постоянного улучшения:

- экологические аспекты;
- принятые обязательства;
- другие факторы и требования.

[1)] Концепция риск-ориентированного подхода подразумевалась и в предыдущих версиях стандартов, включая, например, выполнение предупреждающих и корректирующих действий.

Установленные риски и возможности, которые необходимо учесть, являются входами для деятельности по планированию, для разработки экологических целей и для управления соответствующими видами деятельности в целях предотвращения неблагоприятного экологического воздействия и других нежелательных воздействий.

Последовательное улучшение экологической результативности и предотвращение загрязнения являются ключевыми принципами СЭМ.

Предотвращение загрязнения предполагает использование процессов, практических методов, подходов, материалов, продукции или энергии для того, чтобы избежать, уменьшить или контролировать (отдельно или в сочетании) образование, выброс или сброс любого типа загрязняющих веществ или отходов, чтобы уменьшить отрицательное воздействие на окружающую среду. Предотвращение загрязнения может включать уменьшение или устранение источника, изменение процесса, продукции или услуги, эффективное использование ресурсов, замену материалов и энергии, повторное использование, восстановление, вторичную переработку, утилизацию и очистку [94]. Таким образом, принцип предотвращения загрязнения полностью соответствует содержанию термина «наилучшие доступные технологии».

Последовательное улучшение – периодический процесс совершенствования системы экологического менеджмента с целью улучшения общей экологической результативности, согласующийся с экологической политикой организации [97].

«Процесс улучшения, год за годом, измеримых результатов системы экологического менеджмента, связанных с управлением организацией ее значимыми экологическими аспектами, основанный на ее экологической политике, целях и задачах, причем улучшение результатов необязательно должно происходить во всех сферах деятельности одновременно».

Процесс последовательного улучшения реализуется путём постановки экологических целей и задач, выделения ресурсов и распределения ответственности для их достижения и выполнения. При этом с точки зрения наилучших доступных технологий детализированные требования к результативности должны ставиться с учётом технологических показателей НДТ. Тем самым, принцип последовательного улучшения приобретает конкретность, получает численные ориентиры, что соответствует современным взглядам на требования к системам экологического менеджмента [97].

В связи с тем, что для постановки и проверки выполнения задач СЭМ необходимо обеспечить систему оценки (в том числе и по результатам измерений) показателей результативности, разработка программ экологического менеджмента предполагает и совершенствование практики производственного экологического мониторинга и контроля, включая выбор, обоснование и организацию измерений ключевых параметров [98]. Это тем более важно, что согласно нормативно-правовым актам [99, 100–102] стационарные источники выбросов и сбросов загрязняющих веществ предприятий 1 категории подлежат оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов и/или сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и/или сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

В отличие от прошлых версий стандартов, устанавливающих требования к СЭМ, в [94, 97] значительное внимание уделено таким понятиям, как демонстрация лидерства

на всех уровнях, учёт контекста (среды) организации и ожиданий заинтересованных сторон, а также, как уже отмечено, учёт рисков и возможностей [93, 95].

В порядке учёта контекста (среды) организации необходимо определить внешние и внутренние факторы, относящиеся к намерениям организации и влияющие на её способность достигать намеченных результатов. Такие факторы должны включать в себя особенности экологических условий, воздействия организации на окружающую среду, а также сложившееся в обществе восприятие вида деятельности или отрасли.

Подчеркнём, что в ряде субъектов Российской Федерации предприятия чёрной металлургии (в том числе предприятия, производящие чугун и сталь) воспринимаются как крупнейшие загрязнители, вносящие существенный вклад в загрязнение воздушной среды и в объемы образования отходов в регионе. Отнесение предприятий чёрной металлургии к объектам I категории не может не проявиться в формировании новых ожиданий заинтересованных сторон, в том числе предполагающих, что компании возьмут на себя новые обязательства. При этом инструменты СЭМ могут быть использованы для идентификации заинтересованных сторон, их потребностей и ожиданий, а также для обеспечения доступа к информации о соблюдении требований наилучших доступных технологий.

Действенность СЭМ обеспечивается путём разработки, внедрения и соблюдения основных процедур, необходимых для управления экологическими аспектами. Процедуры определяют последовательность операций и важные факторы этапов различных видов деятельности. В процедуры могут быть включены рабочие критерии нормального выполнения этапа, действия в случае отклонения от нормы, или критерии выбора последующих этапов.

Процедуры позволяют обеспечить:

- взаимодействие подразделений для решения задач, вовлекающих более одного подразделения;
- функционирование сложных организационных структур (например, матричных);
- точное выполнение всех этапов важных видов деятельности;
- надежный механизм изменения действий (в частности, последовательного улучшения);
- накопление опыта и передачу его от специалистов новым работникам.

В связи с тем, что значительное негативное воздействие на окружающую среду нередко вызывается нештатными ситуациями, СЭМ включает требование обеспечения подготовленности к таким ситуациям и разработки ответных действий. Предприятие должно установить, внедрить и поддерживать процедуру(ы), необходимую(ые) для выявления потенциально возможных аварий и нештатных ситуаций, которые могут оказывать воздействие на окружающую среду, и определения того, как организация будет на них реагировать. Предприятие должно также реагировать на возникающие нештатные ситуации и аварии и предотвращать или смягчать связанные с ними негативные воздействия на окружающую среду. Работоспособность таких процедур целесообразно периодически проверять на практике.

В контексте наилучших доступных технологий речь не идёт о сертификации систем экологического менеджмента. Аналогичная позиция представлена в справочнике Европейского Союза по наилучшим доступным технологиям [103]. В этом документе сказано, что наилучшей доступной технологией следует считать разработку СЭМ и следование её принципам. Практический опыт отечественных предприятий

свидетельствует о том, что основные преимущества состоят в использовании ключевых методов СЭМ, в том числе таких, как:

- идентификация экологических аспектов производства (и выделение из их числа приоритетных аспектов);
- укрепление системы производственного экологического мониторинга и контроля;
- разработка и выполнение программ экологического менеджмента и тем самым достижение последовательного улучшения результативности там, где это практически возможно;
- разработка и внедрение процедур, необходимых для обеспечения соответствия организации требованиям нормативов, установленных на основе технологических показателей.

Предприятия, реализующие виды деятельности, отнесенные к областям применения настоящего справочника НДТ, занимаются разработкой, внедрением и совершенствованием систем экологического менеджмента (СЭМ) со времени публикации первых международных стандартов (1996–1998 гг.). В настоящее время действуют стандарты ISO 14001:2015 [97] и ГОСТ Р ИСО 14001–2016 [94], и многие компании сообщают о получении сертификатов в соответствии с новыми требованиями.

Информация об этом размещена на официальных сайтах компаний.

Затраты и выгоды внедрения систем экологического менеджмента

Затраты на внедрение СЭМ зависят от многих факторов, в том числе от наличия работоспособной системы менеджмента качества, от уровня подготовки персонала, от размера предприятия (количества сотрудников), от решения руководства о привлечении консультационных компаний или о внедрении системы экологического менеджмента собственными силами. По некоторым оценкам, для крупных организаций затраты на полномасштабное внедрение СЭМ могут достигать 2–4 млн руб. (не включая трудозатраты персонала). При этом следует подчеркнуть, что разработка и применение основных методов СЭМ, как правило, не требуют привлечения сторонних консультантов, но позволяют получить многие преимущества в сфере управления приоритетными экологическими аспектами.

Наиболее значимая составляющая экономической эффективности природоохранной деятельности, усиливающая внедрение СЭМ, связана с применением принципа предотвращения загрязнения. Гораздо более эффективно, а нередко – единственно возможно, снизить негативное воздействие какой-либо деятельности на окружающую среду за счет влияния на процессы, его вызывающие, – первопричину воздействия. Процессный подход и методы предотвращения загрязнения стремятся устранить причину вредного воздействия, оперируя такими методами, как:

- изменение инструментов управления и организации производства;
- вторичное и многократное использование и/или переработка материалов;
- изменение технического оформления производственных процессов;
- изменение технологии (переход на технологию, соответствующую НДТ, более экологически безопасную и ресурсоэффективную).

Методы предотвращения загрязнения зачастую оказываются весьма результативными и экономически эффективными. Это относится и к методам, связанным с изменением технологических решений (требующим значительных затрат), но в первую очередь – к организационным подходам, связанным с контролем процесса

производства, вторичным использованием или переработкой материалов, логистикой производства и т. п.

Именно эти методы становятся основным инструментом СЭМ по снижению воздействия на окружающую среду. Подходы предотвращения загрязнения могут использоваться совместно и одновременно с методами «на конце трубы», дополняя друг друга для обеспечения максимальной экономической эффективности и экологической результативности. Более того, СЭМ играет роль той структуры, в которой поиск и применение подходов предотвращения загрязнения принимает регулярный и систематический характер, а организационные и управленческие решения реализуются наиболее успешно.

2.8.2 Системы энергетического менеджмента и повышение энергоэффективности производства

Черная металлургия России занимает первое место по вовлечению вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). На долю черной металлургии приходится около 40 % тепловых и до 80 % горючих ВЭР, применяемых в промышленности. Потребности предприятий с полным металлургическим циклом в топливе (без угля для коксования) только на 30–40 % покрываются за счет его привоза и на 60–70 % – вторичными энергетическими ресурсами. Распределение ВЭР по основным переделам черной металлургии и возможное их использование приведено в таблице 2.52.

Таблица 2.52 – Распределение ВЭР по основным переделам черной металлургии

	% к общему по отрасли	% к выходу
Коксохимическое	41,7	90
Доменное	37,0	85
Мартеновское	14,6	60
Прокатное	6,7	40
По отрасли	100	80

К топливным ВЭР черной металлургии относят коксовый, доменный, ферросплавный и конвертерный газы.

Готовая продукция переделов черной металлургии (кокс, чугун, сталь, прокат), а также шлаки доменного и сталеплавильного процесса обладают двумя из указанных выше особенностей: температура их составляет 1200–1700 °С и доля уносимого физического тепла в балансе агрегатов от 5 % до 50 %. Потери тепла с готовым продуктом в черной металлургии составляют [ГДж/т продукции]: с агломератом 0,63, с коксом (после печи) 1,26, с жидким чугуном 1,05, с жидкой сталью 1,26, с жидким шлаком 0,84, с прокатом 0,5.

Физическое тепло горячих продуктов в общем случае может быть использовано по одному из следующих вариантов:

- регенерация тепла с его возвратом в данный процесс;
- технологическое использование тепла в последующем процессе;
- энергетическое использование тепла.

Тепло уходящих газов может быть использовано для нагрева шихты, воздуха, топлива, для получения пара и электроэнергии. Большинство печей оснащено

теплоутилизационным оборудованием: рекуператорами, котлами-утилизаторами и другими установками.

С целью увеличения срока службы отдельные устройства печей подвергаются принудительному охлаждению. Потери тепла с охлаждением в ряде случаев составляют 10–20 %. Это тепло может быть использовано в системах испарительного охлаждения (СИО), которыми оборудуют мартеновские, доменные, нагревательные печи. В СИО вырабатывается насыщенный пар давлением до 4 МПа.

Возможности и практику использования ВЭР следует учитывать как при идентификации НДТ, так и при установлении технологических показателей.

В целом обеспечение высокой энергоэффективности производства является одним из критериев отнесения технологических, технических и управленческих решений к НДТ [135]. Кроме того, системы энергетического менеджмента (их инструменты) отнесены к наилучшим доступным технологиям в справочнике Европейского союза по наилучшим доступным технологиям [103]. В этом документе сказано, что наилучшей доступной технологией следует считать разработку СЭнМ и следование ее принципам. В 2017 г. выпущен ИТС 48–2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и/или иной деятельности» [104]. Более того, опубликован ряд стандартов, предписывающих требования к разработке СЭнМ [105–109].

Заявления о последовательном снижении энергопотребления можно найти в открытой нефинансовой отчетности российских компаний, предприятия которых реализуют виды деятельности, соответствующие области ~~определения~~ применения настоящего справочника НДТ; приводятся сведения об использовании энергии различных источников, об общих энергозатратах в компаниях и их динамике. Сведения о проектах энергоэффективности и энергоэффективном оборудовании даны в приложении В.

Такие компании, как ПАО «НЛМК», ПАО «ММК» сообщают о внедрении систем энергетического менеджмента, подготовке кадров в этой области и активном использовании различных инструментов повышения энергоэффективности производства, о последовательном снижении потребления энергии.

Система энергетического менеджмента: основные положения

Система энергетического менеджмента представляет собой совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих элементов, используемых для установления энергетической политики и энергетических целей, а также процессов и процедур для достижения этих целей. Это определение и модель системы (рисунок 2.85), приведены в действующем ГОСТ Р ИСО 50001–2012 [110]. В контексте СЭнМ следует рассматривать риски, обусловленные несоблюдением требований к обеспечению эффективности использования энергии, устанавливаемых на государственном уровне (в том числе, например, в Стратегии развития черной металлургии), и возможности для развития бизнеса, открывающиеся при выполнении потенциально поддерживаемых различными фондами проектов в области повышения энергоэффективности производства.



Рисунок 2.85 – Цикл системы энергетического менеджмента (по [109])

СЭнМ включает в себя организационную структуру, деятельность по планированию, распределение ответственности, практики, процедуры, процессы и ресурсы. Как и любая другая система менеджмента (менеджмента качества, экологического менеджмента, менеджмента безопасности и охраны труда и др.), система энергетического менеджмента наиболее результативна в том случае, когда она органично встроена в общую систему менеджмента организации, а приоритет высокой энергетической эффективности присутствует в процессах принятия решений в компании. Достижение высоких показателей не зависит от того, является ли система энергетического менеджмента сертифицированной на соответствие международному (ISO 50001:2011) [105] или российскому (ГОСТ Р ИСО 50001–2012) [110] стандарту. Российское законодательство не требует обязательной сертификации систем энергетического менеджмента. Таким образом, решение о необходимости процедуры сертификации, хотя и создающей вполне определенную ценность независимой оценки внедренной системы и дополнительные инструменты ее совершенствования, остается на усмотрение каждого предприятия. Необходимо принимать во внимание, что любые методики и стандарты носят рамочный, рекомендательный характер и чем для более широкого круга организаций они применимы, тем более общие принципы содержат. Внедрение в конкретной организации всегда требует учета ее специфики.

Наиболее полно преимущества применения инструментов энергоменеджмента проявляются при внедрении и поддержании функционирования СЭнМ.

В состав СЭнМ входят в той мере, в какой это применимо в конкретных условиях, следующие элементы:

- обязательства высшего руководства;

- разработка и принятие энергетической политики (политики в области энергоэффективности);

- организация учета и мониторинга, энергетические аудиты, определение базовой линии энергопотребления, использование методов визуализации и построение моделей, бенчмаркинг;

- планирование, в том числе выбор значимых энергопотребителей и энергетический анализ; установление целей и задач, показателей энергетической результативности (например, показатели удельного потребления энергоресурсов на единицу выпускаемой продукции, площади помещения, количества сотрудников и т. д.); определение возможностей для улучшений и формирование плана энергосберегающих мероприятий (программы энергосбережения) с оценкой их ожидаемой экономической эффективности по одному или нескольким параметрам (простой или дисконтированный срок окупаемости, чистый дисконтированный доход, индекс рентабельности и т. д);

- операционный контроль, критические операционные параметры и технические проверки;

- проектирование;

- закупки;

- внедрение энергосберегающих мероприятий с дальнейшим мониторингом последовательного повышения энергоэффективности, соблюдения требований процедур и пр., включая определение полученного энергосберегающего эффекта в сопоставимых условиях;

- проверки результативности, в том числе внутренние аудиты; оценка со стороны руководства; подготовка периодической декларации об энергоэффективности;

- обеспечение вовлеченности персонала, в том числе информирование; обучение и повышение квалификации; создание системы рационализаторских предложений; создание системы мотивации;

- разработка и соблюдение процедур, в том числе организационная структура; документирование и ведение записей.

Для предприятий, занимающихся производством чугуна, стали, ферросплавов, решение о внедрении системы энергетического менеджмента должно приниматься на основании анализа текущей ситуации и определения приоритетных (реалистичных, позволяющих добиться значимого эффекта) направлений повышения эффективности использования энергии. При проведении такого анализа целесообразно использовать результаты отраслевого бенчмаркинга (в том числе международного), рекомендации относительно возможностей сокращения затрат энергии на всех этапах производства.

2.8.3 Менеджмент риска

Менеджмент риска следует рассматривать как инструмент, позволяющий повысить эффективность специальных систем менеджмента (в том числе СЭМ и СЭнМ) путем повышения надежности (безошибочности) при принятии решений.

Риск есть следствие влияния неопределенности (полное или частичное отсутствие информации, необходимой для понимания события, его последствий и их вероятностей) на достижение поставленных целей. Под следствием влияния неопределенности необходимо понимать отклонение от ожидаемого результата или события (позитивное и/или негативное) [95].

Риск часто характеризуют путем описания возможного события (включая изменение обстоятельств) и его последствий или их сочетания и соответствующей вероятности.

Неопределенность в отношении достижения поставленных целей (в том числе в сфере охраны окружающей среды и энергоэффективности) возникает под действием внешних и внутренних факторов, с которыми сталкивается организация в процессе своей деятельности.

Менеджмент риска является частью корпоративного управления организации и имеет фундаментальное значение для управления на всех уровнях.

Менеджмент риска основан на принципах, структуре и процессе, описанных в [229] как показано на рисунке 2.86.

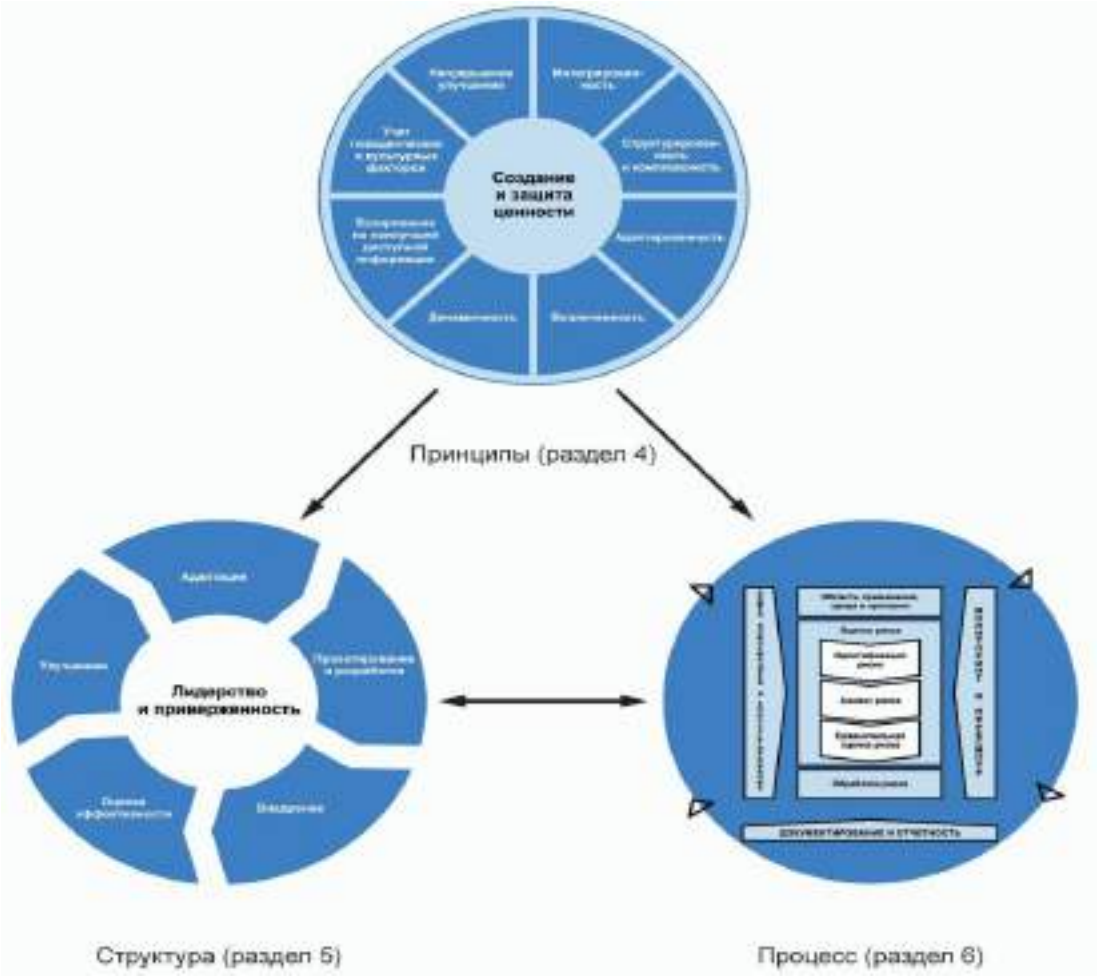


Рисунок 2.86 – Принципы, структура и процесс [95]

Соблюдение принципов, подобных другим системам менеджмента, позволит организации управлять влиянием неопределенности в отношении достижения целей организации:

- интегрированность. Интегрированный менеджмент риска является неотъемлемой частью всей деятельности организации;

- структурированность и комплексность. Структурированный и комплексный подход к менеджменту риска способствует согласованным и сопоставимым результатам;

- адаптированность. Структура и процесс менеджмента риска настраиваются и соразмерны внешней и внутренней среде организации, ее целям;

- вовлеченность. Вовлеченность заключается в надлежащем и своевременном участии причастных сторон, что позволяет учитывать их знания, взгляды и мнения, что приводит к повышению осведомленности и информативности в рамках менеджмента риска;

- динамичность. Риски могут возникать, меняться или исчезать по мере изменения внешней и внутренней среды организации; при этом менеджмент риска предвосхищает, обнаруживает, признает и реагирует на эти изменения и события соответствующим и своевременным образом;

- базирование на наилучшей доступной информации. В качестве исходных данных используются архивные и текущие данные, а также прогнозные ожидания; информация должна быть актуальной, ясной и доступной для всех причастных сторон;

- учет поведенческих и культурных факторов. Поведение и культура человека существенно влияют на все аспекты менеджмента риска на каждом уровне и этапе;

- непрерывное улучшение. Менеджмент риска постоянно улучшается благодаря обучению и накоплению опыта.

Внедрение *структуры* менеджмента риска включает в себя интеграцию, проектирование и разработку, внедрение, оценку и улучшение менеджмента риска в организации (компоненты структуры представлены на рисунке 2.86). Надлежащим образом спроектированная и внедренная структура менеджмента риска гарантирует, что процесс менеджмента риска будет являться частью всей деятельности организации, включая процессы принятия решений. Степень интеграции менеджмента риска в управление организацией будет определять эффективность менеджмента риска.

Процесс менеджмента риска предполагает систематическое применение политик, процедур и действий по обмену информацией и консультированию, определению среды, а также по оценке, обработке риска, мониторингу, пересмотру, документированию рисков и подготовке отчетности.

Процесс менеджмента риска должен быть неотъемлемой частью управления и принятия решений и интегрирован в структуру, операционную деятельность и процессы организации. Он может применяться на стратегическом, операционном, программном или проектном уровнях.

Оценка риска – это процесс, охватывающий идентификацию риска, анализ риска и сравнительную оценку риска.

Анализ риска включает подробное рассмотрение неопределенностей, источников риска, последствий, вероятности, событий, сценариев, методов управления риском и их эффективности. Анализ риска должен учитывать такие факторы, как:

- вероятность событий и последствий;
- характер и масштабы последствий;
- сложность и взаимосвязь с другими рисками;
- факторы, связанные со временем, волатильность;
- эффективность существующих методов управления риском;
- уровень чувствительности и достоверности.

Организация должна указать размер и тип риска, который она может или не может считать приемлемым по отношению к своим целям. Она также должна определить критерии для оценки значимости риска и поддержки процессов принятия решений.

Принятие решений базируется на сравнительной оценке риска (сравнение результатов анализа риска с установленными критериями риска). Возможны следующие варианты решений:

- не предпринимать никаких мер;
- рассмотреть варианты обработки риска;
- провести дальнейший анализ, чтобы лучше понять риск;
- поддерживать существующие методы управления риском;
- пересмотреть цели.

Выбор *варианта обработки риска* (нейтрализации, устранения риска) определяется целями организации, критериями риска, имеющимися ресурсами. В любом случае решение должно быть взвешенным с учетом потенциальных выгод от достижения целей и требуемых затрат, усилий или недостатков. В принципиальном аспекте варианты обработки риска могут включать одно или несколько из следующих:

- избежание риска посредством решения не начинать или не продолжать деятельность, в результате которой возникает риск;
- принятие или увеличение риска для использования благоприятной возможности;
- устранение источника риска;
- изменение вероятности реализации риска;
- изменение последствий реализации риска;
- разделение риска с другой стороной или сторонами (например, договор аутсорсинга, страхование);
- осознанное удержание риска путем принятия обоснованного решения.

Внедрение менеджмента риска и ее интеграция во все направления деятельности организации является прерогативой высшего руководства организации.

Лидерство и приверженность руководства принципам менеджмента риска может быть отражена в обязательствах (аналог политики в СЭМ и СЭнМ), которые могут включать (но не ограничиваться этим) следующие положения:

- цели организации в отношении менеджмента риска и связи с общими целями и другими политиками;
- закрепление необходимости интегрировать менеджмент риска в общую культуру организации;
- интеграцию менеджмента риска в основные виды деятельности и процесс принятия решений;
- определение полномочий, обязанностей и ответственности;
- обеспечение доступа к необходимым ресурсам;
- создание механизмов решения конфликтных задач;
- измерение показателей эффективности организации и подготовки отчетности по ним;
- пересмотр и улучшение.

Процедуры менеджмента риска применимы к любой деятельности, включая процесс принятия решений на всех уровнях управления.

2.9 Экономические аспекты внедрения НДТ

В 2020 г. Россия выплавила 73,8 млн т стали, заняв 4 место в мире по объему производства после Китая, Японии, Индии, при этом в экспорте Россия занимает 7 % долю (и 3-е место в мире).

В период после 2000 г. в металлургической отрасли активно производились работы по строительству новых и модернизации существующих объектов и производств черной металлургии, развитию высокотехнологичных способов выплавки стали, причем ориентированных на самые современные мировые технологии и стандарты, что можно с уверенностью отнести к наилучшим доступным технологическим решениям или наилучшим практикам.

В целом металлургическими компаниями России в период 2000–2020 гг. было инвестировано в строительство новых производств и модернизацию существующих ~3 трлн. руб. (по последним уточненным данным [111] 4 трлн. руб.).

Эффективность модернизации черной металлургии на этапе с 2000 г. по 2020 г. можно оценить следующими технико-экономическими показателями:

- износ основных производственных фондов снизился с 53,5 % до 42 %;
- доля мартеновского производства в общем производстве стали сократилась до менее 2 %;
- доля разливки стали на машинах непрерывного литья заготовок увеличилась до 82 %;
- расход стали на производство одной тонны проката уменьшился на 12, 4 % (с 1,262 до 1,105 т/т стали).

Практика показывает, что существенного прогресса в обеспечении экологической безопасности удается достичь при комплексном решении проблем совмещением модернизации и оснащения средозащитным оборудованием. Вследствие этого обстоятельства экономические аспекты реализации НДТ должны рассматриваться с точки зрения потребных совокупных затрат на модернизацию (реконструкцию или строительство новых агрегатов или установок) действующих металлургических производств и природоохранное оборудование по той причине, что, как показывает практика, такой подход в отличие только от действий на «конце трубы» гарантирует не только более высокую эффективность, но, что немаловажно, и окупаемость проекта (при условии увеличения производительности обновленных агрегатов).

Вместе с тем ввиду высокой конкуренции в металлургической отрасли как в национальном, так и мировом масштабе вследствие глобализации производства экономическая информация имеет статус коммерческой тайны. По этой причине получить исчерпывающие сведения о затратах на проекты технического перевооружения (внедрения НДТ) затруднительно или не всегда возможно:

- отдельные компании дают агрегированные сведения о затратах по программе модернизации в целом (иначе говоря, для совокупности проектов), поэтому невозможно выделить затраты именно на конкретный объект;
- для некоторых проектов имеются только данные по стоимости оборудования (без проектирования и строительно-монтажных работ), что делает оценку существенно заниженной;

- в частных случаях приводятся сведения о затратах на средозащитное оборудование без затрат на технологическое оборудование, которое именно в комплексе обеспечивает наилучшие показатели в части воздействия на окружающую среду, ресурсо- и энергосбережения;

- преимущественно информация о стоимости сооружения объекта (технологии) не приводится.

Для неких предварительных оценок в отношении средозащитного оборудования имеются определенные стандартные практические подходы: стоимость сооружений очистки от пыли отходящих в металлургических процессах технологических или аспирационных газов, отвечающих требованиям НДТ, ориентировочно оценивается величиной 1000 руб./м^3 очищаемого газа. Строительство комплекса очистки воздуха после охладителей агломерата на базе сухих электрофильтров на объем 1,5 млн м^3/ч обошлось в 1,3 млрд руб.; для модуля очистки аспирационного воздуха литейного двора доменной печи на базе рукавного фильтра нового поколения на объем очищаемого воздуха в 600 тыс. м^3/ч затраты составили 300 млн руб.

Затраты на оборудование (без стоимости вспомогательного оборудования, строительно-монтажных и пуско-наладочных работ), применяемого для очистки газов от пыли в технологиях производства кокса, приведены в таблицах 2.53–2.56.

Таблица 2.53 – Электрофильтры*

Наименование	Технологическиехарактеристики	Стоимость
Электрофильтры (очистка от пыли аспирационного воздуха объектов углеподготовки, объектов транспортирования и рассева кокса, установки беспылевой выдачи кокса)	Степень очистки – до 99,8 %. Остаточная запыленность газов – 50–100 мг/нм^3. Производительность – от 50 000 нм^3/ч	40–50 млн руб. (в ценах 2005 г.)[1)] 75–100 млн руб. (в ценах 2013 г.)[2)] €1,1 млн[3)] €1,0 млн[4)]

Примечания:

[1)] Отечественный электрофильтр производительностью от 50 тыс. нм^3/ч, температура отходящих газов – до 300 °С.

[2)] Отечественный электрофильтр, объем газов – 100 тыс. нм^3/ч, температура – до 250 °С, входнаязапыленность – 15 г/нм^3, степень очистки – 90–95 %.

[3)] Зарубежный электрофильтр, объем газов – 100 тыс. м^3/ч, температура – до 190 °С.

[4)] Зарубежный электрофильтр, объем газов – 200 тыс. м^3/ч, температура – 170–190 °С.

* Электрофильтры для улавливания пыли до настоящего времени на коксохимических предприятиях РФ не применяются. Известен лишь один случай успешного применения электрофильтра ЭГБМ1–17–7,5–4-4 номинальной производительностью по газу около 150 тыс. м^3/ч в составе установки беспылевой выдачи кокса батарей № 5–6.

ПАО «Северсталь».

Таблица 2.54 – Циклоны

Наименование	Технологическиехарактеристики	Стоимость
Циклоны высокопроизводительные, высокоэффективные (очистка от пыли аспирационного воздуха объектов углеподготовки, объектов транспортирования и рассева кокса, установки беспылевой выдачи кокса)	Отечественные циклоны типа ЦН-15, СДК-ЦН-33 производительностью до 100 тыс. м^3/ч	До 850 тыс. руб.

Таблица 2.55 – Рукавные фильтры

Наименование	Технологическиехарактеристики	Стоимость
Рукавный фильтр (очистка от пыли аспирационного воздуха объектов углеподготовки, объектов транспортирования и рассева кокса, установки беспылевой выдачи кокса)	Отечественные фильтры с рукавами из импортных материалов. Объемы газов 5500–12000 м^3/ч. Максимальная температура 140–275 °С. Входная запыленность 30–65 г/м^3. Остаточная запыленность 10 мг/м^3	0,9–2,5 млн руб. (в ценах 2013 г.)

Таблица 2.56 – Пылеуловители в составе установок беспылевой выдачи кокса (УБВК)

Наименование	Технологическиехарактеристики	Стоимость
Электрофильтр	Объем газов 150 000 нм^3/ч. Максимальная температура <250 °С. Входная запыленность <30 г/м^3. Остаточная запыленность <100 мг/м^3	46 млн руб. (в ценах 2013 г.)
Рукавный фильтр	Объем газов 200 000 нм^3/ч. Максимальная температура <275 °С. Входная запыленность <30 г/м^3. Остаточная запыленность <20 мг/м^3	30 млн руб. (в ценах 2013 г.)

Вообще при ориентировочной оценке капитальных затрат можно руководствоваться эмпирическими соотношениями, устанавливающими надбавочные коэффициенты в зависимости от стоимости оборудования: например, стоимость проекта оснащения агломерационной машины низконапорным уловителем Вентури будет увеличена сравнительно со стоимостью собственно аппарата на 145 % (90 % на металлоконструкции и газопроводы, 25 % на монтажное оборудование и 30 % на строительные работы).

Внедрение сухих систем газоочисток при производстве ферросплавов оценивается в 150 млн руб. на один модуль. В связи с тем, что в состав отходящих газов ферросплавных печей входит много различных химических соединений, очистка их связана с большими затратами. Стоимость системы очистки газов закрытой печи составляет 10 % от стоимости всей печной установки, для открытой печи стоимость возрастает до 90 % [121].

Сравнительно с природоохранными затраты на технологическое оборудование более значительны, например, полузакрытая руднотермическая печь в производстве ферросплавов стоит около 700 млн руб. Еще более существенны затраты на комплексы технологического оборудования при производстве чугуна, стали – в зависимости от объема строительства или реконструкции могут достигать величин, исчисляемых в млрд руб. Например, комплекс современной доменной печи «Россиянка» (вместе с энергорбъектом для утилизации доменного газа) обошелся в 43 млрд руб.

Современные энергоэффективные технологии в металлургии сопряжены со значительными затратами: строительство одной машины непрерывного литья заготовок потребует не менее 7 млрд руб; установка вдувания пылеугольного топлива нуждается в инвестициях на уровне ниже 7 млрд руб. (таблица 2.57).

Таблица 2.57 – Инвестиционные затраты на проекты в сфере энерго-ресурсоэффективности

№ п/п*	Мероприятие	Затраты, млн. руб.	Примечание
1	Строительство установки сухого тушения кокса (УСТК)	280,0	На производительность 1,3 млн т. кокса
2	Вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи (2)	~7000	Для объема производства чугуна 7,4 млн т в год
3	Применение бесконусных засыпных аппаратов для загрузки шихты в доменную печь	~ 300,0	$ 5–6 млн на одну доменную печь
4	Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок	~7000	Ориентировочно (одна машина)
5	Строительство системы оборотного водоснабжения блока очистных сооружений МНЛЗ и комплекса внепечной обработки стали МНЛЗ	985	
6	Строительство комплекса по обезвоживанию конвертерных шламов	300	
7	Комплекс по сбору, хранению и транспортировке конвертерного газа	~7500	Для объема производства стали 8 млн т в год
8	Утилизационная теплоэнерогцентраль (под конвертерный газ)	~24500	
9	Реконструкция ЭСПЦ с увеличением производительности	~300,0	Ориентировочно, в зависимости от масштаба реконструкции

Следует понимать, что представленный материал отражает лишь порядок затрат, возникающий при внедрении НДТ, но не может служить достоверной оценкой, которая будет определяться для конкретных экономических условий реализации объекта НДТ на основе предпроектной и проектной документации, а также в том числе по условиям кредитования, состоянию валютного рынка, уровню инфляции и т. д.

Понимая НДТ как «наилучшую технологию производства продукции…», следование концепции модернизации основного производства, а не действиям «на конце трубы», следует считать предпочтительным путем перехода на НДТ с одновременным пониманием того, что такой подход потребует серьезных инвестиционных затрат.

С учетом состояния экономики (и развития ключевых инструментов управления), динамики ее роста, стратегии развития отрасли действительный (а не формальный) переход на НДТ потребует определенного временного периода.

Достижение показателей НДТ на основе концепции модернизации вместе с тем может обеспечить определенные экономические преимущества:

- увеличение производительности агрегатов;
- повышение выхода годной продукции за счет снижения потерь;
- устранение брака (и увеличение тем самым выхода годной продукции);
- сокращение потребления сырья и материалов;
- повышения энергоэффективности (снижение энергопотребления и соответственно операционных затрат);
- снижение природоохранных платежей в связи с уменьшением объема размещаемых отходов, снижения эмиссий в атмосферный воздух и сбросов в водные объекты.

Раздел 3. Текущие уровни потребления ресурсов и эмиссии в окружающую среду

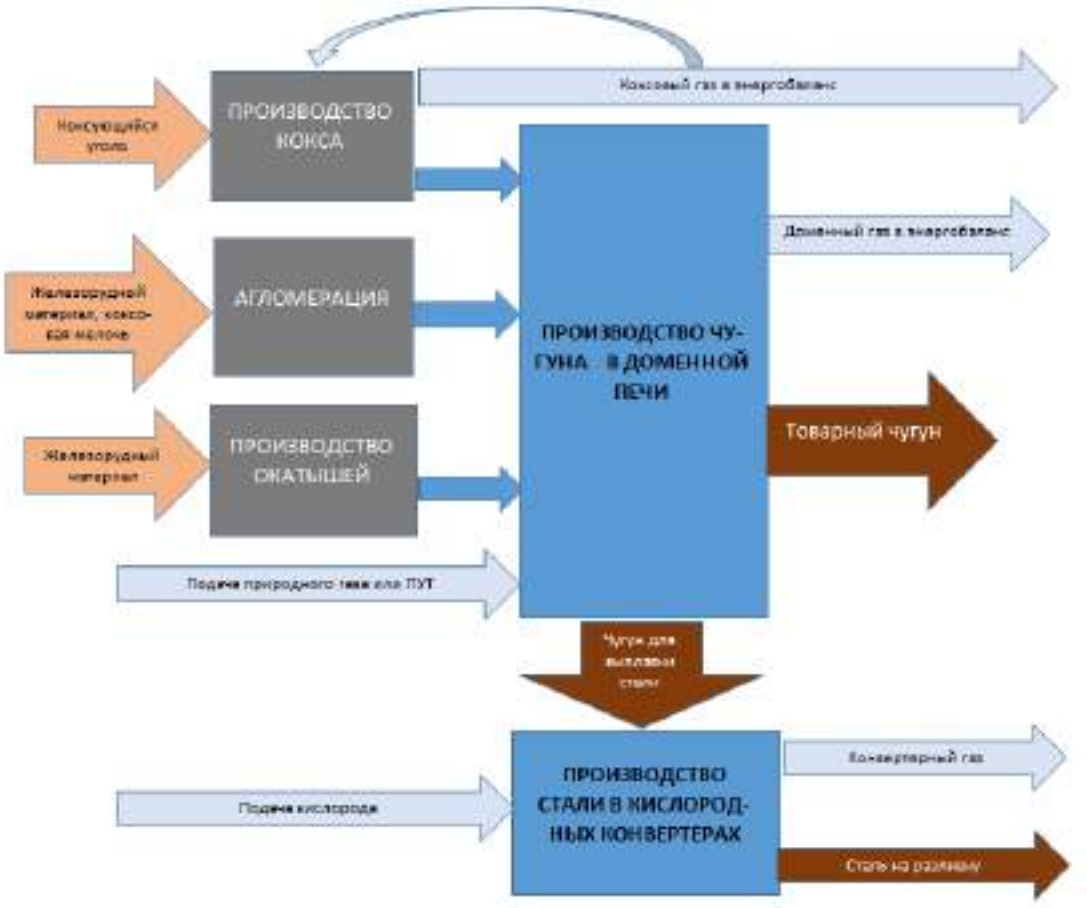
3.1 Общая характеристика эмиссий металлургического предприятия

3.1.1 Эмиссии в атмосферу

Металлургическая промышленность (производство чугуна, стали и ферросплавов) включает следующие мощности:

- агломерационные производства (для окускования мелкодисперсного железорудного сырья);
- производство металлургического кокса;
- цехи по выплавке чугуна;
- производства по выплавке стали (мартеновским, конвертерным или электросталеплавильным процессом);
- вспомогательные цехи и производства (по производству ферросплавов, переработке шлаков, производству электрической энергии, обработке сточных вод и др.).

Основные металлургические процессы, их взаимосвязи проиллюстрированы рисунком 3.1.



Слева – сырье; справа – продукты производства

Рисунок 3.1 – Основные технологические процессы при производстве чугуна и стали [112]

Вклады различных производств в формирование эмиссий металлургического предприятия показаны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Выбросы в атмосферный воздух в основных производствах черной металлургии [103]

Производство	Доля выбросов в общем объеме, %			
	Пыль	CO	SO2	NOx
Агломерационное	31,1	77,8	61,0	26,0
Сталеплавильное	19,7	5,4	0,02	6,5
Огнеупорное и известковое	18,4	0,4	0,4	5,4
Доменное	17,3	3,5	0,3	3,0
Энергетическое (ТЭЦ-ПВС)	7,4	–	36,7	36,6
Коксохимическое	2,0	7,8	1,0	9,1
Прокатное	1,2	–	0,2	10,5
Ремонтное	1,0	4,9	0,02	1,5
Прочие	1,9	0,2	0,36	1,4
Итого:	100	100	100	100

3.1.2 Водное хозяйство металлургических предприятий

Водное хозяйство металлургических предприятий представляет собой сложную сетевую структуру [113]. Оно состоит из множества подсистем (на крупных предприятиях их число может доходить до 60): локальных и общезаводских очистных сооружений и оборотных циклов (обычно с продувкой из них в промливневую канализацию или шламонакопитель), прудов разного назначения (пруды-осветлители, пруды-охладители, аккумулирующие пруды и.др.), технологических трубопроводов, связывающих эти объекты в единую систему.

Металлургические предприятия полного (интегрированные) и неполного (мини-заводы) циклов имеют общую (а не по переделам или цехам) систему водоснабжения и водоотведения, куда могут поступать:

- промышленные сточные воды;
- промливневые сточные воды (объединенный поток промышленных и ливневых вод;
- смешанные сточные воды (когда в промышленных сточных водах отводится также хозяйственно-бытовой сток);
- ливневые сточные воды.

В зависимости от истории предприятия, местных условий, особенностей предприятия возможен тот или иной тип водоотведения. Согласно данным анкетирования наиболее распространен промливневой тип канализирования.

Ввиду значительных потребностей металлургичесих переделов в воде (на технологические процессы, охлаждение агрегатов и узлов, обеспечение работы газоочистных аппаратов) водоснабжение металлургических предприятий организовано по оборотным схемам.

На металлургических предприятиях возможны три схемы водоотведения: прямоточная (отведение в водный объект после очистки), локальный оборотный цикл (использование после очистки в собственном производстве с подпиткой свежей технической водой), замкнутый бессточный водооборот (отсутствие сброса сточных вод).

При этом, как показывают данные анкетирования, почти половина предприятий имеет полностью замкнутый (бессточный) водооборотный цикл (сбросы отсутствуют), примерно у трети предприятий организован замкнутый водооборот с высокой долей повторного использования воды (95–98 %), часть предприятий имеет сбросы, причем после предварительной очистки.

Массив данных для загрязняющих веществ, по которым предприятия отрасли ведут мониторинг (на основании сведений из анкет), представленный среднегодовыми концентрациями, а также концентрациями, определенными по максимальным точечным (разовым) пробам, и обобщенный в диапазоны, показан в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Концентрации специфических загрязняющих в сбросах в водные объекты при производстве чугуна, стали и ферросплавов

Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
		Среднегодовая концентрация	Концентрация по максимальным точечным (разовым) пробам
Сточные воды металлургических предприятий*			
Взвешенные вещества	мг/дм^3	1,1–30,8	3,0–162,0
Железо общее	мг/дм^3	0,0002–1,140	0,12–2,97
Медь	мг/дм^3	0,0005–0,0110	0,001–0,130
Марганец	мг/дм^3	0,001–0,530	0,006–1,60
Цинк	мг/дм^3	0,003–0,370	0,004–1,830
Никель	мг/дм^3	0,003–0,100	0,007–0,390
Хром трехвалентный	мг/дм^3	0,0006–0,0330	0,005–0,430
Хром шестивалентный	мг/дм^3	0,001–0,421	0,002–0,458
Ванадий	мг/дм^3	0,008–0,211	0,01–0,39
Свинец	мг/дм^3	0,0003–0,0160	0,004–0,028
Бор	мг/дм^3	0,5	1,2
Цианид-анион	мг/дм^3	0,002–0,010	0,01–0,027
Сульфат-анион	мг/дм^3	10–542	10–1000
Хлорид-анион (хлориды)	мг/дм^3	7,8–252,0	10,6–300,0
Нитрат-анион	мг/дм^3	0,3–58,6	0,8–56,0
Нитрит-анион	мг/дм^3	0,03–8,60	0,07–25,70
Аммоний-ион	мг/дм^3	0,2–9,9	0,3–24,1
Фосфаты (по фосфору)	мг/дм^3	0,005–0,562	0,041–3,7
Нефтепродукты (нефть)	мг/дм^3	0,01–2,98	0,05–9,50
Сухой остаток	мг/дм^3	50,0–856,8	90,0–1936,0

Примечание. Массив данных обобщает все типы сточных вод (без их типизации) по данным анкетирования 29 предприятий.

Промливневые сточные воды в зависимости от структуры предприятия, вида выпускаемой продукции отличаются по составу. Для характеристики (типизации) сточных вод целесообразно выбрать маркерные вещества (как это принято в практике применения НДТ в европейских странах), отвечающие таким критериям:

- чувствительностью к показателям эффективности очистки сточных вод (ввиду того, что очистка сточных вод осуществляется преимущественно методом отстаивания (гравитационным методом) таким показателем служит концентрация взвешенных веществ);

- «портретным» признаком (для металлургии чугуна, стали, проката черных металлов таким признаком является содержание железа);

- показателем, определяющим «привнесенное» влияние, в данном случае применима концентрация нефтепродуктов.

Таким образом, эти три признака и составили базовый сет маркеров для ***промливневых*** сточных вод металлургических предприятий.

Дополнительно к базовому набору при отведении в составе промливневых вод части хозяйственно-бытового стока целесообразно ввести аммоний-ион. При отведении промышленных стоков с высоким солесодержанием необходимо контролировать сульфат-ион.

Если предприятие выпускает продукцию и имеет технологию, где обращается специфический элемент (например, V, Mn, иное), или в регионе есть проблемы с концентрацией специфического элемента в поверхностных водоемах и водотоках, в таких случаях к базовому набору маркеров для контроля добавляется этот конкретный элемент.

Для ***ливневых*** стоков базовый набор маркеров можно сократить, изъяв «портретную» компоненту, таким образом, вполне достаточен в этом случае набор маркеров – взвешенные вещества и содержание нефтепродуктов.

Принципиально набор маркерных веществ для контроля не должен превышать 5-6 наименований.

При санитарно-гигиеническом нормировании требования к составу сбросов сточных вод при отведении в водный объект определяются условиями водопользования (в том числе категорией водного объекта). Сведения в отношении требований к составу сточных вод, отводимых в водный объект, являются существенно более жесткими, нежели в европейском регулировании, и представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Установленные нормативы водопользования (ПДК, мг/дм^3)

Нормируемое вещество	В водных объектах рыбохозяйственного пользования – приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552*	В воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – СанПиН 1.2.3685-21
Взвешенные вещества	Фон +0,25 (объекты высшей и 1-й категории) Фон +0,75 (объекты 2-й категории)	Фон +0,75
Нитраты	40	45
Аммоний-ион	0,5	1,5 (по азоту)

Окончание таблицы 3.3

Нормируемое вещество	В водных объектах рыбохозяйственного пользования – приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552*	В воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – СанПиН 1.2.3685-21
$БПК_5$	2,1	2,0 (для хозяйственно-питьевого водопользования) 4,0 (для рекреационного водопользования)
Фосфаты	0,05 (по Р) – олиготрофные; 0,15 (по Р) – мезотрофные; 0,2 (по Р) – эвтрофные водоемы	3,5 (полифосфаты)
Сульфаты	100	500
Хлориды	300	350
Фториды	0,05 (в дополнение к фоновому содержанию фторидов, но не выше их суммарного содержания 0,75 мг/дм^3)	1,5
Железо общее	0,1	0,3
Марганец	0,01	0,1
Нефтепродукты	0,05	0,3 (для нефти)

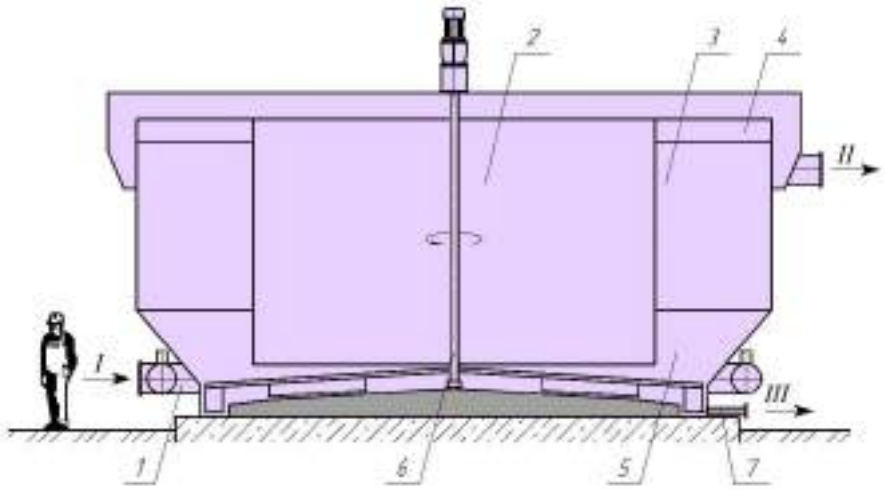
* С изменениями от 10.03.2020 г.

Требования, предъявлемые к сточной воде для повторного использования различаются в зависимости от потребителя, устанавливаются фирмами-изготовителями оборудования или техническмими условиями собственно предприятия и могут быть достаточно жесткими: например, для применения в форсунках или для контактного охлаждения оборудования фирмами–производителями оговаривается общее содержание нефтепродуктов ≤15 мг/дм^3, а взвешенных веществ ≤20 мг/дм^3 [114]. В иных случаях, к примеру, для оборотной воды доменных печей приемлема концентрация взвеенных веществ в 100 мг/дм^3.

Для организации локальных оборотных циклов на металлургическом предприятии можно предложить, в частности, решения, представленные в [114, 115]. Иннвовационная технология предусматривает вместо традиционных радиальных отстойников большого диаметра применение компактных высокоэффективных отстойников-флокуляторов типа «ЭП ОФ» с предварительной обработкой одним или комбинацией двух реагентов различных технологических диаметров в зависимости от требуемой производительности цикла (3 м – 20 …35 м^3/ч, 10 м – 600…1200 м^3/ч, 12 м – 900…1800 м^3/ч) и с различной гидравлической нагрузкой. В ряде случаев предусматривается более сложная система, включающая локальную очистку для некоторых относительно небольших потоков сточных вод, имеющих специфический состав (высокое содержание графита, антиокислителей и др.). Обезвоживание всего получаемого осадка, в том числе при подготовке подпиточной воды, в любом случае

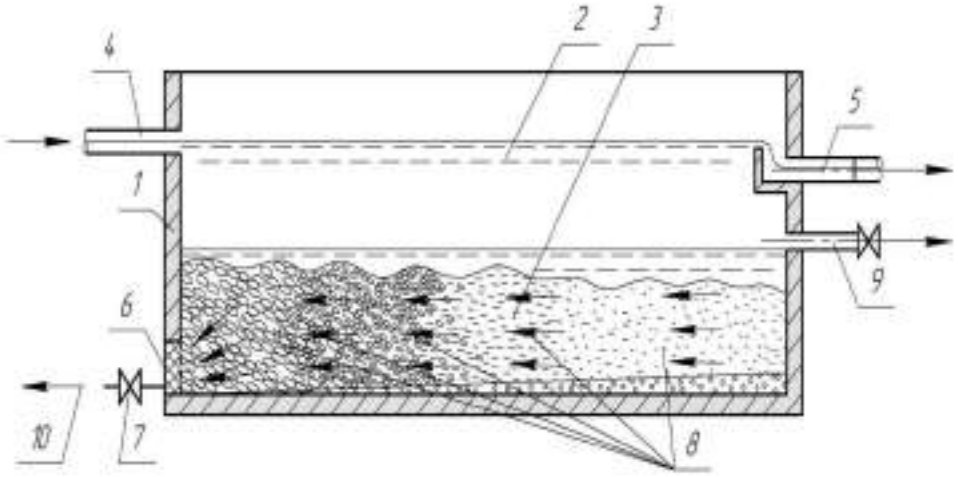
проводится без применения реагентов в одну ступень – в аппаратах типа «ОКУД» (рисунок 3.2 б).

Принципиальная схема отстойников-флокуляторов типа «ЭП ОФ» для применения в технологических процессах очистки природных и техногенных вод, показана на рисунке 3.2 а.



а

I – ввод сточной воды, II – выход очищенной воды, III – выход осадка; 1 – система для ввода сточной воды, гидравлического перемешивания и регулирования его параметров, 2 – камера флокуляции (хлопьеобразования, реакции), 3 – камера тонкослойного отстаивания, 4 – система для сбора и отвода осветленной воды; 5 – камера для накопления и первичного сгущения осадка, 6 – скребковый механизм с центральным приводом, 7 – патрубок для отвода осадка



б

1 – корпус; 2 – осветленная вода; 3 – зона накопления и уплотнения осадка; 4 – подвод исходного осадка (пульпы); 5 – отвод осветленной воды; 6 – кассетный фильтр; 7 – вентиль отвода дренажной воды; 8 – классифицированный уплотненный осадок; 9 – отвод надосадочной воды; 10 – отвод дренажной воды

Рисунок 3.2 – Принципиальная схема отстойника-флокулятора типа «ЭП ОФ» а) и секции аппарата типа «ОКУД» б) [114, 115]

Эффективность очистки оборотной воды с использованием отстойников-флокуляторов близка к результатам доочистки на осветлительных фильтрах. Наиболее высокое качество очищенной воды с концентрациями взвешенных веществ 6–8 мг/дм^3 и нефтепродуктов 0,1–0,3 мг/дм^3 (соответствуют ПДК водных объектов культурно-бытового назначения) достигнуто при двухреагентном осветлении с удельной гидравлической нагрузкой q = 7 м^3/м^2*ч промыленно-ливневых сточных вод металлургических и машиностроительных предприятий [115].

Отстойники-флокуляторы применяются для очистки оборотной воды доменных печей, МНЛЗ, станов горячей прокатки и термоотделов, промышленных и промышленно-ливневых сточных вод, для подготовки природных вод в атомной энергетике, в других отраслях промышленности и коммунальном хозяйстве [116].

3.2 Агломерация

Современные высокопроизводительные доменные печи достигают нужных характеристик благодаря предшествующей металлургической подготовке шихты, которая связана с процессом агломерации шихты, т. е. спеканием, либо окомкованием.

Шихта для производства агломерата состоит из смеси пылевидной руды, добавок (например, известь, оливин), флюса (известняк, доломит, иное), подвергнутых рециклингу железосодержащих материалов из последующих операций (в том числе крупная пыль и шламы от очистки доменного газа, прокатная окалина, иное), к которым добавляют коксовую мелочь для обеспечения теплопотребностей процесса. Схема материальных потоков агломерационного процесса представлена на рисунке 3.3.

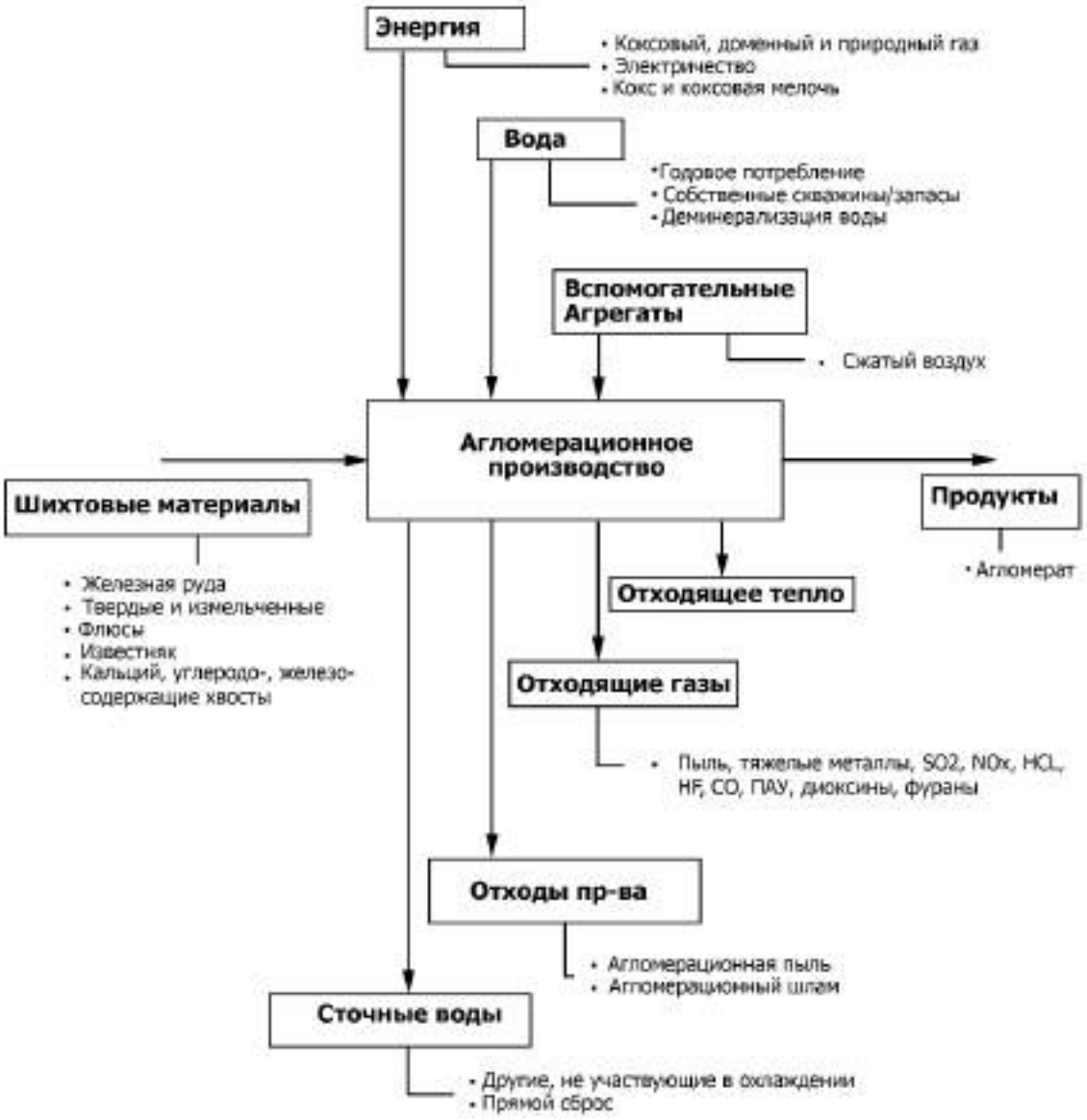


Рисунок 3.3 – Схема материальных потоков на агломерационном производстве [103]

3.2.1 Потребление ресурсов

В зависимости от сырьевой базы компонентная структура, расходные коэффициенты, состав агломерационной шихты могут изменяться в широких пределах (см. таблицу 3.4).

Таблица 3.4 – Усредненный расход сырья, кг/т агломерата на производство агломерата в отрасли (по данным анкетирования)

Сырьевые материалы	Расход, кг /т агломерата		
	Страны ЕС [103]	По данным анкетирования в 2017 г.	По данным анкетирования в 2021 г.
Железная руда, в т.ч. концентрат	813,1	640–1048	492–1034
Отсев на грохочении (внутренний возврат)	250,7	Нет св.	86–125
Известняк/доломит	131,1	76–203	2,5–254,3
Отсев агломерата из доменного цеха	63,0		
Отходы (возврат с разных процессов производства, включая отходы флюсов)	51,8		
Другие материалы (окатыши, возврат с других участков, иное)	31,4	Нет св.	331,0
Добавки	26,4	Нет св.	0,4–30,1
Пыль колошниковая	12,7	Нет св.	5,5–37,1
Известь	10,2	Нет св.	12,8–30,1
Окалина		Нет св.	19,7–37,6
Шламы		Нет св.	10,0–53,0
Коксовая мелочь	Н.св.	24–49	35,9–53,9
ВСЕГО:	1390,4		931–1796

Данные по энергопотреблению на производство агломерата представлены в таблицах 3.5–3.6. В европейской практике теплопотребление на производство агломерата (твердые топлива, включая углерод колошниковой пыли и жидкое или газообразное топливо на отопление горна) составляет порядка 1290–1910 МДж/т агломерата (в среднем 1344 МДж/т агломерата), что эквивалентно 39–64 кг коксовой мелочи на тонну агломерата (в среднем 50 кг).

Общая потребность в электрической энергии находится в диапазоне 68–176 МДж/т агломерата со средним значением 105 МДж/т агломерата. Существует только небольшое различие в потреблении топлива между низкоосновным агломератом (<1,7 CaO/SiO_2) и высокоосновным агломератом (≥1,7 CaO/SiO_2) [103].

Приходная часть теплового баланса агломерации обеспечивается коксовой мелочью (~88 %), остальное поступает от экзотермических реакций и сжигания газа (коксовый газ, и/или доменный газ, и/или природный газ или смесь доменного и природного газа) для отопления горна.

Основными расходными статьями теплового баланса процесса агломерации служат отходящие газы, испарение воды, эндотермические реакции, потери тепла с агломератом и за счет рассеивания.

Таблица 3.5 – Расход энергоресурсов на производство агломерата, МДж/т агломерата [103]

Наименование		Расход, МДж/т		
		максимальный	минимальный	средний
Топливо	Твердое топливо (коксовая мелочь, антрацит и др.)	1834	1254	1276,6
	Газ коксовый / доменный / природный,	185	35	67,0
Электро-энергия	Эксгаустеры	91	30	39,4
	Всего	155	92	–

Таблица 3.6 – Удельное потребление ресурсов при агломерации в отрасли (по данным анкетирования)

Ресурс	Потребление ресурса	
	По данным анкетирования в 2017 г.	По данным анкетирования в 2021 г.
Электроэнергия, кВт*ч/т	23–49	46,8–155,6
Природный газ, $м^3$/т	2,4–6,3	4,7–7,1
Коксовая мелочь, кг/т	23,6–48,9	35,9–53,9

3.2.2 Выбросы в атмосферу

Источники эмиссий в атмосферный воздух при производстве агломерата объединяются в две большие категории: аспирационные системы, где за счет дробления, измельчения, выноса, развеивания образуются исключительно пылевые выбросы, и технологические отходящие газы агломерационных машин, содержащие как пылевую компоненту, так и химические соединения.

В результате протекания физико-химических процессов в агломерационном слое за счет фильтрации воздуха формируются выбросы загрязняющих веществ:

- пылевые выбросы, обусловленные механическим выносом из слоя мелкодисперсной шихты или образованным в процессе разрушения материалов (разрушения агломерата при сходе с агломашины, при охлаждении, дроблении пирога агломерата после спекания);
- выбросы оксида углерода, которые ввиду особенностей горения распределенного твердого топлива в агломерационном слое (вызвано неполнотой горения) являются технологически оправданными;
- выбросы диоксида серы SO_2, зависящие от содержания серы в коксовой мелочи, которая используется в качестве топлива, а также от состава шихты: в случае если сера в шихтовых материалах представлена сульфидными компонентами, то 95–97 % ее прихода с шихтой удаляется в виде сернистого газа; если в составе шихтовых компонентов сера находится в виде сульфатных соединений, то в отходящий газ переходит не более 60 % серы, преимущественная часть выбросов SO_2 имеет место на второй трети агломерационной ленты (ближе к разгрузочному концу);

- выбросы NO_x в результате процессов горения в горелках зажигательного горна, а также с эмиссией «тепловых» оксидов азота, обусловленных содержанием азота в коксе и железной руде;

- выбросы тяжелых металлов (цинк (Zn), свинец (Pb) и кадмий (Cd)) в специфических условиях спекания, если повышается восстановительный потенциал процесса агломерации или в составе шихты появляются хлориды; однако процессы возгона тяжелых металлов получают ограниченное развитие вследствие сравнительно невысоких температур агломерационного процесса, кратковременности пребывания слоя при этих температурах;

- выбросы органических соединений (например, ПАУ и ПХДД/Ф) в специфических условиях спекания (наличие веществ, содержащих хлор, в том числе некоторых масел), поэтому применение дисперсной замасленной прокатной окалины без соответствующей обработки не рекомендуется.

Объем отходящих газов в зависимости от производительности процесса, условий спекания, шихтовых компонентов, требований к качеству агломерата находится в интервале от 1500 до 2500 $нм^3$ на т агломерата.

Величина удельных эмиссий в агломерационном процессе по данным из европейской практики дана в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Основные эмиссии в агломерационном производстве [103]

Параметр	Единица измерения	Максимальное значение	Минимальное значение
Пыль	г/т агл.	559,4	40,7
Тонкодисперсная пыль (<10 мкм)		177,13	66,30
CO		37 000	8783
NO_x (по NO_2)		1031,2	302,1
SO_2		973,3	219,9
HCl		847,6	1,4
CH_4		412,5	35,5
НЛОС*		260,9	1,5
HF		8,2	0,4
Pb	мг/т агл.	5661,2	26,1
Zn		1931,3	2,1
Бенз(а)пирен		41,5	0,1
Cu		600,5	1,9
ПАУ		591,7	0,2
Mn		539,4	3,4
Cd		276,7	0,2
Hg		207,0	0,1
Ni		175,6	1,3
V		158,5	0,6
Cr		125,1	3,6
Se		120,5	21,8
Tl		86,6	0,5
As		15,0	0,6
Шлам	г/т агл.	4492,18	472,73
Пыль		3641,29	171,05

Выбросы агломерационного производства дают значительный вклад в общие выбросы от металлургических заводов с полным циклом (см. таблицу 3.1).

Наибольшие эмиссии в агломерационном процессе (см. таблицу 3.8) имеют место на стадии спекания шихты.

Таблица 3.8 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в агломерационном производстве [103], г/т продукции

Наименование ЗВ	Технологический этап / источник выброса	Масса ЗВ в отходящих газах после очистки	
		диапазон	среднее
Пыль неорганич. < 20 % SiO_2	Подготовка шихты – сухая очистка – батарейный циклон, фильтр рукавный, электрофильтр	2,46–68	49,6
Пыль неорганич. < 20 % SiO_2	Первичное смешивание – мокрая очистка – труба Вентури, каплеуловитель	0,6–7,5	4,1
NO_2	Спекание шихты на агломашине – сухая очистка – батарейные циклоны	179,8–760	409
NO		30–139	120
CO		10875–21750	14531
SO_2		450–5000	4000
Пыль неорганич. < 20 % SiO_2		59,9–4736	1367
MgO		4–62	24
Fe_2O_3		139–162	151
CO	Отгрузка агломерата (охлаждение, дробление, отсев) – сухая и мокрая очистка – циклон, батарейные циклоны, скруббер, электрофильтр		3,764
SO_2			2,521
Пыль неорганич. < 20 % SiO_2		58–327	88,7
MgO		0,5–19	6,3
Fe_2O_3		4–114,5	39,6

В 2021 г. в результате анкетирования предприятий, осуществляющих производство агломерата, получены данные по выбросам загрязняющих (маркерных) веществ в атмосферный воздух. Удельные величины выбросов приведены на основании данных форм федерального статистического наблюдения № 2-ТП (воздух), а также на основании данных инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (таблица 3.9.).

Таблица 3.9 – Удельные выбросы загрязняющих (маркерных) веществ при производстве агломерата (по результатам анкетирования в 2021 г.)

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвентаризация выбросов ЗВ
Прием сырья, размораживание, складирование, усреднение, подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию (измельчение, смешивание, грануляция), спекание шихты на конвейерных машинах, охлаждение и дробление агломерата, горячее и холодное грохочение, сортировка, отсев мелочи и отгрузка годного агломерата, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т агломерата	0,06–0,51 (0,67 в.к.)**	0,14–0,31 (0,73 в.к.)**
	Азота оксид	кг/т агломерата	0,03–0,15	0,05–0,14
	Углерода оксид	кг/т агломерата	8,0–15,2 (14,9 в.к.)**	8,0–14,5 (15,9 в.к.)**
	Серы диоксид	кг/т агломерата	0,01–3,50	0,5–1,7
	Взвешенные вещества*	кг/т агломерата	0,38–0,84 (2,10 в.к.)**	0,4–1,1 (5,97 в.к.)**
* К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов». ** в.к. – агломерация ванадиевого концентрата.				

Приоритетными веществами в выбросах при агломерации являются взвешенные вещества и оксид углерода, однако в зависимости от содержания серы в шихтовых материалах в отходящих агломерационных газах представлены выбросы диоксида серы. Меры по снижению выбросов в первую очередь направлены на управление эмиссиями взвешенных веществ (пыли). Состав агломерационной пыли (взвешенных веществ) определяется в основном составом спекаемых железорудных материалов и коксовой мелочи (золы) и изменяется в широком интервале значений, % масс.:
FeO – 9…17; Fe_2O_3 – 45…60; SiO_2 – 5…15; Al_2O_3 – 0,5…5; CaO – 6…13; MgO – 0,5..5; MnO – 0,2…0,3; P_2O_5 – 0,03…0,05; S – 0,5…0,7; C – 4…7.

В российской практике для эвакуации локальных выбросов (дробильных установок, грохотов, перегрузок сыпучих материалов и др.) применяются вытяжные зонты или укрытия с последующим отведением запыленного газового потока на очистной аппарат. Для очистки отходящих технологических газов применяют батарейные циклоны (таблица 3.10), для очистки аспирационных газов – мокрые или сухие электрофильтры (таблица 3.11).

Таблица 3.10 – Концентрация загрязняющих веществ из батарейных циклонов агломашин ПАО «Северсталь» [30]

Показатель	Концентрация, мг/м^3	
	АМ № 4–9	АМ № 10–11
Пыль	До 140	До 150
CO	До 6500	До 6600
SO_2	До 690	До 790
NO_2	До 140	До 140
NO	До 30	До 40

Таблица 3.11 – Концентрации загрязняющих веществ на входе и выходе электрофильтра на Челябинском металлургическом комбинате [30]

Загрязняющее вещество	Концентрация, вход/выход, мг/нм^3	
	средняя	максимальная
Al_2O_3	24,906/ 0,901	25,952/ 1,706
Fe_2O_3	817,067/ 29,545	851,363/ 55,980
Mn и его соединения	157,634/ 5,700	164,250/ 10,800
Сажа	1,576/ 0,057	1,643/ 0,108
Пыль с содержанием SiO_2<20 %	87,014/ 3,146	90,666/ 5,962
Суммарное содержание твердых веществ	1050,890/ 38,000	1095,000/ 72,000
CO	391,000	667,000
SO_2	29,583	35,132

Отходящие за агломашиной технологические газы, а также аспирационные газы с охладителей агломерата и других участков аспирации после очистки в разнообразных устройствах (циклонных установках (батарейных циклонах), влажных или сухих электрофильтрах, высоконапорных скрубберах мокрой очистки или тканевых фильтрах) отводятся, как правило, через отдельные дымовые трубы.

В европейской практике циклоны и батарейные циклоны автономно для очистки агломерационных газов не применяют, наиболее часто используют сухие электрофильтры с 3 и 4 полями.

3.2.3 Сточные воды

Потребление воды на аглофабриках составляет до 5 м^3/т агломерата.

Вода используется в технологическом процессе (для увлажения шихты), а также в системах мокрой газоочистки или мокрого пылеудаления, в том числе при санитарной обработке помещений и оборудования.

Вода также используется для охлаждения конструкций зажигательного горна, эксгаустеров, вентиляторов, а также для агломашин.

Сточные воды образуются в основном в процессе мокрой пылеочистки, а также при санитарной обработке помещений и оборудования и содержат взвешенные вещества в концентрациях до 20 г/л при pH до 12, а также соединения серы (сульфаты и сульфиды), хлориды, органические соединения (в особых условиях спекания).

Агломерационное производство имеет локальные оборотные циклы, В технологическом процессе агломерации и системах охлаждения используется только оборотная вода.

Требования к составу сточной воды в оборотных циклах устанавливаются предприятием по условиям эксплуатации оборудования.

3.2.4 Отходы и побочные продукты

В процессе агломерации образуются отходы и побочные продукты, обращение с которыми в отрасли показано в таблице 3.13.

До 90–95 % шламов и пылей образуется при удалении пыли из пылевых мешков газовых коллекторов и аспирационных систем, аппаратов сухой и мокрой очистки отходящих газов, при гидравлической уборке помещений и промывке трубопроводов. Остальные 5–10 % шламов и пылей поступают от других отделений агломерационных фабрик: вагоноопрокидывателей, рудных складов, корпусов подготовки шихты и т. п., где источниками их образования являются главным образом аспирациионные системы, а также отложения пыли на стенах и оборудовании.

Шламы агломерационных фабрик принадлежат к группе относительно богатых железом, по основным химическим компонентам они близки к агломерационной шихте (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Содержание основных элементов в шламах агломерационного производства, % [117]

$Fe_{общ}$	Fe_2O_3	FeO	CaO	SiO_2
ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»				
52,53	60,52	12,85	6,32	8,80
ПАО «Северсталь»				
47,3–51,3	52,6–56,5	13,6–15,1	7,8–11,8	4,4–4,7

Обычно все твердые отходы производства (пыль из пылеулавливающих устройств, мелкую фракцию, отсеянную при грохочении) возвращают обратно в технологический процесс (см. таблицу 3.13).

Ограниченно могут быть использованы в агломерационном процессе шламы и пыли металлургического предприятия (и агломерационного передела в том числе) с повышенным содержанием оксида цинка и щелочей из-за возможных осложнений доменного процесса.

Таблица 3.13 – Обращение с отходами производства и побочными продуктами, образующимися при производстве агломерата (по данным анкетирования)

Наименование отходов	Объем образования, кг/т продукции			Обращение с отходами
	По данным анкетирования в 2017 г.	По данным анкетирования в 2021 г.		
		ПНООЛР	Форма № 2-ТП (отходы)	
Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные	0,00523–1000	0,12	0,12	Рециклинг – переплавка в электропечах; использование в качестве твердой металлошихты для конвертерной плавки
Железосодержащие отходы мокрой очистки аспирационного воздуха и гидроуборки в смеси при производстве агломерата	3,3–30,5	3,0–30,5	2,0–7,7	Рециклинг – в качестве железосодержащей добавки при производстве агломерата; размещение
Пыль коксовая газоочистки при сортировке кокса	0,01	Нет данных	Нет данных	Рециклинг – в качестве углеродосодержащей содержащей добавки при производстве агломерата
Отходы известняка, доломита и мела в виде порошка и пыли малоопасные	Нет данных	2,1	0,8	Нет данных

Агломерационный процесс играет ключевую роль на заводах с полным циклом производства чугуна и стали для утилизации производственных отходов и остатков. Пыли различных производственных процессов (в том числе колошниковая) и систем аспирации, отсевы флюсов, коксовой мелочи, шламы агломерационного и доменного переделов, окалина и др. поступают в агломерационную шихту, обеспечивая таким образом рециклинг отходов.

3.2.5 Вторичные энергетические ресурсы

Агломерационное производство металлургических предприятий располагает потенциалом вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) в виде тепла воздуха после охлаждения агломерата, и отходящих агломерационных газов.

Удельная выработка ВЭР при использовании тепла воздуха, охлаждающего агломерат, составляет по достигнутым за рубежом данным [30] 460 МДж, а при использовании отходящих агломерационных газов – примерно 146 Мдж/т агломерата.

Системы утилизации тепла с выработкой пара и электроэнергии нашли применение в Японии и ряде других стан.

Выполненный проект утилизации тепла воздуха охладителей агломерата для условий Западно-Сибирского металлургического комбината показал, что его внедрение позволит полностью обеспечить теплоснабжение бытовых помещений и, кроме того, вырабатывать не менее 5–8 МВт электроэнергии.

3.3 Производство кокса

Одним из важнейших компонентов шихты для выплавки чугуна, имеющий множество функций, обеспечивающих протекание восстановительной плавки, является кокс, который производится из специально подобранной угольной шихты.

3.3.1 Потребление ресурсов

Расходы материальных ресурсов в процессе производства кокса и выход основных и побочных продуктов предствлены в таблице 3.14 и 3.15.

Таблица 3.14 – Расход сырья, материалов

Наименование	Единицы измерения	Расход на тонну кокса	
		ИТС 26-2017	По данным анкетирования в 2021 г.
Угольная шихта (сух.)	т/т	1,2–1,3	1,2–1,3
Серная кислота	т/т	0,0014–0,0040	Нет данных
Поглотительное масло (свежее)	т/т	0,0014–0,0016	Нет данных

Таблица 3.15 – Выход побочных продуктов при производстве кокса

Наименование	Единицы измерения	Выход на тонну кокса	
		Минимальный	Максимальный
Коксовый газ	$м^3$/т	400	450
Каменноугольная смола	т/т	0,04	0,05
Сырой бензол	т/т	0,12	0,14
Каменноугольный пек	т/т	0,01	0,03
Пар (УСТК)	т/т	0,4	0,5

Потребление энергетических ресурсов (по данным анкетирования) показано в приложении В.

3.3.2 Выбросы в атмосферу

Основными технологическими процессами коксохимического производства, которые сопровождаются выделением загрязняющих веществ в атмосферу, являются:

- переработка угля в процессе подготовки шихты для коксования;
- коксование (пиролиз) угля в коксовых печах с получением кокса;
- сортировка кокса и отгрузка его потребителям;

- охлаждение и очистка коксового газа (улавливание и переработка химических продуктов коксования).

Относительная доля технологических процессов в суммарном выбросе коксового производства приведена в таблице 3.16.

Общий вид производственной площадки предприятия по выпуску кокса, иллюстрирующий источники эмиссий, показан на рисунке 3.4.

Источники формирования выбросов с указанием их качественного состава показаны на рисунке 3.5.



Рисунок 3.4 – Общий вид предприятия по производству кокса

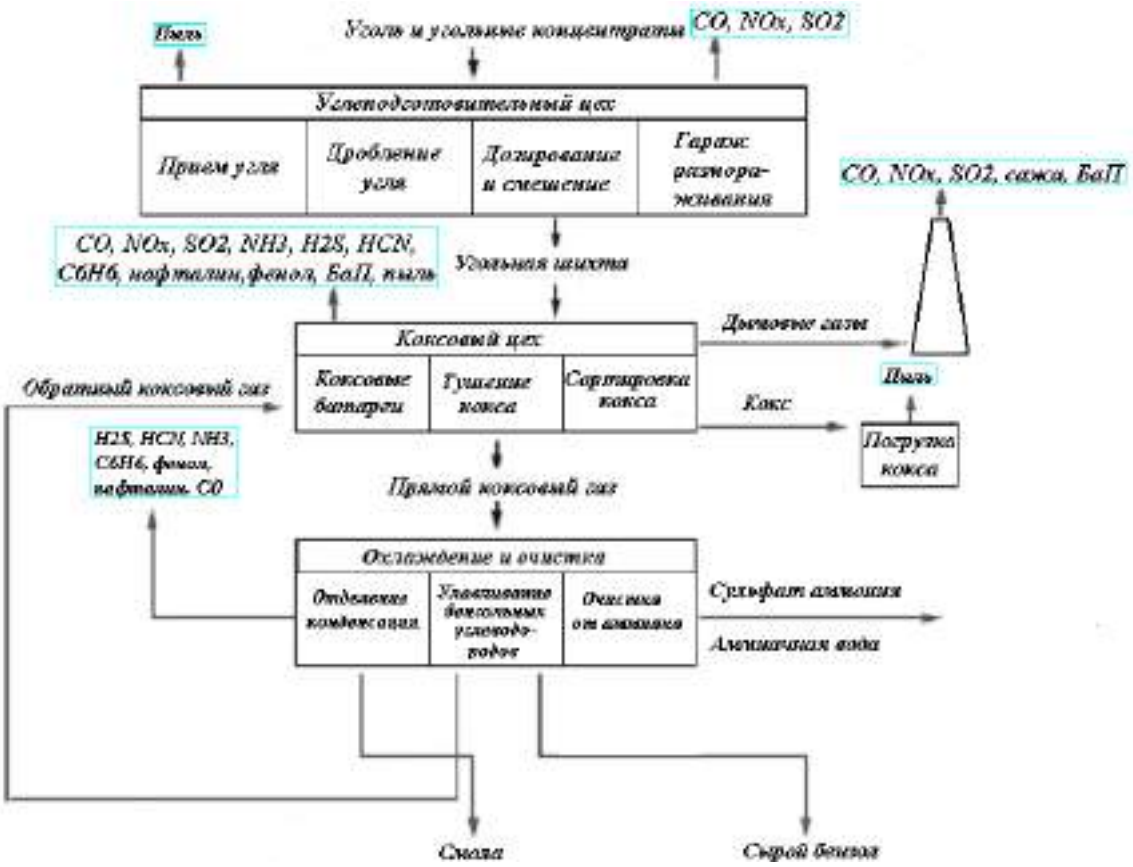


Рисунок 3.5 – Схема формирования выбросов в атсмосферу при производстве кокса [118]

Таблица 3.16 – Вклад основных технологических процессов в суммарные выбросы производства кокса

Технологический процесс	Доля в общих выбросах, %	Загрязняющие вещества
Прием, транспортировка угля, его хранение, измельчение и подача в коксовые печи	1,9–2,5	Взвешенные вещества (Угольная пыль)
Коксование (Организованные выбросы из дымовых труб коксовых батарей)	62,5–75,0	Оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, сажа, бенз(а)пирен
Выдача кокса, его тушение, сортировка	10,0–12,5	Взвешенные вещества (коксовая пыль)
Охлаждение и очистка коксового газа (от смолы, аммиака, бензольных углеводородов, сероводорода)	6,0–10,0	Оксид углерода, оксиды азота, сероводород, аммиак, бензол, нафталин, пиридин, фенол
Неорганизованные выбросы от процессов загрузки коксовых печей шихтой, газование коксовых дверей, люков и стояков	2,5–6,25	Взвешенные вещества (Угольная пыль), оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, аммиак, сероводород, водород цианистый, фенол, бензол, нафталин, пиридин, бенз(а)пирен

Источниками выбросов при переработке угля и подготовке шихты являются: трубы аспирационных систем, открытые склады угля, трубы общеобменной вентиляции производственных помещений.

Производственный процесс получения кокса делится на периодически выполняемые операции: загрузка угольной шихты в камеры коксования, коксование, выдача (выгрузка) готового кокса из коксовой печи, тушение кокса и его сортировка.

Во время загрузки угля в коксовые печи из открытых загрузочных люков происходит выделение парогазовой смеси, содержащей частицы пыли, компоненты коксового газа и паров смолы. Для предотвращения выбросов печи оснащены устройствами, обеспечивающими эвакуацию газов загрузки в газосборник коксовой батареи или в соседнюю печь.

Процесс коксования (пиролиза) осуществляется без доступа воздуха с небольшим избыточным давлением, что приводит к выделению образующихся газовых продуктов коксования из камеры через неплотности арматуры герметизации дверей, крышек загрузочных люков и стояков в атмосферу. Примеры газовыделений приведены на рисунке 3.6. Уменьшения выбросов от этих источников добиваются, применяя различные устройства, обеспечивающие высокую герметичность уплотнения.

Выделение в атмосферу газов на верху батареи происходит через неплотности крышек и компенсаторов (раструбных соединений) стояков и через крышки загрузочных люков. Крышки загрузочных люков помимо конструктивных решений (конфигурация «нож по поверхности») дополнительно заливаются уплотняющим раствором. Для крышек стояков применяется система гидроуплотнения (пневмоуплотнения). Для раструбных соединений применяется гидроуплотнение с дополнительной укладкой эластичного шнура.

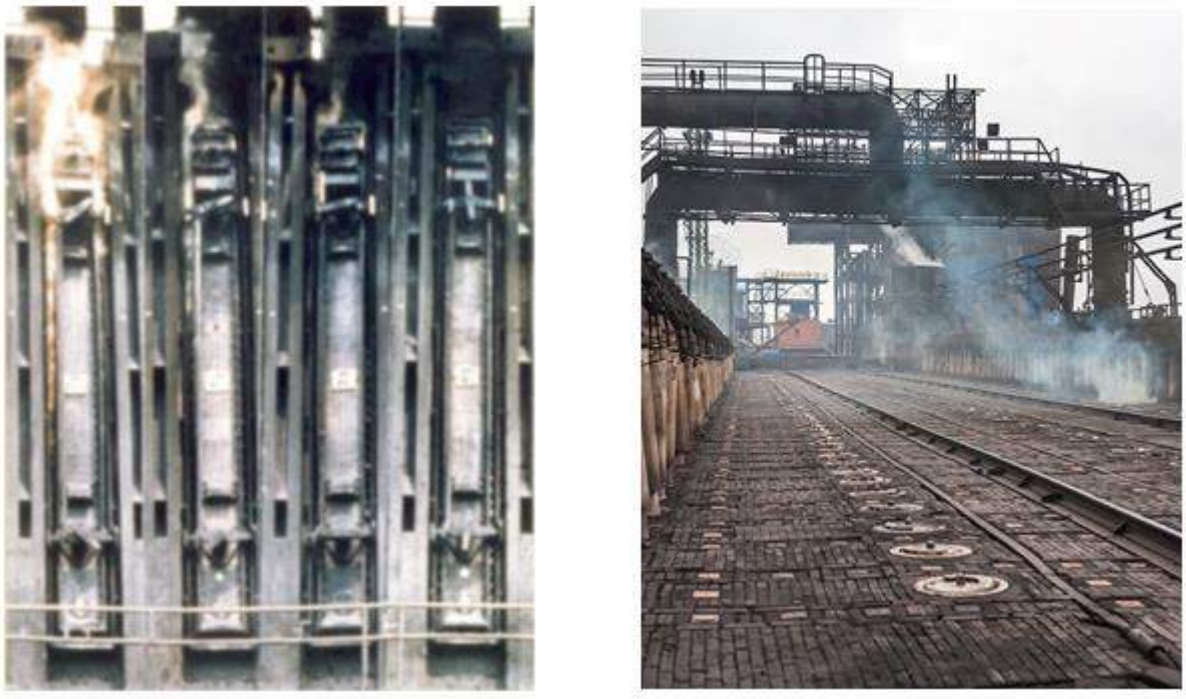


Рисунок 3.6 – Примеры газовыделений из дверей и люков коксовых печей

Для устранения неорганизованных выбросов на коксовой батарее требуется обеспечение плотности дверей камер коксования. Существуют различные варианты конструкции уплотняющих устройств дверей. Наиболее эффективной признана дверь с эластичной подпружиненной уплотняющей рамкой, с пружинными ригельными затворами. При всех конструктивных улучшениях эффективная плотность дверей обеспечивается только при систематическом контроле и уходе:

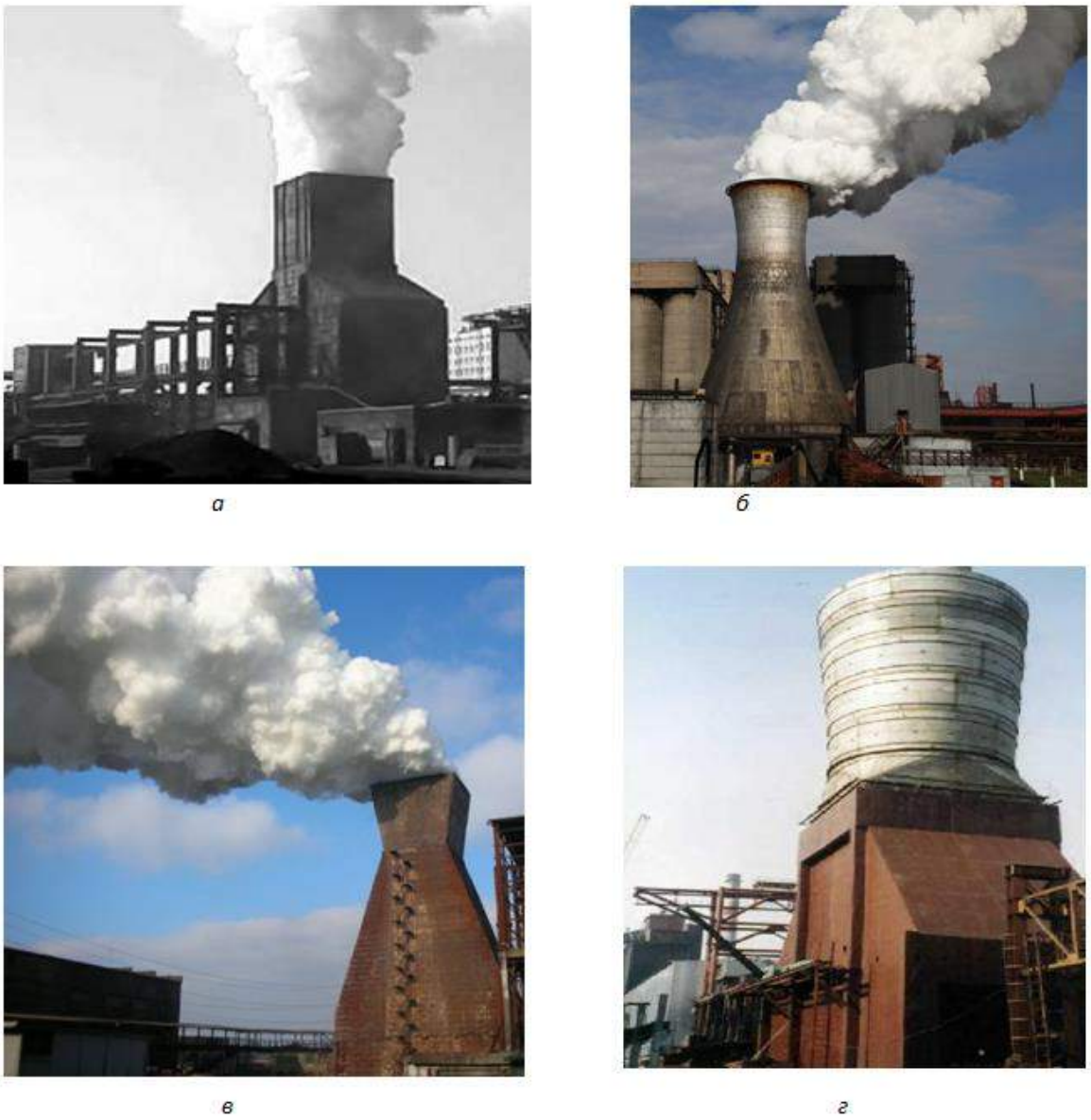
- первичное регулирование прилегания рамок под щуп 0,7 мм;
- механическая очистка рам и дверей от смоляных отложений при каждой выдаче кокса;
- регулярный (не реже одного раза в год) ремонт и наладка уплотняющих рамок дверей;
- своевременный ремонт футеровки дверей [119].

Одним из существенных источников неорганизованных выбросов пыли и газов в атмосферу на коксовой батарее является выдача готового кокса из печей. Для локализации выбросов от этого источника типовым решением является установка беспылевой выдачи кокса (УББВК).

Для обогрева коксовых печей используется коксовый, доменный или смесь коксового и доменного газа. Продукты горения газа через дымовые трубы коксовых батарей выбрасываются в атмосферу. Дымовые трубы являются наиболее крупными источниками валовых выбросов в атмосферу на коксохимическом производстве. Основную часть этих выбросов представляет монооксид углерода, кроме того, присутствуют оксиды азота, диоксид серы и другие вещества.

Горячий готовый кокс охлаждают либо водой на башнях тушения, либо инертным газом на установках сухого тушения кокса (УСТК).

При мокром тушении кокса биохимически очищенной или технической водой из башен с парами воды в атмосферу выбрасываются фенол, аммиак, цианистые соединения, сероводород и коксовая пыль. Конструкции башен тушения приведены на рис. 3.7.



а – деревянная старого типа; б – цельнометаллическая;
в – железобетонная; г – комбинированная

Рисунок 3.7 – Башни тушения

При тушении кокса водой применяется также комбинированный способ тушения с подачей воды в тушильный вагон сверху и снизу. Это позволяет применять тушильный вагон для приёма кокса без перемещения, что упрощает перекрытие вагона зонтом УБВК [119].

На УСТК кокс охлаждают (тушат) в герметичных камерах, пропуская через слой кокса инертный газовый теплоноситель. Во время выгрузки кокса из камер имеют место выбросы коксовой пыли. В процессе тушения образуется избыток газового теплоносителя, который сбрасывается через специальную трубу (свечу). В этом выбросе содержится главным образом монооксид углерода и коксовая пыль.

При сортировке и транспортировке кокса мокрого тушения особых проблем с загрязнением атмосферного воздуха не возникает. Переработка кокса сухого тушения

сопровождается интенсивным пылевыделением. Места рассева и перегрузок кокса оборудуются системами аспирации с очисткой запыленного воздуха.

Источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при охлаждении и очистке коксового газа являются градирни для охлаждения оборотной воды открытого цикла конечных газовых холодильников, воздушники емкостного оборудования, а также другие технологические объекты.

Многообразие типов источников выбросов обусловливает необходимость их классификации для разработки мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения. Основным критерием классификации источников производства кокса является характеристика выбросов. Классификация источников выбросов коксохимического предприятия по [120] приведена на рисунке 3.8.

В состав организованных источников выбросов входят несколько групп, отличающихся различным уровнем концентраций загрязняющих веществ и объемов газовоздушной смеси:

- источники вентиляционных выбросов, которые имеют малые концентрации загрязняющих веществ при больших объемах выбрасываемых газов;
- технологические выбросы с большим содержанием загрязняющих веществ и малыми объемами газовоздушной смеси (воздушники емкостного оборудования);
- высокие источники нагретых выбросов – дымовые трубы.

С учетом значительной разницы в объемах и концентрациях организованные вентиляционные выбросы дополнительно подразделяются на выбросы от устройств естественной вентиляции (фонари, дефлекторы, вытяжные шахты) и принудительной вентиляции помещений и аспирации оборудования (трубы).

По формальным признакам к организованным выбросам должны быть отнесены выбросы из башен мокрого тушения кокса и градирен воды оборотного цикла конечного охлаждения коксового газа. Однако в связи с трудностями измерения расходов парогазовых потоков при больших размерах устьев (диаметр до 15 м) и малых скоростях газа, а также с затруднениями при отборе представительных проб для определения концентраций загрязняющих веществ в выбросах, эти источники классифицируются как неорганизованные, для которых определение выбросов связано со специальными методами на основе балансовых оценок.

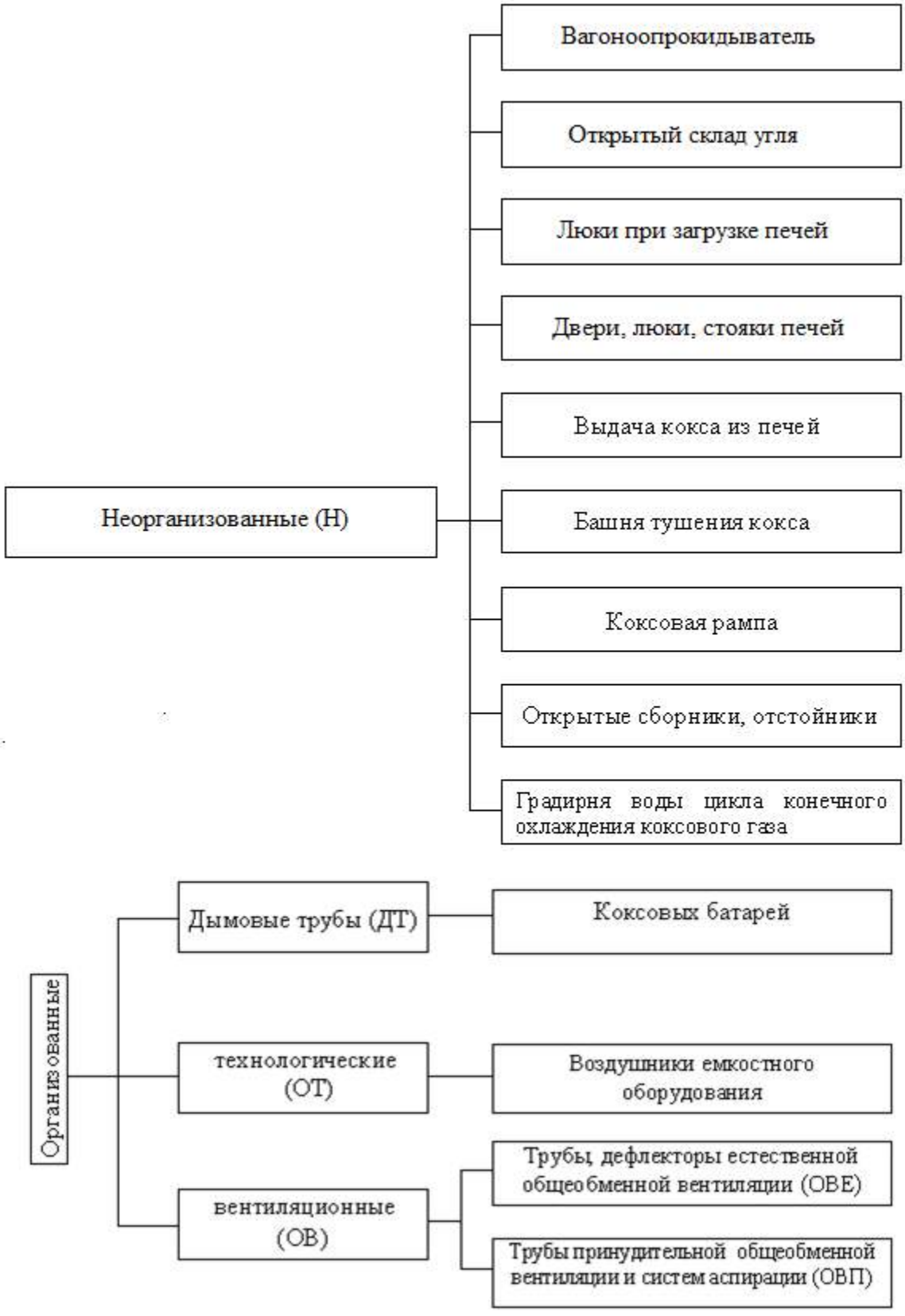


Рисунок 3.8 – Классификация источников выбросов в атмосферу при производстве кокса

Перечень загрязняющих веществ от источников выделения и выбросов определяется на основе анализа технологических процессов и перерабатываемого сырья и материалов.

Для производства кокса характерными загрязняющими веществами являются угольная и коксовая пыли, составляющие дымовых газов (оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, сажа и др.), а также составляющие коксового газа, выделяющегося из неорганизованных источников, (аммиак, сероводород, бензольные углеводороды, фенол, цианистый водород, нафталин, пиридин, сероуглерод, бенз(а)пирен и др.).

Состав угольной пыли на примере углей Кузбасса (интерпретируется по коду 2909 [121] как пыль с содержанием SiO_2 менее 20 %) представлен, %: углерод – 75–93; сера – 0,25÷1,0; влажность – 7÷10; зола – 9,0; в золе: SiO_2 – 44÷55 (на общую массу – 3,96÷4,95); Al_2O_3 – 17÷28 (1,53÷2,52); CaO – 1,5÷6,0 (0,135÷0,54); MgO – 2,0÷8,0 (0,18÷0,72); Fe_2O_3 – 3,0÷15,0 (0,27÷1,35).

Коксовая пыль (интерпретируется по коду 2909 [121] как пыль с содержанием SiO_2 менее 20 %) образуется при пересыпках кокса и может иметь повышенную зольность (до 18– 20 %) за счет «угара». В состав коксовой пыли по результатам химического анализа входят, %: углерод – 82,8; кремний – 2,28; алюминий – 1,48; кальций – 1,30; магний – 0,66; железо общее – 1,55; сера – 0,473.

Характеристики основных загрязняющих веществ, выбрасываемых источниками коксового производства, представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу

№	Наименование вещества	Код*	Код для формы «2 тп-воздух»	Класс опасности
1	Диоксид азота	301	ГО	3
2	Аммиак	303	ГП	4
3	Оксид азота	304	ГО	3
4	Цианистый водород	317	ГП	2
5	Сажа	328	Т	3
6	Диоксид серы	330	ГО	3
7	Сероводород	333	ГП	2
8	Оксид углерода	337	ГО	4
9	Сероуглерод	334	ЛОС	2
10	Бензол	602	ЛОС	2
11	Ксилол	616	ЛОС	3
12	Толуол	621	ЛОС	3
13	Бенз(а)пирен	703	Т	1
14	Нафталин	708	ЛОС	4
15	Фенол	1071	ЛОС	2
16	Формальдегид	1325	ГО	2
17	Пиридин	2418	ЛОС	2
18	Пыль коксовая (пыль неорганическая: <20 % SiO_2)	2909	Т	3
19	Пыль угольная (пыль неорганическая: <20 % SiO_2)	2909	Т	3

Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на основе отраслевых показателей приведены в таблице 3.18 [119, 120].

Величины удельных выбросов в атмосферу от источников коксохимических предприятий России корреспондируются с отраслевыми удельными показателями выбросов стран Европейского союза, приведенными в [103] (см. таблицу 3.19).

Таблица 3.18 – Величины отраслевых удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от источников производства кокса

Технология	Загрязняющее вещество	Удельные выбросы, г/т кокса	Концентрация ЗВ на выходе, мг/м^3	Примечание
Подготовка шихты				
Гаражи размораживания угля	оксид углерода	3–100	200–600	маркер
	диоксид азота	1–60		
	оксид азота	0,1–5,2		
	диоксид серы	15–150		
Подготовка шихты	угольная пыль	200–700	20–50	маркер
Коксование				
Дымовые трубы коксовых батарей[4)]	пыль (сажа)	100–350	80–200	маркер
	оксид углерода	900–5500	500–5000	
	диоксид азота	260–800	200–700	
	оксид азота	40–700		
	диоксид серы	500–1500	120–1300	Зависит от содержания серы в шихте
Загрузка коксовых батарей с применением гидро- (паро-) инжекции[5)] (неорганизованный)	угольная пыль	15–40		маркер
	оксид углерода	4,6–30		маркер
	диоксид азота	4,6–30		
	оксид азота	5–10		
	диоксид серы	2,5–10		
	сероводород	1,5–5,5		
	аммиак	0,5–6,0		
	цианистый водород	0,3–1,0		
	бензол	1,5–8,5		
	фенолы	0,1–0,4		
	пиридин	0,01–0,3		
	нафталин	2,5–5,0		
	бенз(а)пирен	0,002–0,015		
Двери, люки, стояки коксовых батарей (неорганизованный)	оксид углерода	5–100		маркер
	диоксид азота	0,1–1,0		
	оксид азота	0,01–0,9		
	диоксид серы	2–18		
	сероводород	0,8–5		

Продолжение таблицы 3.18

Технология	Загрязняющее вещество	Удельные выбросы, г/т кокса	Концентрация ЗВ на выходе, мг/м^3	Примечание
	аммиак	1,5–40		
	цианистый водород	0,03–7		
	бензол	0,2–35		
	фенолы	0,02–2,7		
	пиридин	0,01–3		
	нафталин	1–25		
	бенз(а)пирен	0,005–0,25		
Выдача кокса[6)] (неорганизованный)	коксовая пыль	300–750		маркер
	оксид углерода	10–100		маркер
	диоксид азота	1–40,0		
	оксид азота	0,1–3,5		
	диоксид серы	10–50		
	сероводород	2–10		
	аммиак	1–30		
	цианистый водород	1–8		
	бензол	0,5–13		
	фенолы	0,5–2,5		
	пиридин	1–2,1		
	бенз(а)пирен	0,003–0,05		
	нафталин	2–25		
Тушение кокса биохимически очищенной водой[7)] (башня тушения, неорганизованный)	коксовая пыль	50–350		
	сероводород	5–40		
	аммиак	10–50		
	цианистый водород	0,6–2,0		
	фенолы	1–5		
	оксид углерода	38–1000		
Сортировка кокса мокрого тушения	пыль (90 % очистки)	13,0	10–30	маркер
Сортировка кокса сухого тушения	пыль (90 % очистки)	780	20–150	маркер
Сухое тушение кокса (свечи УСТК)[8)]	диоксид серы	0,05		
	оксид углерода	4600	100000–150000	маркер
	сероводород	0,9		
	цианистый водород	0,1		
	аммиак	1,4		
	фенолы	0,2		
	пыль	31		
Разгрузка УСТК (вентсистемы)[8)]	пыль	730	50–120	маркер
	диоксид серы	2,5		

Продолжение таблицы 3.18

Технология	Загрязняющее вещество	Удельные выбросы, г/т кокса	Концентрация ЗВ на выходе, мг/м^3	Примечание
	оксид углерода	1250	1000–4000	маркер
	сероводород	0,8		
	цианистый водород	0,4		
	аммиак	2,0		
	фенолы	0,5		
Охлаждение и очистка коксового газа				
Конденсация паров из коксового газа. Технологическое оборудование (воздушники)[8)]	аммиак	80–150		
	сероводород	10–15		
	цианистый водород	20–35		
	фенол	2,5–5,0		
	бензол	120–150		
	толуол	10–15		
	ксилол	2–5		
	нафталин	2–5		
Перекачка коксового газа Машинный зал (вентсистемы, дефлекторы)[8)]	оксид углерода	1–6		маркер
	сероводород	5–12		
	аммиак	3–6		
	бензол	5–10		
	нафталин	1,0–2,5		
Перекачка жидкостей Вентсистемы помещений отделения конденсации (насосные)[8)]	аммиак	4–6		
	бензол	0,1–0,5		
	нафталин	0,5–1,0		
Очистка коксового газа от аммиака с сушилкой сульфата аммония[8)]	азота диоксид	0,5–35,0		
	азота оксид	0,1–5,5		
	углерода оксид	0,2–2,0		маркер
	сероводород	0,5–1,2		
	цианистый водород	10–20		
	аммония сульфат	15–25	100–300	
	серная кислота	0,01–0,03		
Уничтожение аммиака круговым фосфатным способом (КФС) Дымовая труба реактора установки	азота диоксид	5– 85	100–250	
	азота оксид	1– 55	20–80	
	углерода оксид	4–100	150–280	маркер
	серы диоксид	3–25	80–160	
	аммиак	0,3–1,0		
	сероводород	0,05–0,10		
	цианистый водород	0,01–0,05		

Продолжение таблицы 3.18

Технология	Загрязняющее вещество	Удельные выбросы, г/т кокса	Концентрация ЗВ на выходе, мг/м^3	Примечание
Очистка коксового газа от бензола Технологическое оборудование бензольно-скрубберного отделения (воздушники)[8)]	сероводород	1,5–2,5		
	фенол	0,01–0,05		
	цианистый водород	1,0–2,5		
	бензол	15–25		
	толуол	2–5		
	ксилол	0,5–1,0		
	нафталин	0,1–0,3		
	сероуглерод	0,5–1,0		
Вентсистемы и дефлекторы помещений бензольно-скрубберного отделения[8)]	сероводород	0,1–0,5		
	аммиак	10–15		
	бензол	25–35		
	толуол	2–5		
	ксилол	0,5–1,0		
	нафталин	0,5–1,0		
	цианистый водород	0,15–0,30		
	фенол	0,05–0,1		
Конечное охлаждение коксового газа Градирня цикла КГХ	сероводород	30–50		
	аммиак	20–35		
	цианистый водород	150–250		
	бензол	50–150		
	фенол	5–10		
	нафталин	10–70		
Биохимическая очистка сточных вод (отстойники, флотаторы, усреднители, аэротенки)[9)]	аммиак	1,0–2,0		
	фенолы	0,14–3,0		
	цианистый водород	0,2–0,5		
	роданиды		0–3	маркер

Примечания.

1 Величины удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по углекоксовому блоку, процессам очистки коксового газа и установке биохимической очистки сточных вод рассчитаны в граммах выброса на тонну валового кокса 6 % влажности.

2 Величины удельных выбросов относятся к источникам выбросов без учета атмосфероохранных мероприятий за исключением специально оговоренных случаев. В частности, выбросы из воздушников емкостного оборудования могут объединяться с помощью коллекторных систем, соединенных с газопроводом коксового газа, и утилизироваться путем сжигания совместно с коксовым газом. Величины удельных выбросов из этих источников имеют широкий интервал значений, бóльшие из которых относятся к случаям отсутствия коллекторных систем.

3 Для источников, величины выбросов которых сильно зависят от состава шихты, состояния источников эмиссии и уровня обслуживания, удельные выбросы даны в интервалах значений.

4 Содержание диоксида серы рассчитывается по известному содержанию сероводорода в сжигаемом газе, содержание оксида углерода, оксидов азота и сажи определяется по результатам прямых измерений.

5 Выбросы сероводорода, аммиака, цианистого водорода и фенола при тушении кокса определяются балансовым методом с использованием результатов анализа конденсата пара.

Таблица 3.19 – Удельные величины выбросов загрязняющих веществ разных заводов в странах ЕС [103]

Процесс	Выброс загрязняющего вещества, г/т кокса					
	Твердые	CO	SO_2	H_2S	NH_3	NO_x
Загрузка	0,3–0,45 0,03–1,05 0,09	2,1–3,9 0,006–7,2 0,09	0,0009–0,9	–	<0,03	–
Двери Люки Стояки	1,2 0,03–0,6 0,09 0,0018–0,09 <0,021	0,15–3,0 0,15–0,9 0,0003–0,6	0,015–0,15 0,015–0,09 0,0009–1,5	0,0018 0,0009 <0,0009	0,009–0,15 0,009–0,03 <0,0009	0,003–0,045 0,003–0,015
Выдача	40,5–60 <0,6 >21 0,09	0,6–3,6	0,6–2,4	–	–	–
Тушение	>13,5 1,5	9–15 30–141	–	6,6 5,1–8,1	0,45 0,3–0,9	–
Рассев	0,6*	–	–	–	–	–
*) – при мокром тушении.						

В 2021 г. в результате анкетирования предприятий, осуществляющих производство кокса, получены данные по выбросам загрязняющих (маркерных) веществ в атмосферный воздух. Удельные величины выбросов приведены на основании данных форм федерального статистического наблюдения № 2-ТП (воздух), а также на основании данных инвентаризации стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (таблица 3.20.).

Таблица 3.20 – Удельные выбросы загрязняющих (маркерных) веществ при производстве кокса (по результатам анкетирования в 2021 г.)

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвентаризация выбросов ЗВ
Подготовка углей к коксованию (размораживание, погрузочно-разгрузочные работы, складирование, дробление, дозировка, транспортирование), технологические процессы производства кокса (загрузка камер коксования угольной шихтой, трамбование шихты, нагрев угольной шихты в коксовых печах, отвод и охлаждения прямого коксового газа из камер коксования, выдача готового кокса из печей, тушение кокса, сортировка кокса на фракции, транспорти-рование и отгрузка потребителям), очистка коксового газа, биохимическая очистка сточных вод	Азота диоксид	кг/т кокса	0,21–0,88	0,26–1,51
	Азота оксид	кг/т кокса	0,02–0,18	0,04–0,39
	Углерода оксид	кг/т кокса	0,1–5,3	0,6–11,9
	Серы диоксид	кг/т кокса	0,24–0,99	0,25–5,5
	Взвешенные вещества*	кг/т кокса	0,25–0,85	0,28–1,08
* К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов».				

3.3.3 Сточные воды

В технологии КХП используется большое количество воды. Источниками сточных вод, образующихся при производстве кокса, служат:

- влага шихты, подаваемой на коксование (шихта 7–9 %-ной влажности);
- пирогенетическая влага шихты, подаваемой на коксование (2,5 % по массе шихты);
- свежая техническая вода, используемая в технологических процессах;
- конденсаты пара, применяемого в технологических процессах;
- влага атмосферных осадков с огражденных площадок расположения химоборудования.

Типы сточных вод, формирующихся при производстве кокса:

- фенольные – за счёт влаги шихты, пирогенетической влаги и конденсата пара, выделяются в процессах коксования шихты и переработки продуктов коксования;

- шламовые – в процессах мокрой очистки газа и воздуха аспирационных и вентиляционных систем;

- производственные стоки, к которым относятся продувочные воды чистых и грязных оборотных циклов (при выведении из оборотных циклов части оборотной воды с целью уменьшения концентрации загрязнений в оборотной воде за счёт подачи в цикл свежей воды (подпитки)), а также сточные воды химводоподготовки, продувочные воды котлов и др.;

- ливневые и поливомоечные воды – за счёт сбора и отведения с территории ливневых, талых и поливомоечных вод.

Химзагрязненные (фенольные) сточные воды подаются на установку биохимической очистки сточных вод (БХУ) следующими потоками:

- избыточные надсмольные воды отделения конденсации;

- продувочные воды цикла конечного охлаждения коксового газа.

Объемы водоотведения на БХУ для некоторых коксохимических предприятий России приведены в таблице 3.21, характеристика сточных вод представленав таблице 3.22.

Таблица 3.21 – Удельные объемы водоотведения на БХУ для некоторых предприятий России по производству кокса, $м^3$/т кокса

Предприятие	Водоотведение на БХУ
«Алтай-кокс»	0,52
ЗСМК	0,61
ПАО «Кокс», г. Кемерово	0,30
КХП ММК	0,44
МКГЗ, г. Видное	0,50
КХП «Уральская Сталь»	0,46
КХП «Северсталь»	0,62
КХП НЛМК	0,36
«Мечел-кокс»	0,36
КХП НТМК	0,97

Таблица 3.22 – Характеристика качественного и количественного состава сточных вод производства кокса РФ

Аспект/ингредиент	Единица измерения	Состав сточных вод	
		на входе в БХУ	на выходе с БХУ
Общий сток КХП	$м^3$/ч	65–300	
pH	–	7–9,5	6,5–8,5
БПК5	мгO_2/$дм^3$	1000–2000	10–20
ХПК	мг/$дм^3$	1500–4500	180–350
Взвешенные вещества	мг/$дм^3$	30–100	100–200
TOC		700–1100	
Фенол		300–1000	0,02–0,1
Роданид (тиоцианат)		180–650	0–3
Азот (по Кьельдалю)		250–800	1–10

Окончание таблицы 3.22

Аспект/ингредиент	Единица измерения	Состав сточных вод	
		на входе в БХУ	на выходе с БХУ
Аммонийный азот		180–800	1–30
Нитритный азот		Отс.	0,5–3
Нитратный азот		Отс.	5–35
Масла и смолы		50–150	2–6
Цианиды летучие		5–45	0,05–0,2
ПАУ* (6 Borneff)		1000–1800	0,1–45
* Полициклические ароматические углеводороды. 6 Borneff (BaP, BbF, BkF, BghiP, FLA, andIcdP) – это сумма флуорантрена, бенз[b]флуорантрена, бенз[k]флуорантрена, бенз[a]пирена, индено[1,2,3-c,d]пирена и бенз[g,h,i]перилена.			

Часть очищенной на БХУ воды направляется на мокрое тушение кокса, оставшаяся часть, объемом не более 3–5 %, загрязненной биологическим осадком воды после БХУ передается на городские очистные сооружения (ГОС),

При проведении комплекса мероприятий по использованию сточных вод в оборотных циклах и сокращению водопотребления на отдельных коксохимических предприятиях удается полностью ликвидировать передачу на городские очистные сооружения и обеспечить бессточность производства

3.3.4 Отходы и побочные продукты

В процессе производства кокса на предприятии образуются отходы производства и побочные продукты (фусы каменноугольные, кислая смолка, пыль коксовая и угольная, шламы, масла, и др.)

Источниками образования фусов являются механизированные осветлители, в которых происходит отстаивание надсмольной воды и смолы, а также сборники, отстойники и хранилища смолы. В емкостном оборудовании при хранении жидких коксохимических продуктов образуются шламы, которые представляют собой «жидкие фусы».

Источниками образования отходов в виде коксовой и угольной пыли являются установки пылеулавливания в системах аспирации углеподготовительного и коксового цехов.

Отходом производства является кислая смолка, которая образуется при контакте коксового газа с серной кислотой при очистке коксового газа от аммиака.

На БХУ при флотации образуются отходы в виде смолы первичных и фенольных отстойников и масел. В таблице 3.23 приведены данные о количественных показателях отходов коксохимического производства.

Таблица 3.23 – Основные отходы и побочные продукты коксохимического производства, кг/т (по данным анкетирования)

Наименование отходов	Класс опасности	Масса образующихся отходов, кг/т продукции		Источники образования	Метод повторного использования
		По данным ИТС 26-2017	По данным анкетирования в 2021 г. (ПНООЛР/ Форма № 2-ТП (отходы)		
Фусы каменноугольные	2	0,002–0,003	0,2–3,1 / 0,2–2,8	Механизированные осветлители, сборники, отстойники и хранилища смолы	Присадка к шихте
Кислая смолка	2	0,0006–0,0009	0,15–4,93 / 0,14–3,48	Сернокислотная очистка коксового газа от аммиака	Присадка к шихте
Кислая смолка высокоопасная	3	0,00024–0,00028	0,5–1,7 / 0,1–0,6	Сернокислотная очистка сырого бензола	Присадка к шихте
Коксовая пыль	4	0,00048–0,00216*	1,0–9,5 / 0,7–6,0	Выдача, транспортирование и рассев кокса	Передача на аглофабрику, присадка к шихте
Угольная пыль	4	0,000215–0,000240	0,062–0,82 / 0,06–1,04	Прием, транспортирование и измельчение угля	Присадка к шихте
Полимеры бензольного отделения	3	0,00025–0,00032	Нет данных		Присадка к шихте
Масла первичных отстойников биохимустановки	2	0,00019–0,00025	Нет данных	При регенерации поглотительного масла и хранении смолы	Присадка к шихте
* При сухом тушении кокса.					

3.3.5. Вторичные энергетические ресурсы

Ориентировочный энергетический баланс коксохимического производства приведен в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Энергетический баланс коксохимического производства (без учета очистки коксового газа) на основе данных [122]*

На входе		На выходе	
Энергоноситель	ГДж/т кокса	Энергоноситель	ГДж/т кокса
Уголь	40,19	Кокс	27,05
Обогрев коксовых печей	3,01	Коксовый газ	8,08
Химические реакции	0,32	Энергетические потери	3,33
		Дополнительные продукты (S0, смола и т. д.)	2,56
		Отходы кокса после его рассева	1,92
		Коксовая пыль	0,26
Всего	43,52	Всего	43,20
* Выход кокса составляет 780 кг/т угля.			

Основным энергетическим ресурсом в коксохимическом производстве является коксовый газ – высококалорийное топливо, которое может использоваться для различных теплопотребностей [122] металлургического предприятия (см. рисунок 3.9).

Выход коксового газа составляет 400–450 м^3/т кокса.

Коксовый газ может применяться на металлургическом комбинате в нескольких целях:

- для повышения теплотворной способности других технологических газов, предназначенных для применения в воздухонагревателях дутья и нагревательных печах станов горячей прокатки, а также в других процессах, где требуется высокая температура;
- для отопления коксовых печей;
- в доменной печи в качестве альтернативного восстанавливающего агента (при наличии подобной технологии);
- в качестве основного топлива на электростанциях;
- в других отопительных системах отдельно или в смеси с низкокалорийными газами.

Источником энергии на коксохимическом предприятии с сухим тушением кокса является водяной пар, получаемый при тушении кокса на УСТК (паропроизводительность 0,4–0,5 т пара/т кокса). Параметры пара не позволяют использовать его в целях производства электроэнергии, поэтому он используется на технологические нужды предприятия.



Рисунок 3.9 – Пример использования коксового газа на металлургическом комбинате [103]

3.4 Производство чугуна

Доменное производство является источником антропогенного воздействия на окружающую среду, основные аспекты которого приведены на рисунке 3.10.

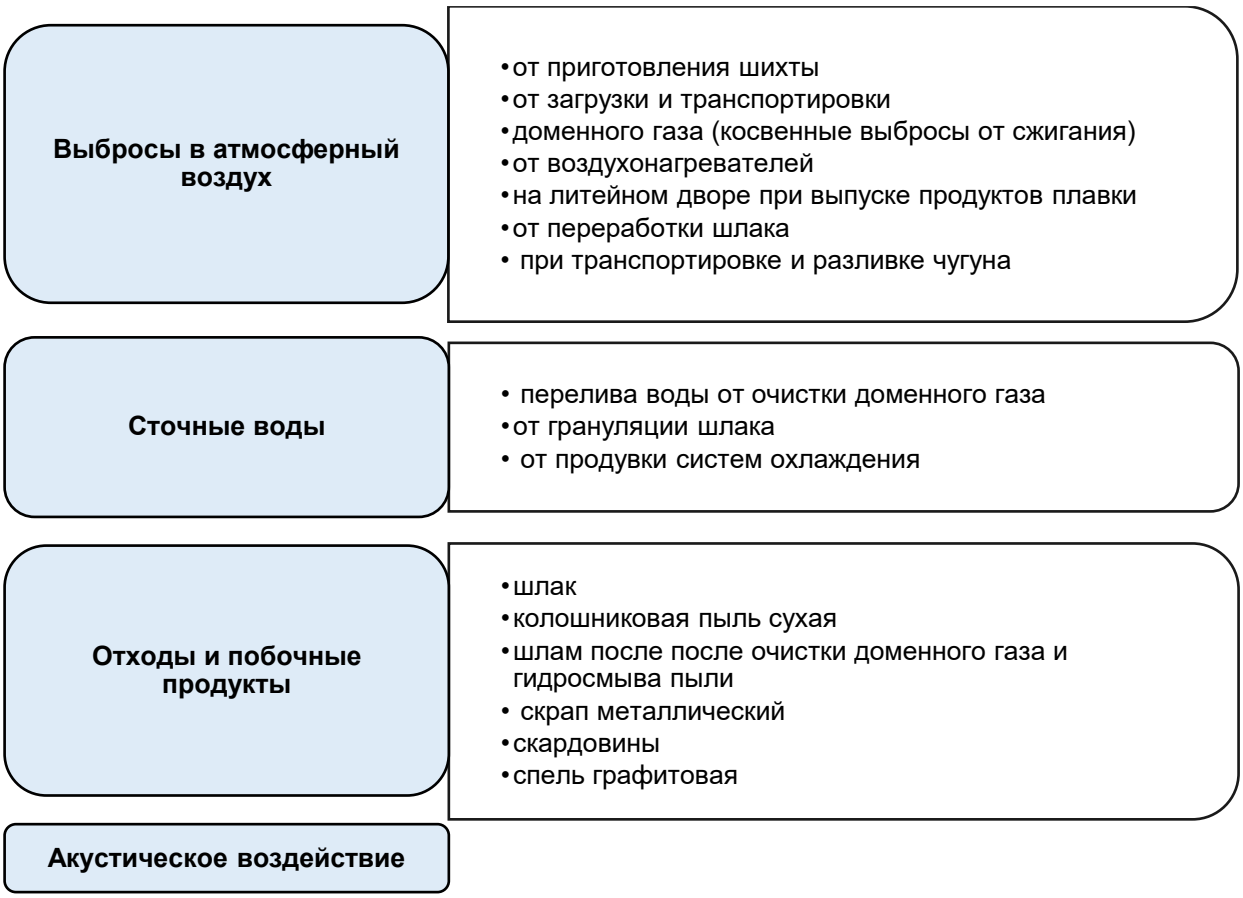


Рисунок 3.10 – Экологические аспекты доменного производства

3.4.1 Потребление ресурсов

Информация о потреблении ресурсов при производстве чугуна дана в таблицах 3.25 и 3.26.

Таблица 3.25 – Удельное потребление ресурсов при производстве чугуна в отрасли (по данным анкетирования)

Потребление электроэнергии, кВт·ч/т	Топливо – природный газ, $м^3$/т	Технологические газы (кислород), $м^3$/т	Потребление воды, $м^3$/т
			техническая вода на технологические нужды (в т.ч. оборотных циклов)
По данным анкетирования в 2017 г.			
4,9–27,4	64–116	77–138	18–40
По данным анкетирования в 2021 г.			
4,8–25,3	5,8–100,0	30,0–135,5	28–34

Удельное потребление технической воды на процесс (в т.ч. оборотных циклов) находится на высоком уровне, однако большая часть её находится в водооборотном цикле, объем которого на предприятиях может достигать 100 %.

Таблица 3.26 – Удельный расход сырья (кг/т) при производстве чугуна в отрасли (по данным анкетирования)

Сырьевые материалы	Расход	
	По данным анкетирования в 2017 г.	По данным анкетирования в 2021 г.
Агломерат	620–1692	888,2–1193,0
Окатыши	326–869	305,7–901,6
Кокс	358–487	397,7–481,1
Коксовая мелочь	1,2–26,6	Нет данных
Добавки	77–208	0–3,5
Угли	32–48	Нет данных
Руда	4,9–18,4	0–19,8
Металлодобавки	5,3–21,5	Нет данных
Флюсы	2,6	Нет данных
ВСЕГО	1043–2423	2230

3.4.2 Выбросы в атмосферу

Доменное производство характеризуется наличием организованных и неорганизованных выбросов пыли и газов в атмосферу, в т.ч. выбросов от переработки шлака (см. таблицы 3.27, 3.28).

Организованными источниками эмиссий в окружающую среду служат: дымовые газы воздухонагревателей, имеющие характерный для процессов сжигания газообразного топлива состав; аспирационные системы литейных дворов доменных печей и бункерной эстакады; выбросы от переработки шлаков для процессов придоменной грануляции.

Таблица 3.27 – Данные по материальным потокам для доменных печей в странах ЕС [103]

Вход			Выход		
Сырьевые материалы			**Эмиссии и отходы**		
Агломерат	кг/т чугуна	116–1621	Энергия		
Железная руда		0–684	Доменный газ	МДж/т чугуна	3377–6061
Окатыши		0–972	Электроэнергия		40–91
Кокс		282–515	Отходы и побочная продукция		
Возврат		0–106	Шлак	кг/т чугуна	150–346,6
Известняк/известь		0–80	Пыль колошникового газа		3,4–18
Вдувание в фурмы			Шлам колошникового газа		2–22,3
Жидкое топливо	кг/т чугуна	0–116	Пыль от обеспыливания литейного двора		0,6–5,1

Окончание таблицы 3.27

Вход			Выход		
Уголь		0–232	Использованные огнеупоры		0,3–5,9
Коксовый газ		0–46,9	Сточные воды	$м^3$/т чугуна	0,0096–13,736
Природный газ		0–5,6			
Кислород		0–85,1			
Прочее [1)]		0–73,5			
К воздухонагревателям					
Доменный газ	МДж/т чугуна	1,2–2287			
Коксовый газ		0,024–817			
Природный газ		0–819			
Конвертерный газ		0,124–259			
Энергия					
Электроэнергия	МДж/т чугуна	107–850			
Прочее					
Кислород	$м^3$/т чугуна	4,6–67			
Азот		33–59			
Пар		14,8–435			
Сжатый воздух		0,008–35			
Охлаждающая вода [2)]		0,37–22,9			
Техническая вода [3)]		0,28–13			

[1)] Прочее включает пластмассы, масла, жиры, эмульсии и т. д.

[2)] Вода, которая не имеет непосредственного контакта в процессе.

[3)] Вода как часть процесса.

Различия в уровнях охлаждающей воды и сточных вод отражают прямоточные и оборотные системы.

Таблица 3.28 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в доменном производстве [103], г/т продукции

Наименование ЗВ	Технологический этап / источник выброса	Масса ЗВ в отходящих газах после очистки	
		Диапазон	Среднее
Пыль неорганич. суммарно	Бункерная эстакада – сухая очистка – циклон, фильтр рукавный	0,172–36,6	4,4
MgO		0,096–15	1,66
Mn и его соединения		0,0092–2	0,022
NO_2	Подготовка дутья	34–600	55
NO		8,1–78	35
CO		2238–6000	4900
SO_2		50–254	200
	Литейный двор – сухая очистка – циклон, электрофильтр или рукавный фильтр		
CO			242
SO_2			33,6
Пыль неорганическая суммарно		137,9–490,0	

Окончание таблицы 3.28

Наименование ЗВ	Технологический этап / источник выброса	Масса ЗВ в отходящих газах после очистки	
		Диапазон	Среднее
MgO		0,129–0,271	
Mn и его соединения		0,0061–0,0219	

В 2021 г. в результате анкетирования предприятий, осуществляющих производство чугуна, были собраны данные по выбросам загрязняющих (маркерных) веществ в атмосферный воздух. Удельные величины выбросов приведены на основании данных форм федерального статистического наблюдения № 2-ТП (воздух), а также на основании данных инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (таблица 3.29.).

Таблица 3.29 – Удельные выбросы загрязняющих (маркерных) веществ при производстве чугуна (по результатам анкетирования в 2021 г.)

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвентаризация выбросов ЗВ
Прием и хранение сырья, дозирование, отсев мелочи, загрузка печи, подготовка дутья, выплавка чугуна, разливка товарного чугуна на разливочных машинах, обработка доменного шлака, очистка доменного газа и утилизация его химической энергии, утилизация избыточного давления доменного газа, транспортировка жидкого чугуна в сталеплавильный цех, установки водоочистки	Азота диоксид	кг/т чугуна	0,01–0,53	0,004–0,07
	Азота оксид	кг/т чугуна	0,003–0,26	0,001–0,041
	Углерода оксид	кг/т чугуна	0,8–4,1	0,9–4,0
	Серы диоксид	кг/т чугуна	0,05–0,24	0,05–0,25
	Взвешенные вещества*	кг/т чугуна	0,19–0,47	0,33–0,58
* К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов».				

Основные выбросы при производстве чугуна связаны с работой воздухонагревателей (таблица 3.28). Выход дымовых газов на воздухонагревателях составляет приблизительно от 100 тыс. до 500 тыс. нм^3/ч или в удельных единицах – 400–1500 нм^3/ч чугуна. Концентрации выбросов SO_2 находятся в диапазоне от 4 до 154 мг/нм^3 в зависимости от применяемого газа, что соответствует 1,6–154 г/т чугуна.

Содержание оксидов азота составляет $(1,7 \div 6,6)10^{-4}$ % [123]. Содержание пыли в выбросах от воздухонагревателей составляет 1–12 мг/нм^3, что соответствует 0,4–18 г/т выплавленного чугуна [103].

Приоритетными веществами в выбросах доменного производства являются оксиды азота и оксид углерода, а также дисперсная пыль, образующаяся при выпуске чугуна на литейном дворе, и при дозировании и загрузке шихты в доменную печь. Меры по снижению выбросов в первую очередь направлены на ~~выбросы~~ управление эмиссиями пыли.

Аспирационные газы, отбираемые из подбункерных помещений доменных цехов, содержат пыль в количестве 2–5 г/м^3, для очистки от которой в основном используются электрофильтры, что позволяет снизить содержание пыли до 60–80 мг/м^3. Выбросы литейного двора, содержащие пыль и газы, также очищаются в электрофильтрах с эффективностью пылеулавливания 93–96 % (возможно применение рукавных фильтров).

При работе доменной печи в результате горения кокса и восстановительных процессов образуется доменный газ в количестве от 1500 до 2500 м^3/т; его состав зависит от вида выплавляемого чугуна или ферросплава, технологии доменной плавки, поэтому характеризуется диапазоном значений параметров (таблица 3.30).

Таблица 3.30 – Примерный состав доменного газа после двухстадийной очистки [113]

Компонент	Ед. измерения	Значение	Удельные выбросы	Ед. измерения
Пыль	мг/нм^3	1–10	1–20	г/т чугуна
H_2S	мг/нм^3	14	17–26	
Металлы:				
Mn		0,10–0,29	0,2–0,37	
Pb		0,01–0,05	0,02–0,07	
Zn		0,03–0,17	0,07–0,22	
CO	об. %	20–28	300–700	кг/т чугуна
CO_2		17–25	400–900	
H_2		1–5	1–7,5	
N_2		остальное	–	–

Доменный газ является вторичным энергетическим ресурсом и после многоступенчатой очистки поступает в газовую сеть предприятия.

Пыль и шлам от очистки доменного газа

Доменный газ подвергается многоступенчатой очистке от пыли (рисунок 3.11).

Сначала в сухом пылеуловителе отделяется крупная часть колошниковой пыли размером более 50 мкм (грубая очистка). После мокрой газоочистки (скрубберы или скрубберы Вентури) от доменного газа отделяют более тонкую пыль (полутонкая очистка), на третьей ступени (в дроссельной группе) отделяются очень дисперсные фракции (тонкая очистка), которые в виде шлама поступают в радиальные отстойники.



Рисунок 3.11 – Многоступенчатая система очистки доменного газа

Очистка аспирационных газов осуществляется, как правило, в электрофильтрах, реже в рукавных фильтрах. На ПАО «НЛМК», например, реализована модульная аспирационная установка с использованием рукавных фильтров для литейного двора доменной печи № 4 (2,1 млн тонн чугуна/год), что обеспечивает эффективность газоочистки 99,7 %.

Согласно европейским требованиям уровень эмиссии, соответствующий требованиям НДТ, составляет:

- для пыли – < 10 мг/нм^3;
- для диоксида серы SO2 – < 200 мг/нм^3;
- для оксидов азота NOx (в пересчете на NO2) – < 100 мг/нм^3.

3.4.3 Сточные воды

На охлаждение доменной печи расходуется значительное количество воды – до 30 м^3/ т чугуна [123]. В доменных цехах загрязненные сточные воды образуются при очистке доменного газа, на разливочных машинах чугуна, в газопроводах коксового и смешанного газа, при грануляции доменного шлака, гидроуборке пыли в подбункерных помещениях.

При очистке 1000 м^3 газа образуется 4–6 м^3 сточных вод, содержащих пыль (частицы руды, кокса, известняка, агломерата), химические соединения (сульфаты, хлориды), а также растворенные газы.

Расход воды на одну разливочную машину чугуна составляет около 350 м^3/ч. В сточных водах разливочных машин содержатся осколки застывшего чугуна, окалина, коксовая мелочь, графит, негашеная известь и известняковый шлам, что приводит к высокой степени щелочности стоков. Количество сточных вод при этом составляет 70–80 % потребляемой воды.

В результате охлаждения газа в трубопроводах образуется конденсат в количестве 20–40 дм^3 на 1000 м^3 газа. Конденсат из газопроводов коксового и смешанного газа содержит аммиак, фенолы, цианиды, нафталин, масла, смолы, серу.

При грануляции доменного шлака расходуется до 3 м^3 воды на 1 т жидкого чугуна. В сточных водах содержатся сульфаты, сероводород, хлориды.

Загрязненные сточные воды доменного производства, как правило, не сбрасываются в естественные водоемы, а используются в оборотном водоснабжении.

Организация оборотной системы водоснабжения доменного производства

Вода после мокрой очистки доменного газа (см. рисунок 3.12) обычно очищается в радиальных отстойниках (обычно блок из двух или четырех отстойников с одним распределительным колодцем), охлаждается на градирнях и вновь возвращается в технологический цикл. Гидравлическая нагрузка на отстойники при осветлении сточных вод достигает 2,5 $м^3/(м^2*ч)$. Для улучшения осветления воды применяют реагентные методы коагуляции, что позволяет довести нагрузку до 4 $м^3/(м^2*ч)$ и выше поверхности отстойника.

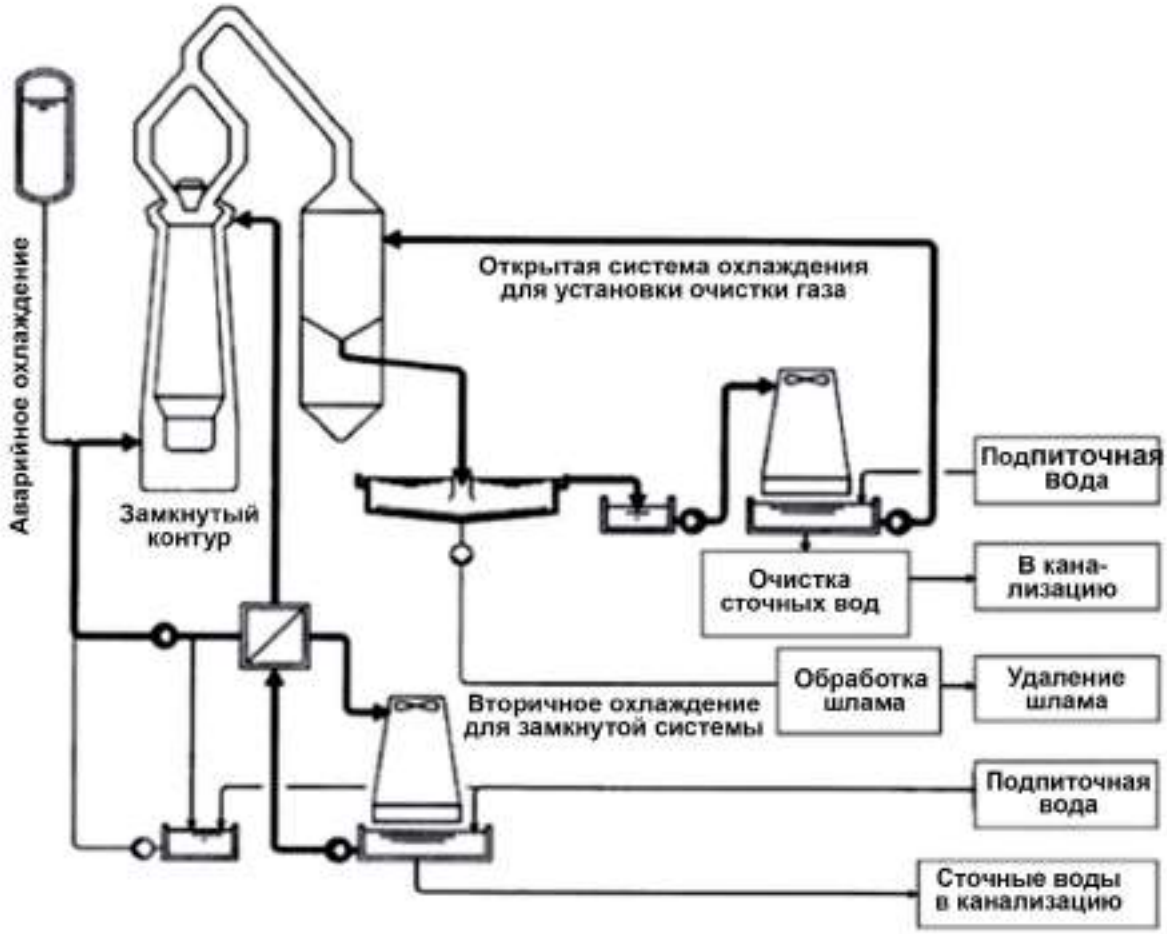


Рисунок 3.12 – Оборотная схема водоснабжения доменного цеха [103]

При грануляции расплавленного шлака имеют место выбросы H_2S и SO_2, которые являются потенциальными источниками запаха и вызывают коррозию оборудования. Диапазон удельных выбросов составляет 1–320 г H_2S/т жидкого чугуна и 1–150 г SO_2/т жидкого чугуна. Вода, используемая в процессе грануляции, собирается и повторно возвращается в цикл.

Широкое распространение получили объединенные оборотные циклы водоснабжения газоочисток доменного и сталеплавильного цехов [123].

3.4.4 Отходы и побочные продукты

Перечень отходов и побочных продуктов, образующихся в процессе выплавки чугуна, а также обращение с отходами и побочными продуктами, представлен в таблице 3.31.

Таблица 3.31 – Перечень отходов и побочных продуктов, образующихся при выплавке чугуна (по данным анкетирования)

Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции			Обращение с отходами
	По данным ИТС 26-2017	По данным анкетирования в 2021 г.		
		ПНООЛР	Форма № 2-ТП (отходы)	
Шлак доменный основной не гранулированный	204–830	298–550	236–493	Утилизация с получением побочной продукции «Щебень доменный фракционированный для дорожного строительства»; утилизация потребителю в качестве шлакового щебня; использование при ликви-дации горных выработок
Шлак доменный гранулированный	140	90–179	145	Реализация как побочная продукция; Использование при ликвидации горных выработок
Пыль колошниковая при сухой очистке доменного газа	5,5–33	26,0–33,2	19,2–32,0	Утилизация в процессе агломерациив качестве добавки в шихту
Пыль газоочистки черных металлов незагрязненная	1,6–8	18,2	1,7	Утилизация в процессе агломерации
Лом футеровок печей и печного оборудования производства чёрных металлов	1,1–3,5	2,5	1,0	Переработка для собственных нужд или реализации; утилизация в огнеупорном производстве; использование при ликвидации горных выработок
Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные	1,4–24	0,7	0,7	Рециклинг – в конвертерной плавке либо в электропечах

Окончание таблицы 3.31

Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции			Обращение с отходами
	По данным ИТС 26-2017	По данным анкетирования в 2021 г.		
		ПНООЛР	Форма № 2-ТП (отходы)	
Отходы (осадки) механической очистки (осветления) воды систем мокрой газоочистки производств чугуна и стали с преимущественным содержанием оксидов железа	0,8–19	6,4–37,1	4,5–23,0	Утилизация в процессе агломерации в качестве добавки в шихту; размещение
Скрап чугунный незагрязненный	0,7–22,5	0,9–4,6	0,6	Утилизация в сталеплавильном производстве
Пыль коксовая газоочистки при сортировке кокса	0,032–0,1	Нет данных	Нет данных	Утилизация в производстве агломерата в качестве углеродосодержащей добавки

Пыль при разливке

На литейном дворе может выделяться 0,6–5,1 кг пыли /т жидкого чугуна, которую собирают при очистке газов в рукавном или электрофильтрах для повторного использования в агломерационной шихте.

Пыль и шлам от очистки доменного газа

Для очистки доменного газа применяется многоступечатая схема, с сухим пылеуловителем на первой стадии, при этом образуется 5–30 кг сухой пыли/т жидкого чугуна, которая поступает в агломерационную шихту. На второй и третьей стадии при мокром способе очистки доменного газа формируется 2–25 кг шламов/т жидкого чугуна.

Сгущенный шлам направляют в пруды-отстойники или шламохранилища для предварительного отстаивания, а далее в шламовые карты для естественного обезвоживания (с полным или частичным применением в аглошихте, если содержание оксида цинка не превышает допустимых пределов).

3.4.5 Вторичные энергетические ресурсы

На рисунке 3.13 представлены потенциальные источники вторичных энергетических ресурсов доменного процесса.

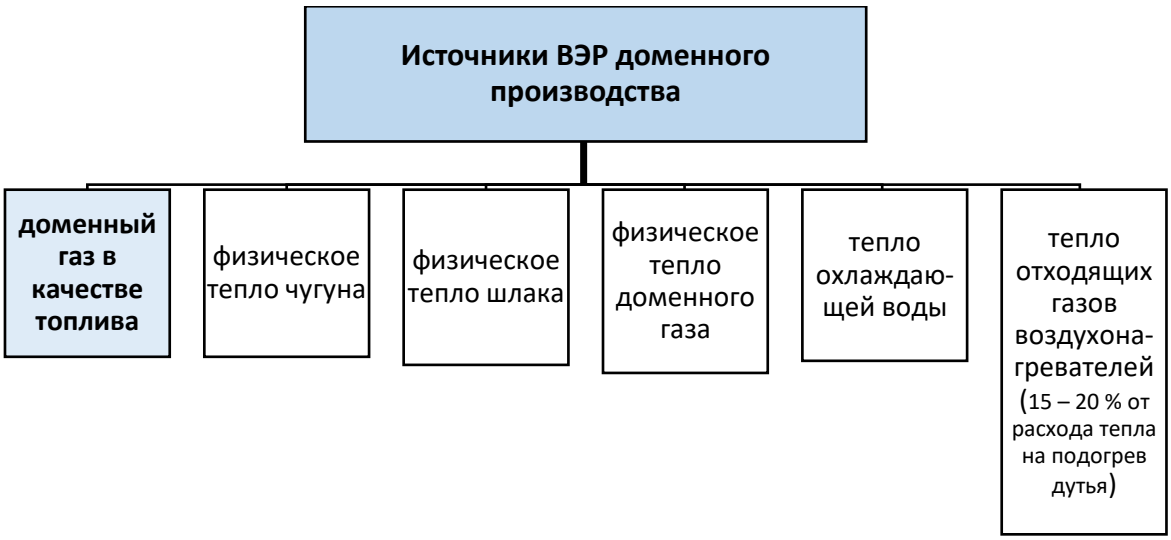


Рисунок 3.13 – Источники ВЭР доменного производства

Наиболее мощным вторичным энергетическим ресурсом является доменный (колошниковый) газ – за счет его сжигания в энергетическом балансе металлургических предприятий покрывается 35–45 % теплопотребностей. Характеристика доменного газа дана в таблице 3.32.

Таблица 3.32 – Характеристика доменного (колошникового) газа

Наименование параметра	Значение
Температура, °С	120–350
Выход, $м^3$/т чугуна	1500–2500
Теплота сгорания, МДж/$м^3$	~4
Давление на колошнике, МПа	До 4

Температура доменного газа в зависимости от условий ведения плавки (вида комбинированного дутья) и вида выплавляемого чугуна на выходе из печи составляет 120–350 °С. Очищенный от пыли колошниковый газ применяется в доменных воздухонагревателях, энергетических котлах, для отопления зажигательных горнов агломерационных машин, нагревательных колодцев и печей прокатного производства.

Доменный газ, обладая избыточным давлением, используется в газовых бескомпрессорных турбинах (ГУБТ). ГУБТ и технология ее применения впервые разработана в СССР в 1951 г., изготовлена на Невском машиностроительном заводе и установлена на доменной печи ММК в 1956–1962 гг. На Уральском турбинном заводе с 1970 по 1990 гг. было произведено 20 ГУБТ, из которых 5 поставили в Японию, 2 – в Индию и 1 – в Италию. В настоящее время в США, Японии, Великобритании, Франции, Германии имеются десятки газотурбинных установок, работающих на колошниковом газе. Германия, установив газовые турбины на всех крупных доменных печах, ежегодно вырабатывает на них до 360 млн кВт·ч электроэнергии.

К ВЭР доменного производства относится также теплота отходящих газов воздухонагревателей (температурой 300–500 °С), составляющая 15–20 % от ее расхода на подогрев доменного дутья. Этот ресурс может быть использован для выработки пара, горячей воды или для подогрева доменного газа перед входом в газовую турбину.

Наибольший коэффициент использования характеризует химическую энергию доменного газа – 95 %. На российских металлургических комбинатах реализован рециклинг вторичных технологических газов –доменного газа (89,7–99,1 %) и коксового газа (99,5–99,9 %).

3.5 Производство стали в кислородных конвертерах

Процесс производства стали в конвертере с кислородной продувкой является источником выбросов пыли, а также образования твердых отходов (побочных продуктов) и сточных вод. Схема материальных потоков в конвертерном производстве стали приведена на рисунке 3.14.

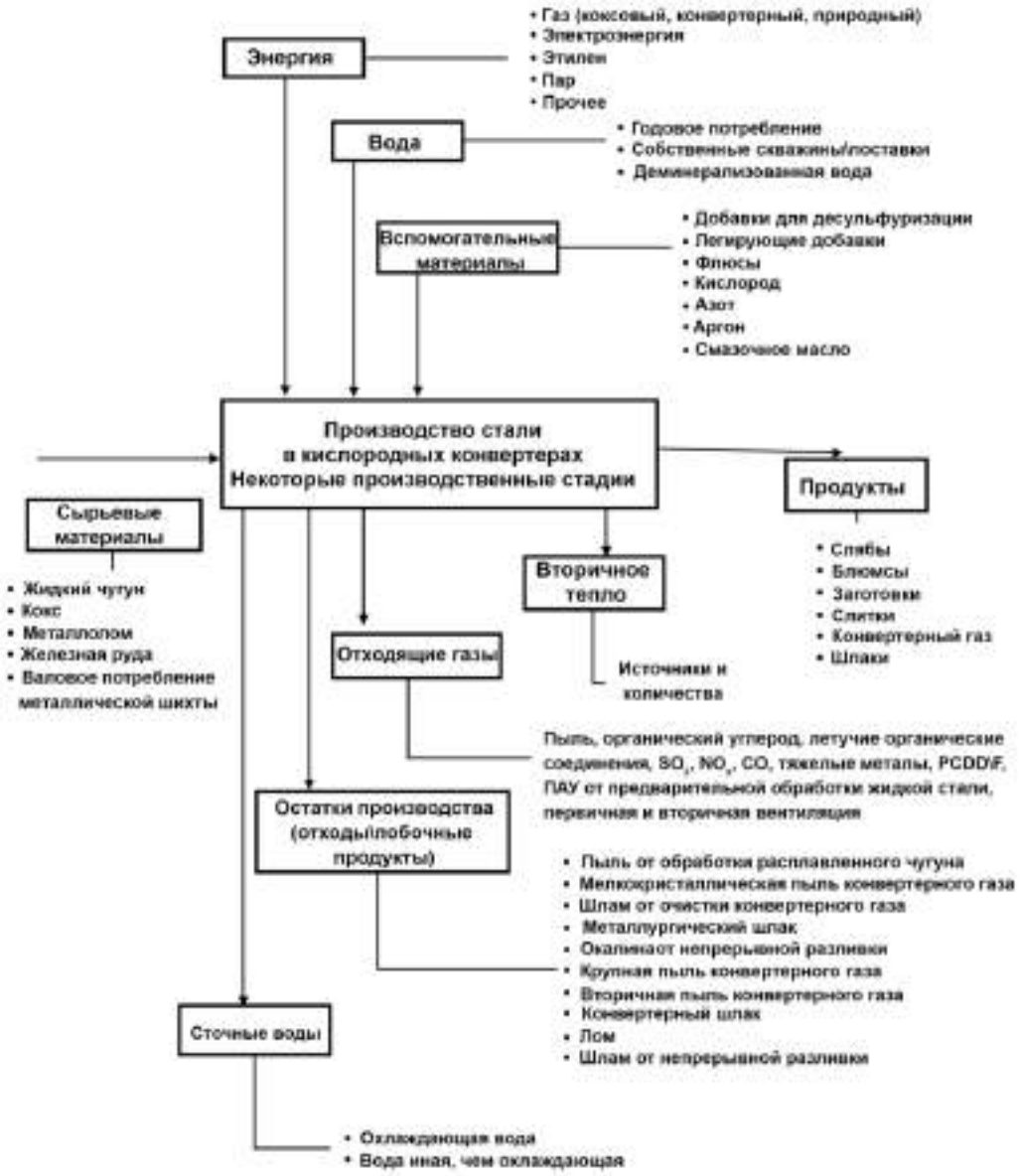


Рисунок 3.14 – Схема материальных потоков в конвертерном производстве стали [103]

3.5.1 Потребление ресурсов

Таблица 3.33 – Удельное потребление ресурсов в конвертерном производстве отрасли (по данным анкетирования)

Потребление электроэнергии, кВт·ч/т	Топливо – природный газ, $м^3$/т	Технологические газы (кислород), $м^3$/т	Потребление воды, $м^3$/т
			техническая вода на технологические нужды (в т.ч. оборотных циклов)
По данным анкетирования в 2017 г.			
19,04–72,4	1,09–11	60–132	0,94–24
По данным анкетирования в 2021 г.			
58,1–75,9	3,7–6,0	47,4–66,2	Нет данных

Удельное потребление технической воды на процесс (в т.ч. оборотных циклов) определяется потребностями процесса, при этом водооборот организован либо на основе локальных оборотных циклов, либо в замкнутой системе водооборота предприятия.

Таблица 3.34 – Удельный расход сырья (кг/т) в конвертерном производстве отрасли (по данным анкетирования)

Сырьевые материалы	Расход, кг/т стали	
	По данным анкетирования в 2017 г.	По данным анкетирования в 2021 г.
Чугун	472–1082	834,8–940,0
Лом	20–585	160,0–265,5
Известь	31–72,3	45,0–63,3
Известняк	0,04–8,174	0–15,0
Доломит	5,2–50,4	1,4–14,5
Окатыши	1,9	Нет данных
Ферросплавы	5,6–19	9,0–12,9
Скрапы	59,5	0–50,0
Стружка	17,0	Нет данных
Окалина	76	0,1–5,0
Кокс	0,04–0,4	0,08–2,0
Коксовая мелочь	0,161–2,83	1,6–3,0
Угли	5,24–16,84	5,1–8,9
Агломерат	0,01–1,25	0,8–2,0
ВСЕГО	1153–1237	1058–1382

3.5.2 Выбросы в атмосферу

Конвертерное производство стали является источником выбросов пыли, газовых компонентов, образования твердых отходов / побочных продуктов и сточных вод (см. таблицы 3.35, 3.36).

Выбросы при работе кислородных конвертеров образуются в ходе:

- загрузки конвертеров шихтовыми материалами;
- продувки шихты кислородом;
- выпуска жидкой стали и шлака из конвертера.

Неорганизованные (рассеянные) выбросы происходят в течение всех перечисленных процессов, когда отходящие газы не полностью улавливаются.

Таблица 3.35 – Данные по материальным потокам для конвертеров в странах ЕС [103]

Вход			Выход		
Сырьевые материалы			**Продукты** [1)]		
Жидкий чугун	кг/т жидкой стали	800–950	Непрерывнолитые заготовки Слитки	кг/т жидкой стали	1000,0
Лом		150–300			
Кокс		0–0,4			
Известь		30–67	**Энергия**		
Доломит		0–28,4	Конвертерный газ	МДж/т жидкой стали	350–700
Легирующие		1,3–33	Пар		24–335
Газы			**Выбросы**		
Кислород	$м^3$/т жидкой стали	49,5–70	Пыль	г/т жидкой стали	14–143
Аргон		0,55–1,2	Cr		0,01–0,075
Азот		2,3–18,2	Fe		15,15
			Cu		0,01–2,72
Энергия			Pb		0,17–0,98
Электроэнергия	МДж/т жидкой стали	35–216	Mn		0,3–1,56
Природный газ		49,5–730	NO_x		8,2–55
Коксовый газ		0–800	CO		393–7200
			ПАУ	мг/т жидкой стали	10
Общий пар	МДж/т жидкой стали	13–150	ПХДД/Ф	мкг I-TEQ/ т жидкой стали	0,043–0,094
Сжатый воздух	$нм^3$/т жидкой стали	8–26	**Остатки производства (отходы / побочная продукция)**		
Вода	$м^3$/т жидкой стали	0,8–41,7	Шлак: от десульфурации конвертерный от внепечной обработки стали от непрерывной разливки	кг/т жидкой стали	3–40 85–165 9–15 4–5,7
			Выплески		2,8–15
			Пыль		0,75–24
			Окалина		2,3–7,7
			Сточные воды	$м^3$/т жидкой стали	0,3–6

[1)] Сумма продуктов (слябы, блюмсы, заготовки или слитки).

Таблица 3.36 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в конвертерном производстве [103], г/т продукции

Наименование ЗВ	Масса ЗВ в отходящих газах после очистки
CO	1979–5651
NO2	28–320
NO	6–70
SO2	15–290
Взвешенные вещества (пыль неорганическая суммарно)	113–350

В 2021 г. в результате анкетирования предприятий, осуществляющих производство стали в конвертерах, были собраны данные по выбросам загрязняющих (маркерных) веществ в атмосферный воздух. Удельные величины выбросов приведены на основании данных форм федерального статистического наблюдения № 2-ТП (воздух), а также на основании данных инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (таблица 3.37).

Таблица 3.37 – Удельные выбросы загрязняющих (маркерных) веществ при производстве стали в конвертерах (по результатам анкетирования в 2021 г.)

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Ед. измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвентаризация выбросов ЗВ
Прием жидкого чугуна, усреднение жидкого чугуна в стационарном миксере, перелив из чугуновозных ковшей или чугуновозных ковшей миксерного типа в чугунозаливочные ковши, подготовка твердой металлической шихты и шлакообразующих материалов, десульфурация чугуна, прием и подготовка ферросплавов, выплавка стали, выпуск расплава из конвертера в сталеразливочный ковш, присадка ферросплавов, раскислителей и других добавок, внепечная обработка расплава, подготовка сталеразливочных и промежуточных ковшей, разливка стали на МНЛЗ или в изложницы (слитки), обработка непрерывно-литых заготовок и слитков, переработка и утилизация шлаков сталеплавильного производства, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т стали	0,02–0,17	0,04–0,35
	Азота оксид	кг/т стали	0,004–0,06	0,006–0,072
	Углерода оксид	кг/т стали	0,14–4,79	0,14–4,82
	Серы диоксид	кг/т стали	0,005–0,24	0,007–0,092
	Взвеш. вещества*	кг/т стали	0,03–0,27	0,10–0,34
* К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов».				

Блок-схема процесса конвертерного производства стали с указанием источников выбросов приведена на рисунке 3.15.



Рисунок 3.15 – Блок-схема процесса конвертерного производства стали с указанием источников выбросов [103]

Основным отходящим газом является конвертерный газ, последующее его удаление и обеспыливание осуществляется системой устройств и аппаратов первичного обеспыливания в составе газоход, котел-утилизатор, наклонный газоход, скруббер Вентури с каплеуловителем, свеча или газгольдер).

Приоритетными веществами в выбросах конвертерного производства являются оксид углерода и взвешенные вещества (пыль неорганическая), меры по снижению выбросов в первую очередь направлены на управление эмиссиями пыли.

При работе в режиме полного дожигания выбросы пыли в атмосферу находятся в диапазоне 25–100 мг/нм^3 после очистки, выход продуктов сгорания достигает 2000–3000 нм^3/т (что дает величину выбросов пыли в среднем 180 г/т жидкой стали).

В выбросах в воздух при переливе чугуна из ковша в заливочный ковш, в процессах десульфурации, последующего отделения шлака образуется до 10 г/нм^3 (или 1000 г/т стали) пыли. Эффективная локализация выбросов от предварительной обработки расплава чугуна достигается с помощью применения пылезащитных кожухов. Собранные с их помощью газы очищаются в скрубберах, трубах Вентури, циклонах, рукавных фильтрах, электрофильтрах.

Другие источники выбросов в процессе производства стали в кислородных конвертерах, включая внепечную обработку стали и непрерывную разливку, дают удельные показатели выбросов в диапазоне 1–275 г/т стали, после очистки 0,1–50 г/т стали.

Неорганизованные (рассеянные) выбросы конвертерного производства стали эвакуируются системой вторичного обеспыливания.

Система вторичного обеспыливания состоит из вытяжного зонта, расположенного непосредственно над горловиной конвертера в наклонном положении, и кожуха вокруг конвертера. Расход отходящих газов вторичного обеспыливания составляет 300 000–3 500 000 нм^3/ч, а очистка выполняется в большинстве случаев с помощью рукавных фильтров, реже – электрофильтров. Удельный расход электроэнергии на транспорт такого количества газа составляет 0,72–13 МДж/т стали.

Эффективность вторичного обеспыливания (с учетом процессов улавливания и эвакуации) конвертерной плавки составляет: при заливке жидкого чугуна – 89–99 %, при загрузке лома – 24–64 %, при продувке – 89–99 %; при выпуске стали – 49–55 %. Достигаемые уровни остаточной запыленности при вторичном обеспыливании при использовании электрофильтра около 30 мг/нм^3, рукавного фильтра – менее 2–13 мг/нм^3.

В результате работы систем вторичного пылеулавливания образуется 0,5–1,2 кг/т стали уловленной пыли [103].

На ПАО «ММК» реализована автоматизированная централизованная система аспирации и обеспыливания 1400 тыс. м^3/ч неорганизованных выбросов конвертерного цеха, включающая 2-е ступени очистки (24 циклона и напорный рукавный фильтр), что обеспечивает очистку выбросов до остаточной запыленности 20–30 мг/м^3. Уловленная пыль в количестве 10 тыс. т/год возвращается в агломерационный цех для использования в шихте [124].

3.5.3 Сточные воды

В конвертерном производстве вода используется:

- для очистки конвертерного газа (скрубберная вода), после очистки воду возвращают в цикл;
- для вакуумной обработки (5–8 м^3/т жидкой стали), эти сточные воды очищают вместе с другими потоками от прокатных станов и возвращают в цикл;
- для прямого охлаждения при разливке стали на МНЛЗ или в изложницы (5–35 м^3/т жидкой стали), эти сточные воды очищают вместе с другими потоками от прокатных станов и возвращают в цикл.

Для оптимизации использования сточных вод на металлургическом заводе предпочтительным подходом является локальная очистка и организация оборотных циклов. К примеру, водоснабжение конвертерного цеха ПАО «ММК» осуществляется по оборотной схеме, в которую входят 4 цикла (см. рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Оборотная схема водоснабжения конвертерного цеха ПАО «ММК» [124]

На ПАО «НЛМК» с 2009 г. действует полностью замкнутый (бессточный) оборотный цикл водоснабжения.

3.5.4 Отходы и побочные продукты

- Основной перечень отходов производства и побочных продуктов, образующихся при выплавке, обработке и разливке стали, представлен ниже (а также в таблице 3.38), кг/т жидкой стали:

- конвертерный шлак – 85…165;

- шлак от десульфурации – 3…21 (данный шлак частично используется при строительстве полигонов или просто размещается на полигонах промышленных отходов);

- мелкая и грубая пыль – 0,75…24;

- шлак от внепечной обработки – 9…15 (возможно применение в производственном рециклинге);

- брызги металла – 2,8…15;

- шлак при непрерывной разливке – 4…5;

- окалина при непрерывной разливке на МНЛЗ или в изложницы – 2,3…6,4.

Таблица 3.38 – Объем образования отходов и побочных продуктов в конвертерном производстве, кг/т продукции (по данным анкетирования)

Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции			Обращение с отходами
	По данным ИТС 26-2017	По данным анкетирования в 2021 г.		
		ПНООЛР	Форма № 2-ТП (отходы)	
Шлак конвертерного производства	114,6–191,8	123,9–223,1	138,9–173,9	Рециклинг в сталеплавильном производстве; использование при ликвидации горных выработок; использование для дорожного строительства
Окалина при непрерывном литье заготовок	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Рециклинг – вторичное использование в качестве металлошихты
Скрап чугунный незагрязненный	Нет данных	Нет данных	Нет данных	
Скрап стальной незагрязненный	11–34	31,4	5,1	
Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные	9,58–24,1	12,9–18,2	12,3–12,7	
Отходы (осадки) механической очистки (осветления) воды систем мокрой газоочистки производства стали с преимущественным содержанием оксидов железа	11,72–22,29	17,8–18,6	7,3–17,3	Реализация в качестве побочной продукции
Отходы (осадки) механической очистки (осветления) воды систем мокрой газоочистки производств стали с преимущественным содержанием оксидов кальция и алюминия	0,56–17,82	Нет данных	Нет данных	Рециклинг – утилизация в процессе агломерации; переработка для собственных нужд; реализация сторонним организациям

Окончание таблицы 3.38

Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции			Обращение с отходами
	По данным ИТС 26-2017	По данным анкетирования в 2021 г.		
		ПНООЛР	Форма № 2-ТП (отходы)	
Лом футеровок печей и печного оборудования производства чёрных металлов	2,95–17,06	6,3–6,7	0,05–3,12	Рециклинг – утилизация в огнеупорном производстве; использование при ликвидации горных выработок
Пыль газоочистки неорганизованных выбросов конвертерного производства	0,27–5,65	1–5,6	0,8–1,03	Рециклинг – утилизация в процессе агломерации; переработка для собственных нужд; реализация сторонним организациям; размещение
Пыль газоочисток при десульфурации чугуна	0,2	Нет данных	Нет данных	Переработка для собственных нужд или реализация
Пыль миксерного отделения (пыль чугунная)	0,002–0,13	Нет данных	Нет данных	Переработка для собственных нужд или реализация
Отходы известняка, доломита и мела в кусковой форме практически неопасные	1,9–311	6,6	5,9	Утилизация в процессе агломерации

Переработка конвертерных шлаков является обязательным элементом обращения с отходами, так как позволяет исключить образование отвалов и связанное с этим отчуждение сельскохозяйственных угодий, устранить неизбежное в условиях шлаковых отвалов образование пыли, загрязнение водного и воздушного бассейнов.

Основными путями утилизации конвертерных шлаков является извлечение из них металла, фракционирование, использование в производственном рециклинге (для интегрированных предприятий – в агломерационном и доменном производствах), в глобальном рециклинге (для дорожного строительства, промышленного и гражданского строительства, для производства цемента), в качестве материалов для рекультивации [125].

Ввиду востребованности шлаковой продукции конвертерные шлаки имеют статус побочной продукции, а не отхода.

На ПАО «Северсталь», ПАО «НЛМК» конвертерный шлак после дробления и сортировки используют непосредственно в доменной печи (фракция крупнее 10 мм) и аглошихте (фракция 0–10 мм) [126]. Кроме того, смесь сталеплавильных шлаков,

полученную после дробления и магнитной сепарации, применяют в виде сталеплавильного скрапа с повышенным содержанием железа, в том числе металлического, также в доменной и агломерационной шихте.

Конвертерные шлаки перерабатываются на многих металлургических предприятиях, в том числе на ПАО «НЛМК», ПАО «Северсталь», в АО «Евраз НТМК», в ПАО «ММК», с получением строительных материалов (щебня, шлаковой муки, фосфат-шлака) и извлечением значительного количества металла [125].

Пыль и шламы, собранные после систем первичного и вторичного обеспыливания в конвертерном производстве, могут содержать примеси тяжелых металлов, в особенности цинка, источником которого является главным образом лом, загружаемый в конвертер.

Для выполнения требований по производственному рециклингу пыли следует использовать лом с низким содержанием цинка. Для вовлечения в хозяйственный оборот цинксодержащей пыли необходима разработка технологий переработки таких отходов с извлечением прежде всего цинка.

3.5.5 Вторичные энергетические ресурсы

Конвертерный газ сталеплавильного производства является вторичным энергетическим ресурсом. Его усредненный состав при плавке с верхней и нижней продувкой может быть охарактеризован следующим образом, %: 67–79 CO, 13–16 CO_2, 5–14 N_2, 0–3 H_2, 0–3 H_2O. Температуре на выходе из конвертера равна 1400–1600 °C. Теплота сгорания газа составляет 8,4–9,2 МДж/м^3. Выход конвертерного газа оценивается в 60–80 м^3/т стали.

Для утилизации энергии конвертерных газов возможно применение трех систем:

- с полным дожиганием и утилизацией тепловой энергии;
- частичным дожиганием и утилизацией тепловой энергии;
- без дожигания газа и использованием его как топлива в энергетическом балансе предприятия.

В системе полного дожигания технологический газ после выхода из конвертера сжигается в газоотводящем тракте. Энергия утилизируется путем использования физического тепла этого газа в котле-утилизаторе. Серийные котлы-утилизаторы охладители конвертерных газов) имеют производительность по пару 160–210 т/ч при его пиковом давлении до 5 МПа. Системы полного дожигания характеризуются большим удельным выходом газов (500–1000 нм^3/т жидкой стали и более) по сравнению с системами без дожигания (50–100 нм^3/т жидкой стали).

В системе с частичным дожиганием часть отходящего конвертерного газа дожигается в газоотводящем тракте перед котлом-утилизатором (при коэффициенте расхода воздуха α = 0,3–0,6), далее газ выводится на «свечу», где осуществляется его полное дожигание и отведение в атмосферу.

В системе без дожигания CO перед котлом-утилизатором утилизируется физическое тепло отходящих газов с последующим полным сжиганием на «свече» (отраслевая практика) или отведением в газгольдер и применением в качестве топлива (европейский опыт).

В любом из рассмотренных вариантов очистка газов производится после их использования в котле-утилизаторе.

Охлажденный в охладителях конвертерных газов и очищенный конвертерный газ может улавливаться (направляться в газгольдер). В этом случае, в соответствии с зарубежной практикой газ поступает в струйные охладители и полые скрубберы, затем в трубы Вентури и далее в центробежные скрубберы (мокрые циклоны), после которых попадает в газгольдер.

На российских заводах в настоящий момент конвертерный газ не улавливается.

3.6 Производство стали в электродуговых печах

Блок-схема материальных потоков выплавки стали в электродуговых печах дана на рисунке 3.17, а количественная характеристика материальных потоков в таблице 3.39.

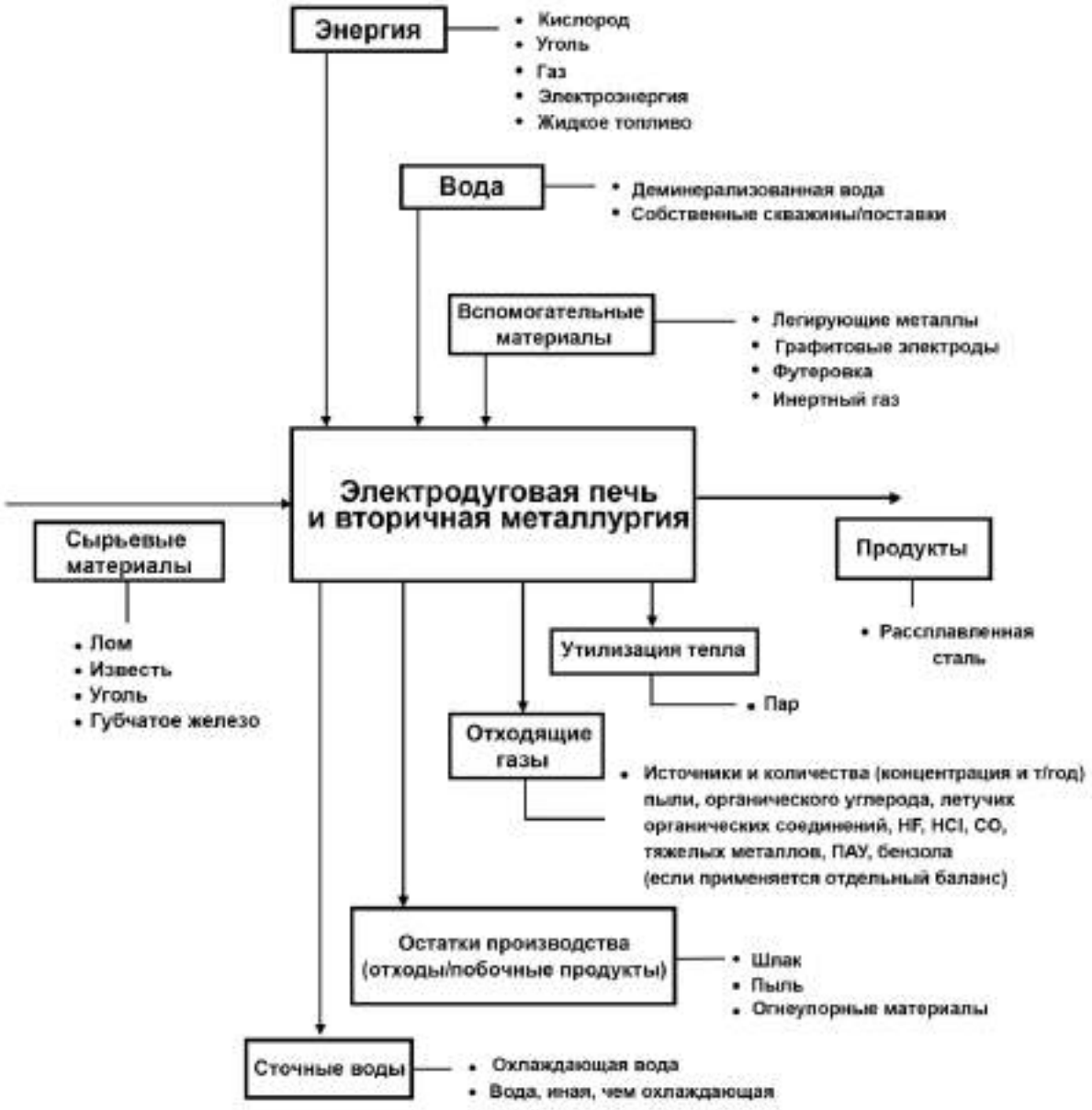


Рисунок 3.17 – Блок-схема материальных потоков в электродуговых печах [103]

Таблица 3.39 – Данные по материальным потокам для электродуговых печей в странах ЕС [103]

Вход			Выход		
Сырьевые материалы			**Продукты**		
Лом	кг/т жидкой стали	1039–1232	Жидкая сталь	кг	1000,0
Чугун в чушках		0–153			
Чугун жидкий[1)]			**Выбросы в воздух**		
Железо прямого восстановления DRI		0–215	Отходящие газы	Млн $нм^3$/ч	1–2
Известь / доломит[2)]		25–140	CO	г/т жидкой стали	50–4500
Уголь (включая антрацит и уголь)		3–28	SO_2		13–460
Графитовые электроды		2–6	NO_x		13–460
Огнеупорная футеровка		4–60	Пыль		4–300
Лигатура Углеродистая сталь Высоколегированная и нержавеющая сталь		11–40 23–363			
			HCl	мг/т жидкой стали	5800–35 250
			Zn		200–24 000
			Pb		75–2850
			Cr		12–2800
			Cu		11–510
Газы			Ni		3–200
Кислород	$м^3$/т жидкой стали	5–65	Hg		2–200
Аргон		0,3–1,45	Cd		1–148
Азот		0,8–12	HF		0,04–15 000
Пар[3)]	кг/т жидкой стали	33–360	TOC		35–260
Энергия			Бензол		30–4400
Электроэнергия	кВт·ч/т жидкой стали	404–748	Хлорбензолы		0,2–12
	МДж/т жидкой стали	1454–2693	ПАУ		9–970
Топливо (природный газ и жидкие топлива)	МДж/т жидкой стали	50–1500	ПХБ		0,01–5
Вода	$м^3$/т жидкой стали	1–42,8	ПХДД/Ф	мкг I-TEQ/т жидкой стали	0,04–6

Окончание таблицы 3.39

Вход	Выход		
	Выход		
	Остатки производства (отходы/побочная продукция)		
	Шлак от печи	кг/т жидкой стали	60–270
	Шлак от ковша		10–80
	Пыль		16–22,8
	Отходы огнеупоров		
	Шум	дБ(А)	90–133
[1)] Жидкий чугун используется только в специальных случаях (275 кг/т жидкой стали) при низком качестве лома. [2)] Обычно используется известь. [3)] Пар обычно не используется при выплавке стали в электродуговых печах. За исключением установок вторичной металлургии с вакуумной обработкой.			

3.6.1 Потребление ресурсов

При производстве стали в электродуговых печах основными источниками энергии являются электроэнергия и природный газ. Общее потребление энергии на входе для данного технологического процесса составляет 2300–2700 МДж/т стали, из которых 1250–1800 МДж/т приходится на электроэнергию. Затраты кислорода составляют 24–56 м^3/т стали [103].

За последние 40 лет использование физического тепла отходящих газов электродуговой печи достигло 140 кВт ч/т жидкой стали, в основном расходуемого на нагрев лома (приблизительно до 800°C), что снижает потребление энергии на 100 кВт ч/т жидкой стали. Таблица 3.40 иллюстрирует потребление ресурсов, а таблица 3.41 – сырья, в отрасли при производстве стали в электродуговых печах.

Таблица 3.40 – Удельное потребление ресурсов в отрасли при производстве стали в электродуговых печах (по данным анкетирования)

Потребление электроэнергии, кВт·ч/т	Топливо – природный газ, м^3/т	Технологические газы (кислород), м^3/т	Потребление воды, м^3/т	
			техническая вода на технологические нужды (в т.ч. оборотных циклов)	«свежая» вода
По данным анкетирования в 2017 г.				
312–590	10–52	32–71	61–210	0,06–7,3
По данным анкетирования в 2021 г.				
378–1102	5,2–32,6	8,5–76,1	1,0–68,5	0,04–7,0

Расход технической воды на процесс (в том числе оборотных циклов) находится в диапазоне от 1 до 68,5 м^3/т продукции, однако основная часть этой воды почти полностью находится в замкнутом водооборотном цикле, который составляет 98,8–100 %.

Таблица 3.41 – Удельное расход сырья (кг/т) при производстве стали в электродуговых печах в отрасли (по данным анкетирования)

Сырьевые материалы	Расход	
	По данным анкетирования в 2017 г.	По данным анкетирования в 2021 г.
Лом	559–1126	102–1086
Чугун	3,7–542	13,2–836,7
Скрап	16,3–59,5	2,0–279,1
Ферросплавы	10,8–21,4	9,5–69,3
ГБЖ	15,8–19	0,01–114,7
Окатыши	16,8	0,5–858,0
Коксовая мелочь	12–19,3	1,8–15,7
Кокс	0,3–2,9	0,1–11,5
Известь	54,4–61,2	25,0–71,2
Известняк / доломит	0,3–51,8	0,6–11,8
Стружка	17	1,0–75,5
Легирующие	7,6	0,8–1,2
Окалина	6,8	0,1–12,0
ВСЕГО	1102–1274	1186–1369

3.6.2 Выбросы в атмосферу

Источниками выбросов в электросталеплавильном производстве являются собственно электродуговая печь, машины непрерывного литья заготовок, а также дополнительные агрегаты, предназначенные для обеспечения процесса плавки (стенды сушки и разогрева стальковшей и промежуточных ковшей, печи-ковши, установки вакуумирования стали).

Отходящие газы электродуговой печи квалифицируются как первичные выбросы и составляют ~ 95 % общих выбросов процесса. Первичные выбросы отбираются из четвертого отверстия с патрубком для газоотсоса (в случае трех электродов – печи на переменном токе) или из второго отверстия с патрубком для газоотсоса (в случае одного электрода – печи на постоянном токе). Существуют также электродуговые печи без четвертого отверстия, которые снабжены шумопылезащитным кожухом с полным закрытием печи и с отводом газа из-под кожуха.

Отходящие газы, которые образуются при разделке лома, загрузке шихты и выпуске плавки, а также при выбросах из печных отверстий, улавливаются с помощью вытяжного зонта, обычно размещаемого выше печи (или в районе крыши) и идентифицируются как вторичные выбросы. В зависимости от размеров здания и мощности печи расход газов в системе аспирации может превышать 1 млн $м^3$/ч.

Применяют следующие конфигурации для улавливания:

- электродуговые печи с улавливанием первичных отходящих газов от печи (2 и 4 отверстия) и вытяжной зонт для улавливания вторичных отходящих газов, установленный в здании с открытой секцией крыши;

- электродуговые печи с улавливанием первичных отходящих газов от печи (2 и 4 отверстия) и шумо- и пылезащитным кожухом, улавливающим весь дым из печи, с отводом в одну систему вытяжки, установленную в здании с открытыми секциями крыши;

- электродуговые печи с улавливанием первичных отходящих газов от печи (2 и 4 отверстия), установленные в здании с полностью закрытой крышей, со сбором потока вторичных отходящих газов;

- в некоторых случаях улавливание происходит только из одного отверстия (2 или 4).

Удельные выбросы процессах загрузки печи, выпуска стали из печи (с учетом неорганизованных утечек) варьируют от 1,4 до 3,5 кг пыли/т жидкой стали перед очисткой.

Выход газов из электросталеплавильной печи и состав газовой фазы зависит от состава шихты, скорости плавления, технологического и температурного режима плавки, режима кислородной продувки и т. п. В процессе плавки стали в электропечах, особенно при вдувании кислорода, температура металла повышается до 3000 °С, происходят различные химические реакции, сопровождающиеся образованием газа. Этот газ содержит продукты выгорания электродов, испарения железа, кремния и других веществ, содержащихся в металле. Из электропечи газы выделяются во время загрузки шихты, в процессе плавки и слива стали в ковш. Газ, выделяющийся из печи, имеет примерный состав: 15–25 % CO; 5–11 % CO_2; 0,5–3,5 % H_2; 3,5–10 % O_2; 61–72 % N_2.

Температура газа на выходе из печи составляет 1800–2000 °С. Газ взрывоопасен из-за наличия в нем CO, поэтому перед очисткой CO дожигается в специальном устройстве.

Концентрация пыли в газе может изменяться в широких пределах: от 2 до 10 г/м^3 без продувки кислородом и при продувке – от 14 до 100 г/м^3, причем запыленность газов зависит от объема подсоса в зоне дожигания. Средний удельный выход пыли составляет 6–9 кг/т стали [127]. Основная масса пыли (~42 %) – мелкодисперсная (<10 мкм) и образуется в результате испарения металла в зоне действия электрических дуг и кислородной продувки и последующей конденсации в печном пространстве и газоходах. Шлакообразующие добавки дают более крупные фракции. Состав пыли представлен оксидами железа (до 80 %), кремния, алюминия, марганца, кальция, а также содержит тяжелые металлы (свинец, цинк, медь, хром, никель, мышьяк, кадмий и ртуть). Вынос ферромагнитной пыли из печи составляет 2,5–10 кг/т стали.

Обычно удельные значения выбросов (концентраций) включают и вторичные выбросы, поскольку первичные и вторичные выбросы часто объединяются в общую газоотводящую систему (см. таблицу 3.42).

В небольших количествах в газах находятся следующие загрязняющие вещества, мг/м^3 (г/т): оксиды азота – 550 (270); оксиды серы – 5 (1,6); цианиды – 60 (28,4); фториды – 1,2 (0,56) [123, 127].

Таблица 3.42 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при производстве стали в электродуговых печах, г/т [103]

Наименование ЗВ	Технологический этап / источник выброса	Масса ЗВ в отходящих газах после очистки	
		Диапазон	Среднее
NO_2	Подготовка стальковшей	0,1–10,7	3,6
NO		0,1–1,74	0,7
CO		0,4–18,1	7,7
SO_2		0,14–1,24	0,7
NO_2	Печь-ковш Очистка мокрая: труба Вентури, каплеуловитель. Очистка сухая: фильтр рукавный	6–9,8	7,9
NO		1–3,48	2,2
CO			0,017
Пыль неорганич.		0,105–4	1,9
MgO		1–2	1,5
Mn и его соед.		0,1–1,43	0,8
NO_2	Дуговая электросталеплавильная печь (ДСП). Очистка сухая: фильтр рукавный	8,5–552,9	281
NO		2,5–257,4	
CO		270–4499	2910
SO_2		4–335	41
Пыль неорганич. суммарно		140–749,4	500
MgO		1,5–7,6	4,4
Mn и его соед.		1–17	6,4
Fe_2O_3		9–230	85,7
	Разливка стали (МНЛЗ). Очистка сухая: фильтр рукавный		
CO		0,36–3,8	2,1
Пыль неорганич			5,9
Mn и его соед.			0,09
NO_2	Установка внепечной обработки стали (УВОС). Очистка сухая: фильтр рукавный	67,9–80	73,9
NO			11
CO		30–52,8	41,4
Пыль неорганич. суммарно		3,9–91	53
MgO			3,8
Mn и его соед.			2,1
Fe_2O_3			23

В 2021 г. в результате анкетирования предприятий, осуществляющих производство стали в электродуговых печах, были собраны данные по выбросам загрязняющих (маркерных) веществ в атмосферный воздух. Удельные величины выбросов приведены на основании данных форм федерального статистического наблюдения № 2-ТП (воздух), а также на основании данных инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (таблица 3.43.).

Таблица 3.43 – Удельные выбросы загрязняющих (маркерных) веществ при производстве стали в электродуговых печах (по результатам анкетирования в 2021 г.)

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвентаризация выбросов ЗВ
Подготовка шихтовых материалов, подготовка печи, за-валка шихты, залив чугуна (если применимо), плавка, обезуглероживание, выпуск, раскисление, легирование, внепечная обработка, разливка стали на МНЛЗ, подготовка сталеразливочных ковшей, обработка электросталеплавильного шлака и пы-ли, очистка отходящего газа сталеплавильных печей, установки водоочистки	Азота диоксид	кг/т стали	0,05–8,0	0,03–0,77
	Азота оксид	кг/т стали	0,01–0,47	0,004–0,35
	Углерода оксид	кг/т стали	0,2–71,6	0,2–6,5
	Серы диоксид	кг/т стали	0,003–0,26	0,01–0,98
	Взвешенные вещества*	кг/т стали	0,14–6,26	0,14–2,0
* К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов».				

В электросталеплавильном производстве из-за периодического режима плавки имеют место так называемые технологические выбросы, достаточно сложно эвакуируемые. Для улавливания таких выбросов применяются следующие системы:

- устройство фонарей и вытяжных шахт в крыше цеха, через которые попавший в цех газ удаляется естественным путем;

- установка над электропечью зонта или колпака, полностью перекрывающего свод печи (вместо зонта иногда делают колпаки, укрепленные на каркасе печи, непосредственно у мест пыле- и газовыделений);

- секционный отсос, представляющий собой укрытие из нескольких секций, присоединенных к вытяжному газоходу;

- отвод газа непосредственно из-под свода печи, в котором делают специальное отверстие, через которое при помощи водоохлаждаемого патрубка, соединенного с газоотводящим трактом, отсасывают газ;

- отвод газа из-под свода печи через патрубок с разрывом газового потока;

- полное укрытие печи, позволяющее улавливать газы, выделяющиеся при загрузке, плавке и сливе металла.

Очистку отходящих газов электропечей от пыли осуществляют мокрым способом в трубах Вентури и сухим способом в электрофильтрах или рукавных фильтрах, сравнительная эффективность которых показана в таблице 3.44. В настоящее время для очистки газов от пыли все чаще используют рукавные фильтры с применением

термостойких фильтровальных тканей из синтетических волокон (выдерживают температуру до 250 °С).

Таблица 3.44 – Эффективность очистки выбросов электродуговой печи полного цикла [103]

Технология очистки выбросов	КПД*, %
Рукавный фильтр	95
Электрофильтр	>95
Кожух, зонт и тканевый фильтр	>99,5
Волокнистый фильтр и дожигание	>95

На ПАО «ММК» выбросы дуговых сталеплавильных печей № 1 и № 2 направляются на газоочистку, оснащенную рукавными фильтрами производительностью 1,3 млн м^3/ч, от начальной концентрации пыли 2–5 г/м3 до остаточной концентрации 0,010 г/м^3 [124].

3.6.3 Сточные воды

Сточные воды газоочистки электросталеплавильных цехов (в случае применения мокрых систем газоочистки) загрязняются мельчайшими взвесями, включающими оксиды железа, алюминия, марганца, магния, никеля, кремния, кальция, хрома и др. Следует отметить, что пыль, выносимая из печи,склонна к слипанию, плохо смачивается водой. Примерно 70 % частиц, содержащихся в сточных водах, характеризуется крупностью < 10 мкм, поэтому взвесь сточных вод электросталеплавильных цехов очень трудно осаждается.

Сточные воды от установок охлаждения и гидравлической чистки изложниц, охлаждения оборудования МНЛЗ, загрязненные шлаком, окалиной, известью, осветляются в яме окалины, затем – в радиальных или горизонтальных отстойниках. Доочистка воды осуществляется на скорых или напорных песчаных фильтрах, после чего очищенная вода вновь поступает в систему оборотного водоснабжения.

При очистке сточных вод после промывки фильтров, после центрифуги, чаще всего в сточные воды добавляют коагулянт (сульфат алюминия, сульфат железа) и флокулянт (полиакриламид). Для осветления сточных вод применяют аппараты-осветлители. Для первичного обезвоживания шлама, образующегося при осветлении и очистке сточных вод, применяют отстойники-сгустители. Для конечного обезвоживания шлама используются фильтр-прессы, центрифуги и сушильные барабаны.

3.6.4 Отходы и побочные продукты

Данные по удельному образованию отходов и побочных продуктов при производстве стали в электродуговых печах металлургической отрасли в РФ даны в таблице 3.45.

Производственные остатки (отходы и побочная продукция) включают электросталеплавильный шлак, шлак внепечной обработки, пыль систем газоочисток, отходы огнеупорных материалов от ремонта печей и печного оборудования и являются

в основном малоопасными и практически неопасными отходами (IV и V классов опасности).

Таблица 3.45 – Обращение с отходами и побочными продуктами электросталеплавильного производства (по данным анкетирования)

Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции				Обращение с отходами
	По данным анкетирования в 2017 г.		По данным анкетирования в 2021 г.		
	среднее	диапазон	ПНООЛР	Форма № 2-ТП (отходы)	
Шлак электростале плавильный	197,7	127–282	79–201	123–192	Рециклинг – в сталеплавильном производстве; переработка в шлаковый щебень; использование для ликвидации горных выработок; использование в производстве цемента; использование в качестве инертного материала на полигоне
Скрап стальной незагрязненный	49,5	43–56	34	Нет данных	Рециклинг – в сталеплавильном производстве
Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные	28,8	0,88–82,6	1,7–183,0	0,6–54,6	Рециклинг – в сталеплавильном производстве
Отходы известняка, доломита и мела в кусковой форме практически неопасные	21,6	0,116–43	Нет данных	Нет данных	Использование сторонними организациями при производстве строительных материалов
Пыль газоочистки черных металлов незагрязненная	15,8	12,9–18,8	0,9–18,2	0,3–13,4	Размещение на полигоне (90 %); использование при создании инертного слоя при рекультивации полигонов

Окончание таблицы 3.45

Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции				Обращение с отходами
	По данным анкетирования в 2017 г.		По данным анкетирования в 2021 г.		
	среднее	диапазон	ПНООЛР	Форма № 2-ТП (отходы)	
Пыль аспирации электро сталеплавильного производства	14,7	0,12–41	2,1–55,0	0,025–16,7	Рециклинг – переработка в окатыши железосодержащие; рециклинг – в качестве железосодержащей добавки при производстве агломерата; использование для ликвидации горных выработок; размещение на ОРО; передача сторонним организациям
Окалина при непрерывном литье заготовок	6,6	0,02–18,7	3,0	3,6	Рециклинг – в агломерационном и/или сталеплавильном производстве; передача сторонним организациям
Электроды графитовые отработанные не загрязненные опасными веществами	0,2	0,03–0,92	0,02–0,8	0,004–0,8	Рециклинг – в качестве добавочного материала; повторное использование после восстановления резьбы; передача сторонним организациям

3.7 Производство стали в мартеновских печах

Процессы плавки в современных мартеновских печах схожи с процессами плавки в электродуговой печи, поскольку не используют в шихте жидкий чугун; но отличаются от них тем, что нагрев и расплавление материалов осуществляется за счет тепла, подводимого сжиганием природного газа или мазута, а не электроэнергией. По этой причине в отношении материальных потоков и источников эмиссий в окружающую среду при производстве стали в мартеновских печах можно оринтироваться по рисунку 3.17.

3.7.1 Потребление ресурсов

Удельное потребление ресурсов при производстве стали в мартеновских печах (в том числе сталеплавильных политопливных агрегатах) по данным анкетирования в 2021 г. приведено в таблицах 3.46 и 3.47.

Таблица 3.46 – Удельное потребление ресурсов при производстве стали в мартеновских печах (сталеплавильных политопливных агрегатах)

Потребление электроэнергии, кВт·ч/т	Потребление природного газа, м^3/т	Потребление мазута, т/т	Потребление тепловой энергии, Гкал/т	Потребление воды, м^3/т	
				техническая вода на технологические нужды (в том числе оборотных циклов)	«свежая» вода
146,0	146,7	0,056	0,06	53,7	11,0
Нет данных	900	0,45	Нет данных	Нет данных	Нет данных

Таблица 3.47 – Удельный расход сырья (кг/т) при производстве стали в сталеплавильных политопливных агрегатах

Сырьевые материалы	Расход по данным анкетирования в 2021 г.
Лом	681,9*/684,9** *** 547/671,22
Чугун	250,3*/245,1** 410/7
Ферросплавы	18,4*/34,0** 18,21/13,4
Коксовая мелочь	18,7*/19,0** 5/-
Известь	15,8*/16,6** -
Известняк	56,1*/56,8** 97,66/18
Доломит	25,9*/26,4** 37,37/-
Скрап	0 /426,53
Стружка	221,8*/222,5** 99,5/-
* Нелегированная сталь. ** Легированная сталь. *** Числитель – сталь марки 20 ГЛ, знаменатель – марки 20.	

3.7.2 Выбросы в атмосферу

В 2021 г. в результате анкетирования предприятий, осуществляющих производство стали в мартеновских печах (сталеплавильных политопливных агрегатах), были собраны данные по выбросам загрязняющих (маркерных) веществ в атмосферный воздух. Удельные величины выбросов приведены на основании данных форм федерального статистического наблюдения № 2-ТП (воздух), а также на основании данных инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (таблица 3.48).

Таблица 3.48 – Удельные выбросы загрязняющих (маркерных) веществ при производстве стали в мартеновских печах (сталеплавильных политопливных агрегатах)

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвентаризация выбросов ЗВ
Выбросы при производстве нелегированной стали в сталеплавильных политопливных агрегатах (подготовка твердой металлической шихты и шлакообразующих материалов, подготовка ферросплавов, подготовка печи, завалка шихты, плавка, нагрев расплава, выпуск в сталеразливочный ковш, присадка раскислителей и других добавок, внепечная обработка расплава, подготовка сталеразливочных и промежуточных ковшей, разливка стали на МНЛЗ, обработка непрерывнолитых заготовок, переработка и утилизация шлаков, пыли сталеплавильного производства, установки водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	0,56; 2,6687	0,53; 3,4579
	Азота оксид	кг/т	0,41; 0,4337	0,38; 0,5619
	Углерода оксид	кг/т	2,92; 5,2145	2,74; 10,4977
	Серы диоксид	кг/т	4,15; 0,0653	3,29; 1,4895
	Взвешенные вещества*	кг/т	2,72; 1,9927	2,28; 7,9690

Окончание таблицы 3.48

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвентаризация выбросов ЗВ
Выбросы при производстве легированной стали в сталеплавильных политопливных агрегатах (подготовка твердой металлической шихты и шлакообразующих материалов, подготовка ферросплавов, подготовка печи, завалка шихты, плавка, нагрев расплава, выпуск в сталеразливочный ковш, присадка раскислителей и других добавок, внепечная обработка расплава, подготовка сталеразливочных и промежуточных ковшей, разливка стали на МНЛЗ, обработка непрерывнолитых заготовок, переработка и утилизация шлаков, пыли сталеплавильного производства, установки водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	2,6705	3,4632
	Азота оксид	кг/т	0,4340	0,5628
	Углерода оксид	кг/т	5,2180	10,5137
	Серы диоксид	кг/т	0,0653	1,4918
	Взвешенные вещества*	кг/т	1,9940	7,9812
* К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов».				

Величина выбросов зависит от садки печи, при этом, уменьшаясь с увеличением садки печи (таблица 3.49).

Таблица 3.49 – Отраслевые значения эмиссий для выплавки стали в мартеновской печи [128], кг/т стали

Наименование технологического процесса	Удельные выбросы, кг/т стали			
	Твердые вещества	SO_2	NOx	CO
Мартеновские печи (в среднем)	0,6–1,7	0,2	0,7–30	4,33–6,95
Мартеновские печи садкой:				
100 т	1,3–1,7	0,12–1,0	1,87–30	
300 т	0,8–0,98	0,11–0,345	1,7–25,6	
Двухванная сталеплав. печь 2 х 300	0,1–0,45	0,01–0,04	0,031–16,5	
Нерганизованные выбросы (суммарно за плавку)	1,4–2,3		0,36	1,0–6,89

К основным видам воздействия на атмосферу при производстве стали в мартеновских печах можно отнести пылевые эмиссии и оксид углерода, в некоторых случаях диоксид серы.

Механизм пылеобразования в мартеновском производстве зависит от вида применяемого топлива, интенсивности его горения и химизма процесса. Основными источниками образования выбросов в мартеновской печи служат топливо, газовыделения при нагревании и разложении шихтовых материалов, выделяющиеся при окислении оксиды углерода.

Химический состав пыли зависит от качества шихты, марки выплавляемой стали, способа ведения процесса плавки, вида топлива и продолжительности плавки. Пыль в основном представлена оксидами железа (FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3) и имеет весьма дисперсный состав: более 90 % фракции менее 5 мкм.

За счет подсосов объем газовоздушного потока, поступающий на газоочистку может увеличиться в 1, 8–2,0 раза.

Для очистки отходящих газов мартеновских печей используют преимущественно два способа: мокрую очистку в скрубберах Вентури или сухую очистку в электрофильтрах.

3.7.3 Сточные воды

В отдельных случаях организованы локальные циклы водопользования для систем контактного охлаждения с очисткой воды методом отстаивания.

3.7.4 Отходы и побочные продукты

В 2021 г. в результате анкетирования предприятий, осуществляющих производство стали в мартеновских печах (сталеплавильных политопливных агрегатах), были собраны данные по объему образования отходов и побочных продуктов. Удельные величины приведены на основании данных форм федерального статистического наблюдения № 2-ТП (отходы), а также на основании данных проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (таблица 3.50).

Таблица 3.50 – Удельные величины объемов образования отходов и побочных продуктов при производстве стали в мартеновских печах (в том числе в политопливных сталеплавильных агрегатах)

Наименование отходов	Объем образования, кг/т		Обращение с отходами
	По данным ПНООЛР	По данным формы № 2-ТП (отходы)	
Пыль газоочистки черных металлов незагрязненная	22,15	Нет д.; 0,79	Размещение
Лом шамотного кирпича незагрязненный	2,65	28,1; 1,15	Рециклинг
Лом и отходы стальные несортированные	147,64	Нет д. 136,75	Рециклинг
Лом и отходы чугунные несортированные	8,37	Нет д. 1,06	Рециклинг
Шлак сталеплавильный	Нет данных	325,6; 204,84	Побочная продукция, реализация

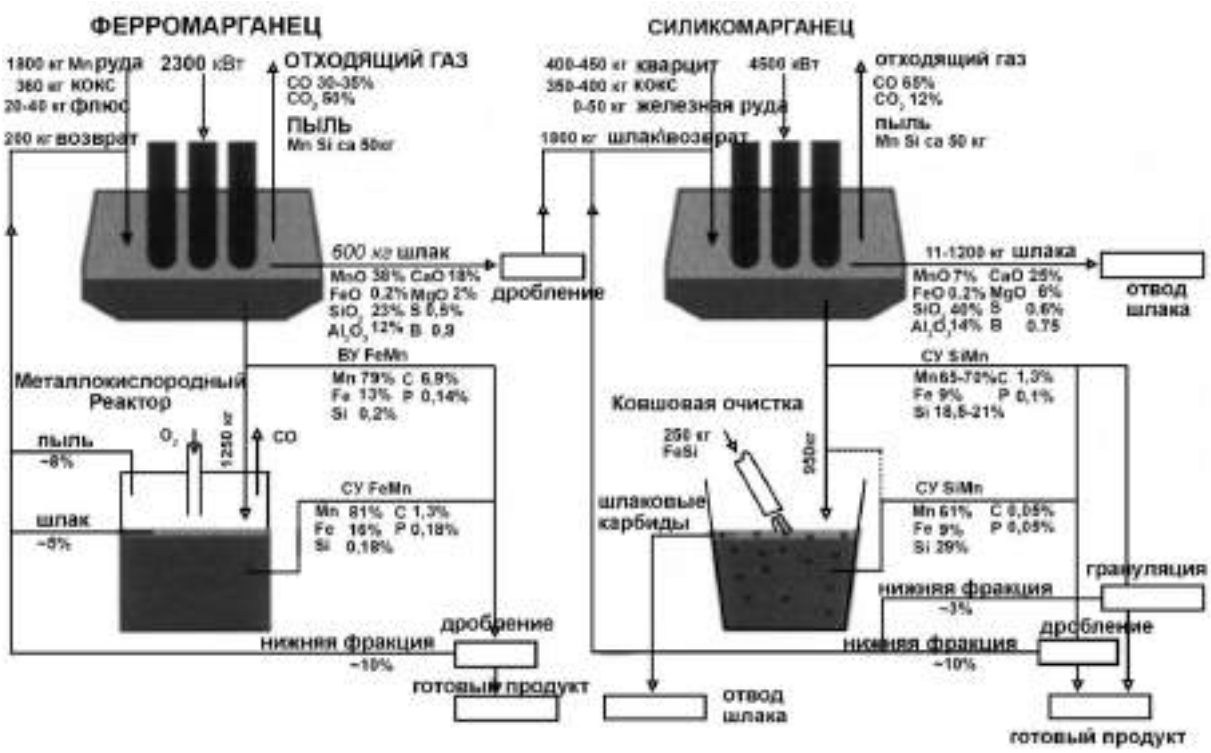
3.7.5. Вторичные энергетические ресурсы

Отходящие газы мартеновской плавки с температурой примерно 1750 °С через головки печи направляются в регенераторы и затем в котлы-утилизаторы. Температура газов после регенераторов составляет в среднем 600–800 °С. Тепло, накопленное регенераторами, используется для подогрева воздуха горения.

3.8 Производство ферросплавов

Предприятия по производству ферросплавов оказывают негативное воздействие на окружающую среду – выбросы, содержащие отходящие газы и пыль, загрязненные стоки и отходы в виде шлаков сложного состава.

Основные процессы при выплавке углетермическим процессом ферросплавов (ферромарганца FeMn и силикомарганца SiMn) представлены на рисунке 3.18.



НУ– низкоуглеродистый; СУ – среднеуглеродистый;
ВУ – высокоуглеродистый
Рисунок 3.18 – Схема производства FeMn и SiMn [129]

3.8.1 Потребление ресурсов

Потребление ресурсов при производстве ферросплавов по данным анкетирования представлено в приложении В.

3.8.2 Выбросы в атмосферу

Ферросплавные электропечи – источники пылегазовых выделений, количество и состав которых зависят от состава ферросплава, технологии выплавки ферросплавов и конструкции ферросплавных печей (см. таблицу 3.51).

Образующиеся колошниковые газы содержат 700–90 % оксида углерода и других газообразных оксидов (SO_2, NO_X), значительное количество мелкодисперсной пыли, в незначительных концентрациях возможно присутствие HF, полиароматических углеводородов (ПАУ), летучих органических соединениий (ЛОС) и тяжелых металлов [130]. Образование ПХДД/Ф в зоне горения и в зоне охлаждения газоочистки (вторичный синтез) вероятно для полуоткрытых печей. В производстве ферромолибдена в качестве флюса может применяться плавиковый шпат CaF_2, что может приводить к эмиссии фторидов в количестве 150–260 мг/нм^3

Таблица 3.51 – Выбросы в воздух при производстве ферросплавов, кг/т

Вещество	Ферросплав				
	Феррохром		Ферросилиций		Ферромолибден
	[130]	По данным анкетирования в 2017 г.	[130]	По данным анкетирования в 2017 г.	По данным анкетирования в 2017 г.
SO_2	0,2–3,0		0,5–9	1,326–4,26	64,96–86,5
CO	не изм.	0,93–1,068	14–24	2,16–9,78	93,7–135,6
NO_2	0,5–1,5*	1,4–1,763	6–7*	0,77–14,322	2,2–3,53
NO		0,23–0,286	.	0,125–6,552	0,3–0,5
ПХДД/Ф	<0,1 нг/нм3	н.д.	40 нг/т	н.д.	н.д.
ПАУ	не изм.	н.д.	0,0015	н.д.	н.д.
ЛОС	не изм.	н.д.	0,045	н.д.	н.д.
Пыль 20–70 % SiO_2		н.д.		н.д.	3,7–8,6
Пыль > 70 % SiO_2		н.д.		0,17–7,5	н.д.
Взвеш. вещества		0,954–1,031		н.д.	н.д.
Cr		0,039		н.д.	н.д.
н. д. – нет данных. * Сумма NO_x.					

В 2021 г. результате анкетирования предприятий, осуществляющих производство ферросплавов, были собраны данные по выбросам загрязняющих (маркерных) веществ в атмосферный воздух. Удельные величины выбросов приведены на основании данных форм федерального статистического наблюдения № 2-ТП (воздух), а также на основании данных инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (таблица 3.52.).

Таблица 3.52 – Удельные выбросы загрязняющих (маркерных) веществ при производстве ферросплавов (по результатам анкетирования в 2021 г.)

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвента-ризация выбросов ЗВ
Производство ферросилиция углетермическим методом в руднотермических печах				
Подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т ферросплава	5,1–6,5	5,2–12,5
	Азота оксид	кг/т ферросплава	0,6–3,0	1,3–5,7
	Углерода оксид	кг/т ферросплава	5,8–15,1	9,0–15,0
	Серы диоксид	кг/т ферросплава	2,4–7,7	3,9–5,3
	Взвешенные вещества*	кг/т ферросплава	3,8–4,9	5,0–7,4
Производство феррохрома углеродистого углетермическим методом в руднотермических печах				
Подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т ферросплава	3,1-3,16	2,96-3,1
	Азота оксид	кг/т ферросплава	0,505-0,51	0,505-0,75
	Углерода оксид	кг/т ферросплава	13,13-18,24	15,9-16,6
	Серы диоксид	кг/т ферросплава	0,046-0,25	0,082-0,30
	Взвешенные вещества[1]	кг/т ферросплава	2,43-3,09	2,73-3,04
Производство ферросиликомарганца углетермическим методом в руднотермических печах				
Подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь,	Азота диоксид	кг/т ферросплава	1,43	3,0
	Азота оксид	кг/т ферросплава	0,23	0,38
	Углерода оксид	кг/т ферросплава	5,71	7,15
	Серы диоксид	кг/т ферросплава	0,1	0,32

Продолжение таблицы 3.52

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвента-ризация выбросов ЗВ
восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Взвешенные вещества*	кг/т ферросплава	0,38	1,46
Производство ферромолибдена алюмотермическим методом				
Подготовка шихтовых материалов, подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т ферросплава	2,82	2,16
	Азота оксид	кг/т ферросплава	0	0,35
	Углерода оксид	кг/т ферросплава	56,6	96,0
	Серы диоксид	кг/т ферросплава	104,9	86,0
	Взвешенные вещества*	кг/т ферросплава	1,07	1,19
Производство феррованадия алюмотермическим методом электропечным способом				
Дозирование и перемешивание шихты (мелкая и хрупкая шихта (40 % <5 мм, 100 % <100 мм), засыпка в бадью, подача и периодическая досыпка шихты в печь, засыпка рафинировочной шихты, выплавка металла, охлаждение слитка металла, зачистка слитка, предварительное дробление, дробление до товарной фракции, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т ферросплава	8,8	10,7
	Азота оксид	кг/т ферросплава	1,5	1,7
	Углерода оксид (для алюмотермического процесса)	кг/т ферросплава	2,2	2,5
	Взвешенные вещества[1]	кг/т ферросплава	11,1	17,4
Производство феррованадия силикотермическим методом				
Подготовка шихтовых материалов, подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в рафинировочной печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т ферросплава	1,8	3,1
	Азота оксид	кг/т ферросплава	0,37	0,55
	Углерода оксид	кг/т ферросплава	5,8	7,2
	Взвешенные вещества*	кг/т ферросплава	245,7	28,0

Продолжение таблицы 3.52

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвента-ризация выбросов ЗВ
Производство оксидов ванадия из шлака дуплекс процесса				
Измельчение шлака, смешение молотого шлака с реакционной добавкой, помол шихты, окислительный обжиг шихты во вращающейся печи, охлаждение и измельчение обожженной шихты (огарка), выщелачивание огарка водой/сернокислотное выщелачивание, осаждение ванадия из раствора, прокаливание поливанадата аммония в восстановительной атмосфере с получением триоксида ванадия, а в окислительной атмосфере – пентоксида ванадия, фильтрация пульп, термогидролиз, выплавлние пентоксида ванадия в циклонных печах, плавление поливанадатов магния-марганца в подовой печи, охлаждение струи расплава на водоохлаждаемом вращающемся столе, переплавка порошкообразного пентоксида ванадия, очистка маточных растворов, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т оксида ванадия	2,44	2,45
	Азота оксид	кг/т оксида ванадия	0,47	0,49
	Углерода оксид	кг/т оксида ванадия	0,77	0,80
	Взвешенные вещества*	кг/т оксида ванадия	6,77	7,13
Производство ферротитана 20-процентного алюмотермическим методом электропечным способом в печи-горне				
Подготовка шихтовых материалов, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь-горн, проплавление оксидной части шихты под электрическими дугами, восстановительная внепечная плавка в печи-горне, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка попутных продуктов плавленых глиноземистых, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т ферросплава	1,01	1,02
	Азота оксид	кг/т ферросплава	0,003	0,002
	Углерода оксид	кг/т ферросплава	0,65	0,65
	Взвешенные вещества*	кг/т ферросплава	5,3	8,4

Продолжение таблицы 3.52

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвента-ризация выбросов ЗВ
Производство ферробора алюмотермическим методом электропечным способом в печи-горне				
Подготовка шихтовых материалов, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь-горн, проплавление железо- и бор-содержащей части шихты под электрическими дугами, рафинировочная внепечная плавка в печи-горне, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка попутных продуктов плавленых глиноземистых, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т ферросплава	1,3	1,3
	Углерода оксид	кг/т ферросплава	0,91	0,79
	Взвешенные вещества*	кг/т ферросплава	2,7	2,7
Производство феррохрома низкоуглеродистого алюмотермическим методом электропечным способом в печи-горне				
Подготовка шихтовых материалов, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь-горн, проплавление оксидной части шихты под электрическими дугами, восстановительная внепечная плавка в печи-горне, дробление, сортировка, упаковка феррохрома, обработка попутного продукта плавленного глиноземистого, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т ферросплава	0,84	0,85
	Азота оксид	кг/т ферросплава	0,019	0,017
	Углерода оксид	кг/т ферросплава	1,03	1,07
	Серы диоксид	кг/т ферросплава	0,091	0,094
	Взвешенные вещества*	кг/т ферросплава	7,0	10,4
Производство хрома алюмотермическим методом внепечным способом в горне				
Подготовка шихтовых материалов, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в горн, восстановительная плавка, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка попутного продукта плавленого глиноземистого от производства хрома, установки газоочистки	Азота диоксид	кг/т	0,04	0,04
	Углерода оксид	кг/т	0,10	0,11
	Взвешенные вещества*	кг/т	0,45	0,45

Окончание таблицы 3.52

Производственный подпроцесс	Наименование загрязняющего (маркерного) вещества	Единица измерения	Диапазон (величина)	
			Форма № 2-ТП (воздух)	Инвента-ризация выбросов ЗВ
Производство лигатуры никельниобиевой алюмотермическим методом электропечным способом в печи-горне				
Подготовка шихтовых материалов, подготовка восстановителя, подготовка металлодобавок и загрузка на подину печь-горна, проплавление металлической части шихты под электрическими дугами, подача и загрузка шихты, восстановительная внепечная плавка в печи-горне, дробление, сортировка, упаковка лигатуры, обработка попутного продукта плавленого глиноземистого, установки газо- и водоочистки	Азота диоксид	кг/т	0,65	0,66
	Углерода оксид	кг/т	0,40	0,40
	Взвешенные вещества*	кг/т	2,17	2,19
	Взвешенные вещества*	кг/т	6,64	6,64
* К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов».				

Источниками загрязнения воздуха являются также печи для сушки и обжига шихтовых материалов.

Пыль, выделяющаяся при производстве различных ферросплавов, состоит из SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3, FeO + Fe_2O_3, Cr_2O_3 и других компонентов, содержание которых зависит от типа сплава и состава шихты. Так, при получении ферросилиция основным компонентом пылей является диоксид кремния, силикокальция – оксиды кремния и кальция. Для марганцевых ферросплавов характерно наличие в пыли оксидов марганца, для хромистых ферросплавов – оксидов хрома.

Повышенное пылевыделение при производстве ферросплавов вызвано технологическими операциями с сыпучими шихтовыми компонентами. Так, при производстве феррованадия алюмотермическим методом электропечным способом, шихта готовится путем смешивания компонентов в необходимой пропорции. Фракция алюминия, которые используются для восстановления, 0–5 мм (40 %); 0–100 мм (100 %). После дозирования компонентов шихта усредняется путем интенсивного перемешивания, а затем высыпается в загрузочную бадью. Подача в печь осуществляется в 3 этапа, на каждом этапе шихта из бадьи через желоб засыпается в печь, при этом газоочистка постоянно функционирует для улавливания выделяющейся при засыпке пыли.

Загрязняющие вещества содержатся также в возгонах. Так, при производстве ферровольфрама, помимо основных пылевых выбросов оксидов кремния, кальция, марганца, железа и вольфрама, в возгонах содержатся свинец, висмут, медь, мышьяк, цинк, фосфор, сера, оксиды магния, алюминия [131].

В связи с тем, что в состав отходящих газов входит много различных химических соединений, очистка их связана с большими затратами. Стоимость системы очистки газов закрытой печи составляет 10 % от стоимости всей печной установки, для открытой печи стоимость возрастает до 90 % [123].

Газы, отходящие от открытых печей, улавливают с помощью зонта, расположенного над печью. При этом вместе с газами под зонт всасывается воздух и происходит сгорание составляющих газа при смешивании их с кислородом воздуха. Образуются большие объемы (до 400 тыс. $м^3$/ч) газовоздушной смеси с температурой до 500 °С и содержанием пыли 1–3 $г/м^3$. Очистку газов от открытых ферросплавных печей осуществляют в тканевых фильтрах, скоростных пылеуловителях с трубами Вентури и электрофильтрах. Конструкции пылегазоочистных сооружений для улавливания токсичных марганцевых пылей в составе отходящих газов открытых печей, производящих высокоуглеродистый ферромарганец и силикомарганец, обеспечивают сухую очистку газа с применением рукавных фильтров до уровня остаточной запыленности менее 10 $мг/м^3$ при содержании пыли перед рукавными фильтрами 1,15 $г/м^3$, (эффективность 99 %) [129].

Основным компонентом отходящих газов из закрытой печи является CO (70–90 %); бóльшее содержание CO соответствует выплавке кремнистых сплавов, меньшее – выплавке углеродистого феррохрома. Кроме того, в газе содержатся, %: 2–19 CO_2, 2–11 H_2, 0,3–5,0 CH_4, 0,1–4,0 N_2, 0,2–2,0 O_2. Горючую часть газа составляют CO, H_2 и CH_4, в небольшом количестве имеются SO_2, H_2S и другие компоненты, приводящие к коррозии газового тракта, аппаратов пыле- и газоочистки и шламового хозяйства. Температура неразбавленного газа может быть от 400 °С до 1150 °С [123]. Запыленность газа составляет 15–40 $г/м^3$, причем 98 % частиц пыли имеют размер < 10 мкм и 65–80 % – <5 мкм. Основная масса газа (до 85 %) выводится на очистку, в цех попадает небольшая его часть, которая удаляется через фонарь.

Для очистки отходящих газов закрытых печей применяются мокрые (скрубберы Вентури) и сухие способы (рукавные фильтры с использованием тканей повышенной термостойкости, которые обеспечивают конечную запыленность отводимого газа менее 10 $мг/м^3$. Электрофильтры применяют реже, так как удельное электрическое сопротивление сухой пыли составляет более 10^{11} Ом·см. Метод сухой очистки позволяет вернуть в производство пыль, уносимую газами из ферросплавных печей.

Однако сухой способ имеет ряд недостатков: низкую стойкость тканевых фильтров, высокие эксплуатационные и капитальные расходы. Для повышения эффективности очистки и снижения эксплуатационных затрат целесообразны слоевые зернистые фильтры, в которых запыленные газы проходят через слой шихтовых материалов, используемых при производстве данного сплава; применение новых высокотемпературных материалов (металлоткани, графитовые ткани и др.).

Преимущество мокрой газоочистки состоит в том, что колошниковый газ в контакте с водой сразу охлаждается, однако это требует создания локального оборотного цикла.

Газы, отходящие от закрытой ферросплавной печи, после очистки можно использовать как топливо и как сырье для химической промышленности. Газы, отходящие от открытых печей, выбрасываются в атмосферу с предварительным дожиганием до CO_2.

3.8.3 Сточные воды

Сточные воды ферросплавного производства образуются при очистке газов, разливке и грануляции ферросплавов, производстве углеродной массы. Стоки характеризуются наличием взвешенных частиц, обладают щелочной реакцией, содержат цианиды и роданиды (стоки от газоочистки электропечей при выплавке ферросплавов), в увеличенном количестве сухой остаток и фенолы (стоки цеха электродных масс), марганец, фтор (стоки флюсоплавильного производства), хром, мышьяк, ванадий, никель и др. [129]. Сточные воды загрязняются мельчайшими ферромагнитными взвесями. Примерно 70 % частиц, содержащихся в сточных водах газоочисток электропечей, характеризуется крупностью <10 мкм, поэтому такая взвесь очень трудно осаждается.

В ферросплавном производстве используется оборотное водоснабжение (85 % всей используемой воды находится в обороте): при этом в оборот включается и грязная вода от промывки газа, она используется после осветления в горизонтальных, радиальных отстойниках или в сгустителе. Гидравлическая нагрузка на 1 $м^2$ поверхности отстойника не превышает 0,6 $м^3$/ч, применение магнитной коагуляции способствует увеличению удельной нагрузки на 1–1,2 $м^3/(ч·м^2)$ [123]. Наряду с магнитным полем, вводят добавки флокулянтов (полиакриламид).

3.8.4 Отходы и побочные продукты

Количество и состав отходов и побочных продуктов, образующихся в процессе производства ферросплавов, зависят от используемого сырья, количественные характеристики приоритетных отходов даны в таблице 3.53.

Таблица 3.53 – Объемы образования отходов и побочных продуктов при производстве ферросплавов в РФ [129]

Вид сплава	Объем производства, тыс. т/г	Пыль		Шламы		Шлаки	
		Выход, кг/т	Масса. т/год	Выход, кг/т	Масса. т/год	Кратность	Масса, т/год
Кремниевые	566,4	120	67968	н.д.	н.д.	0,1	56640
Хромовые	354,0	50	17700	н.д	н.д.	0,9	318600
Марганцевые	188,8	10	1888	100	18880	1.2	226560
Всего:	1109,2		87556		18880	-	601800

Уловленная при сухой очистке газа, отходящего от ферросплавных печей, пыль содержит цветные металлы, входящие в состав компонентов шихты для производства ферросплавов (с высокой стоимостью ведущего компонента – феррованадия, ферромолибдена, феррониобия), поэтому пыли и шламы (после обезвоживания) подвергаются рециклингу.

Пыль кремнистых сплавов используют в производстве огнеупоров, стройматериалов, бетонов, для нанесения защитных покрытий на поверхность изложниц, в качестве теплоизолирующего материала и т. д.

Текущие шлаки производства ферросплавов после дробления и фракционирования применяют в дорожном строительстве.

Одним из направлений переработки вторичных минеральных ресурсов является производство синтетических продуктов плавленых и флюсов глиноземсодержащих в руднотермических печах с довосстановлением оксидов металлов из продуктов плавленых глиноземистых углеродом, содержащимся в углеродистых восстановителях (коксовая мелочь, полукокс, углеродистые восстановители агломерационные и т. д.). Для получения заданного химического состава, понижения температуры плавления и вязкости расплава продукта глиноземсодержащего, в шихту добавляют известь.

Продукты плавленые глиноземистые находят свое применение в производстве клинкера высокоглиноземистого, используемого для изготовления огнеупорного цемента, хромистого полупродукта и флюсов глиноземсодержащих, применяемые для получения легкоплавких синтетических продуктов плавленых глиноземистых, используемых при внепечной обработке стали. Высокие жаростойкие свойства продуктов плавленых глиноземистых от выплавки металлического хрома и ферротитана, позволяют использовать их в качестве заполнителей жаростойких бетонов. На основе высокоглиноземистого вяжущего, полученного из продукта плавленого глиноземистого от алюминотермической выплавки низкоуглеродистого феррохрома, разработаны тяжелые жаростойкие бетоны.

Получение продуктов плавленых и флюсов глиноземсодержащих основано на расплавлении в электропечи продуктов плавленых глиноземистых (ППГ), полученных при выплавке хрома металлического, феррохрома низкоуглеродистого, ферротитана, глиноземистых концентратов и извести обожженной с последующим восстановлением хрома из оксидов хрома, содержащихся в ППГ, углеродом. Попутной продукцией при получении продуктов плавленых глиноземсодержащих является хром углеродистый.

Допускается при получении ФГ замещение части ППГ от выплавки хрома металлического ППГ от выплавки феррохрома низкоуглеродистого и лигатур.

Основные химические реакции, протекающие при получении продуктов плавленых и флюсов глиноземсодержащих:

$$2Cr_2O_3 + 3C \longrightarrow 4Cr + 3CO_2;$$

$$3Cr_2O_3 + 13C \longrightarrow 2Cr_3C_2 + 9CO;$$

- углетермическое восстановление хрома из оксидов хрома с последующим образованием карбидов хрома идет по схеме:

$$Cr_2O_3 \longrightarrow CrO \longrightarrow Cr \longrightarrow Cr_7C_3 \longrightarrow Cr_3C_2;$$

$$SiO_2 + C \longrightarrow Si + CO_2;$$

$$TiO_2 + 3C \longrightarrow TiC + 2CO;$$

- образование TiC происходит при температурах почти на 1000 °С ниже, чем Ti металлического:

$$Al_2O_3 + CaO \longrightarrow Al_2O_3\,CaO.$$

3.8.5 Вторичные энергетические ресурсы

В составе отходящих газов закрытых ферросплавных печей преобладает оксид углерода (70–90 %), по этой причине газ ферросплавных печей является вторичным энергетическим ресурсом. Выход ферросплавного газа варьирует в пределах от 300 до 1350 м^3/т сплава.

Очищенный колошниковый газ закрытых ферросплавных печей является высококалорийным топливом с теплотворной способностью 9250–10500 кДж/м^3 и

используется при отоплении котлов, в печах обжига извести, а также в трубчатых печах для предварительного нагрева шихты.

3.9 Некоторые рекомендации по производственному экологическому контролю

Назначение процедуры производственного экологического контроля (ПЭК) в системе экологического управления состоит в подтверждении соответствия хозяйственной деятельности требованиям природоохранного законодательства и разрешенным уровням воздействия на окружающую среду (нормативам предельно-допустимых выбросов, допустимых сбросов, временно-разрешенных выбросов, сбросов, лимитов на размещение отходов).

В принципиальном аспекте функция производственного экологического контроля остается неизменной и при переходе на технологическое нормирование (для организаций, относящихся к 1-ой категории объектов негативного воздействия на окружающую среду), но содержание отдельных элементов ПЭК претерпевает изменения.

Производственный экологический контроль нацелен на получение надежной информации (сбор, анализ, накопление данных), необходимой для доказательства соблюдения объектами 1-ой категории требований и показателей наилучших доступных технологий. Именно ввиду значимости информационной основы ПЭК законодательно (ст. 31.1 закона № 219-ФЗ) установлен статус программы производственного экологического контроля как неотъемлемой части заявки на комплексное экологическое разрешение (КЭР) с обязательным утверждением ее регулятором при получении КЭР.

Требования к программе производственного экологического контроля регламентированы законодательно (ст. 67 № 7-ФЗ): согласно положениям закона программа ПЭК должна содержать сведения:

- об инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и их источниках;
- об инвентаризации сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и их источниках;
- об инвентаризации отходов производства и потребления и объектах их размещения;
- о подразделениях и/или должностных лицах, отвечающих за осуществление ПЭК;
- о собственных и/или привлекаемых лабораториях, аккредитованных в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации;
- о периодичности и методах осуществления производственного экологического контроля, местах отбора проб и методиках (методах) измерений.

Для условий технологического нормирования (ст. 23, ст. 31.1, ст. 31.2 закона № 7-ФЗ) в план-график контроля стационарных источников выбросов (сбросов) должны быть включены загрязняющие (маркерные) вещества, которые присутствуют в выбросах (сбросах) и в отношении которых установлены технологические нормативы, а также

вещества 1-ого и 2-ого классов опасности (при наличии таких веществ), по которым устанавливаются нормативы выбросов (сбросов) или временно согласованные выбросы (сбросы).

Методологические основы производственного экологического контроля, в том числе для металлургической отрасли, изложены в [98]. Некоторые актуальные вопросы, касающиеся производственного экологического контроля, требуют дополнительного обсуждения.

3.9.1 Периодичность отбора проб

Одним из существенных показателей программы ПЭК является периодичность отбора проб на объектах наблюдения. Основываясь на информации [98] и принимая во внимание, что программа ПЭК разрабатывается на длительный срок (не менее 7 лет), можно рекомендовать периодичность контроля источников воздействия на окружающую среду в ходе ПЭК, показанную в таблице 3.54.

Таблица 3.54 – Периодичность производственного экологического контроля для различных объектов (инструментальный контроль)

№пп	Контролируемая среда, объект	Общее количество контролируемых компонентов	Периодичность контроля
	Атмосферный воздух:		
1	На границе СЗЗ: Подфакельно (маршрутно) [1]	8	1 раз в месяц[3]
2	На границе жилой зоны (в зоне влияния предприятия)[2]	8	2 раза в год
3	Выбросы с отходящими газами от стационарных источников[1]	8–10	1 раз в год
4	В местах локации ОРО (на границе территории, соответствующей пределам негативного воздействия ОРО)[4]	3	1 раз в год
	Водные объекты		
5	Поверхностные воды в фоновом и контрольном створах[5]	6	1 раз в квартал
6	Передаваемые сточные воды (по договорам на очистку)	Согласно условиям договора	1 раз в месяц
7	Централизованные системы водоотведения[6]	Согласно условиям договора	1 раз в месяц
8	Производственный контроль сточных вод[1]	6	1 раз в квартал
9	В местах локации ОРО (в месте выпуска сточных вод, поступивших с ОРО)[7]	6	1 раз в год

[1] определяются маркерные вещества;

[2] территория согласно п. 2.4 СП 1.1.1058-01; определяются маркерные вещества, дополнительно – проблемные для региона;

[3] суммарное количество проб за год определяетя проектами СЗЗ, согласованными регулятором графиках контроля;

[4] в соответствии с п. 9 (а) Приказа МПР России № 1030 от 08.12.2020 г.

[5] в соответствии с п. 9.2.3 Приказа МПР РФ № 74 программы ведения ругулярных наблюдений за водным объектом и его водоохраной зоной; определяются маркерные вещества
[6] в соответствии с НССВ, исходя из технологических нормативов организаций ЦСВ
[7] согласно п. 9 (б) Приказа МПР России № 1030 от 08.12.2020 г.

Вместе с тем, не исключается и иная периодичность ПЭК, обусловленная конкретными условиями, ситуациями, вероятными рисками.

3.9.2 Методики (методы) измерений.

В соответствии со ст. 1, ч. 3 закона № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» на измерения, выполняемые при осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды, распространяется сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений. Ввиду этого применяемые для целей ПЭК методики должны быть включены в федеральный реестр методик количественного химического анализа, который ведет ФГУП ВНИИМС (Федеральное агентство по техническому регулированию) и имеет индекс «ФР».

Наиболее применимыми методами производственного экологического контроля являются:

- прямые (непосредственные измерения на источнике бывают периодические и непрерывные);

- расчетные методы (балансовые, по коэффициентам эмиссии, иное).

Расчетные методы применяются для контроля неорганизованных источников эмиссий и в случаях, когда отсутствует техническая возможность проведения непосредственных измерений. В расчетных методах могут использоваться методики, перечень которых утвержден в нормативном акте [132].

Приоритетным инструментом ПЭК служат прямые методы, причем при технологическом нормировании предпочтение отдается методам непрерывного контроля (системам автоматического контроля, оснащенных приборами измерения и учета концентраций, объема выбросов (сбросов), а также техническими средствами, обработки, архивирования и передачи информации о количественных и качественных характеристиках выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (реестр).

Подобные системы рекомендованы для основных источников (технических устройств, оборудования) эмиссий предприятия и для маркерных веществ.

Виды технических устройств, оборудования или их совокупности (установок) на объектах I категории, выбросы (сбросы) загрязняющих веществ которых подлежат автоматическому контролю по [100] применительно к ИТС 26-2022 представлены ниже:

п. 1 Установки очистки газов и аспирационное оборудование при производстве кокса из каменного угля перед выбросом в атмосферный воздух;

п. 6 Установки по обжигу и спеканию железной руды… с единичной производительностью 500 т в сутки и более;

п. 7 Установки по производству чугуна и стали с единичной проектной мощностью 2,5 т в час и более;

п. 23 Выпуски сточных вод, включая глубоководные, в водные объекты, за исключением выпусков сточных вод, образующихся на объектах, оказывающих

негативное воздействие на окружающую среду, на которых осуществляется деятельность исключительно по производству кокса, добыче сырой нефти и/или природного газа, переработке природного газа, добыче и обогащению железных руд, обеспечению электрической энергией, газом и паром, производству фармацевтических субстанций, обработке поверхностей, предметов или продукции.

Требования к системам автоматического контроля регламентированы в нормативных актах [101, 102].

3.9.3 Системы автоматического контроля выбросов (сбросов) загрязняющих веществ

Правила создания и эксплуатации систем автоматического контроля выбросов и/или сбросов (САК) установлены в [101]. Создание САК направлено на решение следующих задач:

- оснащение стационарных источников выбросов и/или сбросов, образующихся при эксплуатации технических устройств, оборудования или их совокупности (установок), а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов или сбросов;
- получение достоверной информации о показателях выбросов и/или сбросов;
- передача в реестр информации о показателях выбросов и/или сбросов
- повышение уровня оперативного регулирования технологических процессов производств в целях сокращения выбросов и/или сбросов;
- осуществление государственного экологического надзора за выполнением условий, предусмотренных комплексным экологическим разрешением.

САК создаются на объектах 1-ой категории на основании программы создания САК, которая является неотъемлемой частью программы экологического контроля.

Стационарные источники подлежат включению в программу при соблюдении следующих условий:

а) выбросы от стационарного источника образуются при эксплуатации технических устройств;

б) в выбросах от стационарного источника присутствует одно из следующих загрязняющих веществ, массовый выброс которых превышает следующие значения:

№ пп	Измеряемый компонент	Массовый выброс, кг/ч
1	Взвешенные вещества	3,0
2	Серы диоксид	30,0
3	Оксиды азота (суммарно)	30,0
4	Углерода оксид	100,0
5	Фтористый водород	0,3
6	Хлористый водород	1,5
7	Сероводород	0,3
8	Аммиак	1,5

в) наличие средств и методов измерений концентраций загрязняющих веществ в условиях эксплуатации стационарного источника выбросов.

Применительно к сбросам условия а) и в) включения в программу сохраняются, а условие б) изменено: сбросы сточных вод, отводимых от источника, составляют более 15 % объема сточных вод, отводимых от объекта 1 категории.

Автоматические средства измерения (САК) выбросов загрязняющих веществ должны обеспечивать измерение и учет [102]:

- концентрации загрязняющих веществ, мг/м^3;
- объемного расхода отходящих газов, м^3/час;
- давления отходящих газов, кПа;
- температуры отходящих газов, ^{o}С;
- содержания кислорода в отходящих газах в % (при необходимости);
- влажности отходящих газов (при необходимости).

Система автоматического контроля сбросов загрязняющих веществ объектами 1 категории обеспечивает получение следующих показателей:

- объемный расход, м^3/час;
- температура сбрасываемых сточных вод, ^{o}С;
- водородный показатель, единицы pH;
- химическое потребление кислорода, мг/дм^3.

Технические средства фиксации и передачи информации о показателях выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, для исполнения надлежащих функций в САК включают в себя [102]:

а) программное обеспечение и технические устройства юридического лица или индивидуального предпринимателя, осуществляющего хозяйственную и иную деятельность на объекте I категории, стационарные источники которого оснащены автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и/или сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации;

б) программные средства государственного реестра объектов негативного воздействия на окружающую среду.

3.9.4 Метрологическое обеспечение.

Цель метрологического обеспечения состоит в обеспечении единства и требуемой точности измерения, его достоверности с использованием средств измерений (СИ) и надлежащих методик измерений (МВИ), гарантирующих надежность и сопоставимость результатов.

Как для прямых периодических методов, так и особенно для непрерывных методов контроля основной фактор неопределенности результата заложен в представительности пробы из-за неоднородности потоковой среды, специфических условий функционирования источника, масштаба объекта измерения и т. д.

Для инструментальных (периодических) методов точность и достоверность измерения определяется методиками пробоотбора, пробоподготовки и измерения и, как правило, оговаривается в методике (методиках).

Погрешность автоматических средств измерений и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и/или сбросов загрязняющих веществ определяется при

утверждении типа средств измерений в соответствии с требованиями законодательства об обеспечении единства измерений [102].

Автоматические средства измерения должны быть утвержденных типов и иметь свидетельства об утверждении типа средств измерения.

Требования к метрологическим характеристикам для систем автоматического контроля (САК) согласно [98] приведены в таблице 3.55.

Таблица 3.55 – Требования к метрологическим характеристикам САК для маркерных веществ

Определяемый компонент	Диапазон измерений, мг/м^3	Пределы допускаемой основной погрешности
NO_2	80–200 100–1000	±5 % (отн.) ±10 % (отн.)
NO	0–50 50–1000	± 5 % (отн.) ±10 % (отн.)
CO	0–75 75–1000	±5 мг/м^3 (абс.) ±5 % (отн.)
SO_2	0–100 100–1000	±10 % (отн.) ±10 % (отн.)
Взвешенные частицы (пыль)	20–100000	±20 % (отн.)

Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий

Наилучшая доступная технология (НДТ) – технологический процесс, метод, оборудование на стадии промышленного внедрения, порядок организации производства продукции (товаров на рынках сбыта), выполнения работ, оказания услуг, способ эксплуата и вывода из эксплуатации зданий, строений, сооружений и оборудования, основанные на современных достижениях науки и техники, обладающие наилучшим сочетанием показателей для достижения целейохраны окружающей среды во взаимосвязи с ресурсо- и энергосбережением, экономиеской эффективностью применения продукции с учетом социальных факторов [133].

При этом разъяснется, что:

- *«наилучшая»* означает технологию, наиболее эффективную для выпуска продукции с достижением установленного уровня защиты окружающей среды;

- *«доступная»* означает технологию, которая разработана настолько, что она может быть применена в промышленном производстве при условии экономической, технической, экологической и социальной целесообразности ее внедрения;

- *«технология»* подразумевает как собственно технологию, так и способ, метод и приме, которым объект спроектирован, построен, эксплуатируется и выводится из эксплуатации перед его ликвидацией с утилизацией обезвреженных частей и удалением опасных составляющих.

Общие подходы определения наилучшей доступной технологии представлены в стандарте [133].

Идентификация НДТ включает четыре последовательно реализуемых этапа:

- определение перечня возможных НДТ;
- оценка перечня возможных НДТ;
- выбор наиболее целесообразных НДТ;
- выбор НДТ для конкретных условий ее применения.

Основные принципы методологии идентификации НДТ в аспектах ее комплексного воздействия на окружающую среду показаны на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Основные принципы методологии определения НДТ с учетом оценки аспектов ее комплексного воздействия на окружающую среду

Методология применима в тех случаях, когда отсутствует ясное предпочтение какой-либо технологии или, когда имеются разногласия в отношении того, какя технология является наилучше для конкретного применения.

Процедура определения наилучших доступных технологий для области применения настоящего справочника НДТ организована Бюро НДТ и технической рабочей группой ТРГ 26 в соответствии с Правилами определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458) [134]. Определение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве НДТ проведено членами ТРГ 26 с учетом Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии (утверждены приказом Министерства

промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665) (далее – Методические рекомендации) [135].

Основные технологические процессы, технические решения и оборудование описаны в разделе 2. В разделе 3 приведены сведения о характере воздействия производства на окружающую среду, а также мерах, направленных на снижение негативного воздействия на ОС и повышение ресурсоэффективности, применяемых на предприятиях, реализующих виды деятельности, относящиеся к областям применения настоящего справочника НДТ. Информация разделов 2 и 3 положена в основу экспертного анализа при выборе наилучших доступных технологий. Кроме того, принята во внимание международная и отечественная практика отнесения систем экологического и энергетического менеджмента к НДТ для различных видов деятельности, в том числе получившая отражение в таких справочниках, как европейский отраслевой справочник по НДТ производства чугуна и стали – Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production (2012) [103], российский и европейский справочники по энергоэффективности – ИТС 48–2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и/или иной деятельности» [104] и Reference Documenton Best Available Techniques for Energy Efficiency (2009) [136].

Отметим, что в прошлом издании европейского справочника НДТ для производства чугуна и стали к НДТ были отнесены системы экологического менеджмента, но вопросам повышения энергоэффективности уделялось значительное внимание во всех разделах документа. В новом справочнике системы энергетического менеджмента уже отнесены к НДТ для всех производств области распространения настоящего справочника НДТ.

При определении технологических процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве наилучшей доступной технологии члены ТРГ 26 учитывали требование выбора НДТ, наилучшим образом сочетающих критерии достижения целей охраны окружающей среды, изложенное в п. 14 ст. 23.1 Федерального закона от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации [99] и в ст. 28.1 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [138].

Сочетанием таких критериев считаются:

- «…наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду (ОС) в расчете на… объем производимой продукции (товара)…;
- экономическая эффективность… внедрения и эксплуатации;
- применение ресурсо- и энергосберегающих методов;
- период… внедрения;
- промышленное внедрение… технологии на двух и более объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду».

Рассмотрим критерии подробнее.

Наименьший уровень негативного воздействия на ОС (критерий 1) предполагает обеспечение комплексной защиты окружающей среды, минимизацию воздействия на ее различные компоненты. Поэтому в контексте настоящего справочника НДТ практически во всех случаях речь шла об идентификации спектра решений, использование которых позволяет сократить выбросы ~~вредных~~ загрязняющих веществ в атмосферный воздух, оптимизировать обращение с отходами и снизить их количество, а также обеспечить

функционирование водооборотных циклов. Такой подход соответствует ранжированию факторов воздействия на ОС, характерному для Государственных докладов о состоянии окружающей среды в Российской Федерации. Еще в отчете за 2015 г. подчеркнуто: «Предприятия черной металлургии характеризуются высоким уровнем оборотного водоснабжения (93,0 %), а сброс загрязненных вод в водные объекты составляет менее 3 %, что позволяет в значительной степени предотвратить ущерб водной среде» [139]. За прошедшее после выхода первой редакции справочника ситуация еще улучшилась: перешли на бессточную систему водопользования ПАО «ММК» и ряд предприятий Группы «Мечел» (ООО «Мечел-Кокс» и АО «Москокс»). [140].

Можно сказать, что вопросам последовательного улучшения показателей экологической результативности, связанным с сокращением выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и с совершенствованием системы обращения с отходами, в настоящее время уделяется более пристальное внимание как в Госдокладах, так и в открытых нефинансовых отчетах компаний. Это отражает принцип ранжирования экологических аспектов по приоритетам: по достижении запланированных целевых показателей результативности аспект переходит в категорию меньшей значимости, а усилия организации сосредотачиваются на других аспектах при условии поддержания достигнутого уровня и обеспечения надлежащего контроля (в данном случае – в части поддержания функционирования водооборотных циклов).

Применение ресурсо- и энергосберегающих методов (критерий 2) оценивали по таким показателям, как потребление энергии, сырья, воды и вспомогательных веществ в расчете на единицу произведенной продукции, применение вторичных энергетических ресурсов. Вопросам повышения энергоэффективности в черной металлургиии и в обрабатывающей промышленности в целом уделено значительное внимание в Государственных докладах о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации [140]. Анализ открытых отчетов свидетельствует о том, что повышение энергоэффективности является одним из приоритетов стратегий развития компаний отрасли.

В тех случаях, когда известны надежные данные о количественных показателях по двум основным критериям отнесения технологических и технических решений к НДТ (критерий 1 и критерий 3), определяли предельные значения, соответствующие лучшей и наиболее широко распространенной практике российских предприятий. В других случаях принимали во внимание сведения, систематизированные в европейском справочнике [103], а также оценки, данные экспертами в соответствующих областях применения НДТ.

Факт промышленного внедрения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на двух и более российских предприятиях (критерий 5) в области распространения данного справочника НДТ устанавливали по результатам обработки анкет, поступивших от предприятий, дополнительных запросов, и на основании материалов открытых нефинансовых отчетов российских компаний. Также учитывали позиции экспертов, принимавших участие в разработке и обсуждении проекта настоящего справочника НДТ. При этом следует учитывать, что есть ряд специфических решений, разработанных для конкретных предприятий, учитывающих исторически сложившиеся особенности производства. Поэтому при нормировании предприятий по принципам наилучших доступных технологий первоочередное внимание следует уделять не описательной части раздела 5, а технологическим показателям,

установленным для НДТ и подлежащим достижению на конкретных объектах, отнесенных к областям применения настоящего справочника НДТ.

К общим подходам, которые включены в перечень НДТ как в международных, так и в российских справочниках НДТ, относятся системы менеджмента [103, 104]. Уже в Государственном докладе «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 г.» отмечался факт внедрения систем экологического менеджмента (СЭМ) на всех крупных металлургических предприятий России с сертификией СЭМ на соответствие требованиям международных (ISO 14001) или российских (ГОСТ Р ИСО 14001) стандартов [139]. Судя по открытой отчетности, в настоящее время компании работают над ресертификацией систем экологического менеджмента в соответствии с требованиями выпущенных в 2015–2016 гг. стандартов.

Период внедрения НДТ (критерий 4) оценивали, в том числе с учетом необходимости проведения значительной реконструкции технологических процессов и модернизации оборудования, возможности последовательного улучшения показателей ресурсоэффективности и экологической результативности путем внедрения технических усовершенствований и процедур в рамках систем экологического и энергетического менеджмента. Следует отметить, что период внедрения целесообразно рассматривать для отрасли в целом. Такие подходы применяются и за рубежом [141]. Период внедрения зависит и от состояния отрасли, конкретных предприятий, и от доступности средств, необходимых для модернизации, и от возможности получения государственной поддержки (в том числе поддержки Фонда развития промышленности). При актуализации настоящего справочника НДТ цель состоит в анализе достигнутого предприятиями в области охраны окружающей среды за период после выхода первой редакции справочника, формировании адекватных развитию техники и технологий технологических показателей и стимулировании предприятий к проведению более глубокого анализа и систематизации сведений об экологической результативности и ресурсоэффективности, совершенствованию отчетности в этих областях для получения надежных и сопоставимых данных и проведения бенчмаркинга на национальном уровне.

Вопросы экономической эффективности (критерий 2) рассмотрены только в тех случаях, когда членам ТРГ 26 удавалось получить надежные данные от отечественных предприятий, внедривших конкретные технологические, технические или управленческие решения, позволяющие достичь высокого уровня защиты окружающей среды и ресурсоэффективности производства. Следует отметить, что компании, реализующие виды деятельности, отнесенные к области применения настоящего справочника НДТ, публикуют сведения о затратах на природоохранные мероприятия и о результатах, достигнутых по выполнении конкретных программ (в том числе направленных на эколого-технологическую модернизацию производства). Соответствующая информация приведена в разделе 2,

При подготовке настоящего справочника НДТ и определении наилучших доступных технологий члены ТРГ 26 в целом следовали логике, описанной в приложении 1 к Методическим рекомендациям [135], а также в справочнике Европейского союза «Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды» (в русском переводе [141], Reference Documenton Economics and Cross-Media Effects, 2006 [142]). Последовательность этапов рассмотрения технологических процессов, технических решений и методов при определении наилучших доступных технологий представлена на рисунке 4.2.

Приведенные в разделе 5 описания наилучших доступных технологий включают как методы, применимые для всех производств, составляющих область распространения настоящего справочника НДТ, так и подходы, характерные для производства конкретных видов продукции, в том числе:

- агломерация железных руд;
- производство кокса и пека;
- производство чугуна зеркального и передельного;
- производство ферросплавов;
- производство стали нелегированной;
- производство стали нержавеющей и полуфабрикатов из нержавеющей стали;
- производство стали легированной и полуфабрикатов из прочей легированной стали.



Рисунок 4.2 – Последовательность этапов рассмотрения технологических процессов, технических решений и методов при определении НДТ

Руководствуясь представленными общими подходами, принимая во внимание существенные масштабы технического перевооружения в металлургической отрасли за последние 15–20 лет, применительно к технологиям производства чугуна, стали и ферросплавов члены ТРГ 26 нашли возможным принять следующие исключения:

- принять как НДТ существующие технологии, если они в полной мере отвечают критериям 1, 2, 3, 5, исключив таким образом критерий 4;

- при соответствии критериям 1, 2, 3, 4 технология рекомендована как НДТ при ее внедрении на одном предприятии, если она является эксклюзивной (современной даже по европейским критериям), как пример, технология рециркуляции отходящих агломерационных газов; или применение для загрузки доменных печей бесконусного роторного загрузочного устройства;

- при соответствии критериям 1, 2, 3, 4 отнесение технологии к НДТ проводилось в случаях, если технология внедрена на одном предприятии, но на нескольких агрегатах (технология очистки агломерационных газов от сернистых соединений);

- при соответствии критериям 1, 2, 3, 4 технология рекомендована как лучшая практика, если она создана на базе устаревшей технологии в ее развитие на современном уровне (двухванный сталеплавильный агрегат).

Кроме того, к наилучшим практикам в соответствии с международной практикой также отнесено внедрение систем экологического и энергетического менеджмента.

Внедрение НДТ хозяйствующими субъектами, как правило, ориентировано на обеспечение комплексного подхода по предотвращению и/или минимизации техногенного воздействия и базируется на сопоставлении эффективности мероприятий по защите окружающей среды с затратами, которые должен при этом нести хозяйствующий субъект для предотвращения и/или минимизации оказываемого им техногенного воздействия в обычных условиях хозяйствования, то есть до внедрения НДТ.

Раздел 5. Наилучшие доступные технологии

В соответствии с принятой классификацией наилучших доступных технологий (НДТ) в области энергосбережения и ресурсосбережения, при очистке выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и сбросов в водный бассейн при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях выделены следующие группы:

- технологии, интегрированные в производственный процесс и направленные на повышение технических, энергетических показателей процесса, сопровождаемые сокращением выбросов загрязняющих веществ или образования отходов в результате осуществления технологических мероприятий;

- технологии, связанные с очисткой выбросов загрязняющих веществ локально в местах их выделения и направленные на максимально возможное извлечение из отходящих газов загрязняющих веществ и их последующее использование; либо с утилизацией отходов.

Именно такие подходы применительно к производствам чугуна, стали и ферросплавов приняты для технических решений, идентифицированных как наилучшие доступные технологии.

Наилучшие доступные технологии производства агломерата, чугуна, стали и ферросплавов, позволяющие достичь наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду, экономическую эффективность внедрения и эксплуатации, применения ресурсо- и энергосберегающих методов, уже имеющие промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, способов и методов на двух и более предприятиях России, представлены ниже.

Перечень методов (технологий), перечисленных ниже в описаниях НДТ, не является предписывающим или исчерпывающим. Могут применяться и иные методы, обеспечивающие по меньшей мере такой же уровень охраны окружающей среды.

5.1 Наилучшие доступные технологии общего назначения

НДТ 5.1.1 Система экологического менеджмента

Система экологического менеджмента заключается в разработке и внедрении системных процедур по управлению экологической безопасностью предприятий, снижению экологических рисков при производстве чугуна, стали и ферросплавов, управлении обращением с отходами.

НДТ 5.1.2 Система энергетического менеджмента

Система энергетического менеджмента заключается в разработке и внедрении системных процедур по управлению энергоресурсами, внедрению мер по энергосбережению и повышению энергетической эффективности при производстве чугуна, стали и ферросплавов.

НДТ 5.1.3 Технологии, направленные на предотвращение загрязнения водного бассейна и минимизацию водопотребления путем реализации одного или комбинации двух и более методов, приведенных в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Описание НДТ 5.1.3

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Измерение объёмов используемой воды	
б	Применение реагентов для очистки воды	При технической целесообразности
в	Очистка сточных вод до нормативного качества	При технической и экономической возможности
г	Организация локальных оборотных циклов	При реконструкции
д	Организация оборотных циклов с применением комплекса отстойник-флокулятор «ЭП ОФ» и обезвоживатель «ОКУД»	При реконструкции
е	Применение оборотного водоснабжения	При реконструкции
ж	Применение замкнутых водооборотных систем	При реконструкции
з	Обезвоживание шламов	При технической возможности

НДТ 5.1.4 Технологии, направленные на снижение воздействия физических факторов (шума) путем реализации одного или комбинации двух и более методов, приведенных в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Описание НДТ 5.1.4

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Выбор подходящего места для шумных операций	Для новых предприятий
б	Ограждение шумных операций/агрегатов	
в	Виброизоляция производств/агрегатов	
г	Использование внутренней и внешней изоляции на основе звукоизолирующих материалов	
д	Звукоизоляция зданий для укрытия любых шумопроизводящих операций, включая оборудование для переработки материалов	
е	Установка звукозащитных стен и/ или природных барьеров	
ж	Применение глушителей на отводящих трубах	
з	Звукоизоляция каналов и вентиляторов, находящихся в звукоизолированных зданиях	
и	Закрытие дверей и окон в цехах и помещениях	
к	Использование звукоизоляции машинных помещений	
л	Использование звукоизоляции стенных проемов, например, установка шлюза в месте ввода ленточного конвейера	
м	Установление звукопоглотителей в местах выхода воздуха, например, на выпуске после газоочистки	
н	Снижение скорости потоков в каналах	
о	Использование звукоизоляции каналов	
п	Сепарация шумовых источников и потенциально резонансных компонентов, например, компрессоров и каналов	

Окончание таблицы 5.2

№	Метод / оборудование	Примечание
р	Использование глушителей для дымососов и газодувок фильтров	
с	Использование звукоизолирующих модулей в технических устройствах (например, компрессорах)	
т	Использование резиновых щитов при дроблении угля (для предотвращения контакта металла с металлом)	
у	Возведение построек или посадка деревьев и кустов между защитной полосой и шумным производством	

5.2 Наилучшие доступные технологии производства агломерата

НДТ 5.2.1 Технология производства агломерата методом спекания на конвейерных машинах различной площади за счет фильтрации воздуха, обеспечивающего горение твердого топлива, распределенного в слое, с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.2.2 – НДТ 5.2.7

НДТ 5.2.2 Технологии, направленные на улучшение общих показателей производства агломерата, обеспечивающие сокращение потерь сырья, образование эмиссий в атмосферу и отходов

НДТ 5.2.2.1 Обеспечение стабильности качества агломерата, снижение потерь сырья за счет использования одного или комбинации двух и более методов, приведённых в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Описание НДТ 5.2.2.1

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Стабильный состав поставляемых компонентов шихты	
б	Известкование (подача негашеной извести) концентратов	
в	Применение закрытых усреднительных складов сырья	

НДТ 5.2.2.2 Дозирование, смешивание, окомкование шихты, повышение производительности процесса посредством использования одного или комбинации двух и более методов, приведённых в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Описание НДТ 5.2.2.2

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Поддержание оптимального расхода негашёной извести	
б	Применение интенсификаторов окомкования	
в	Нагрев шихты острым паром или сжиганием газа в окомкователе	
г	Применение современных конструкций окомкователей с рациональным увлажнением шихты	

НДТ 5.2.2.3 Оптимизация процесса спекания, сокращение потерь сырья и выбросов загрязняющих веществ за счет использования одного или комбинации двух и более методов, приведённых в таблице 5.5

Таблица 5.5 – Описание НДТ 5.2.2.3

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Укладка защитной постели	При технической возможности
б	Обеспечение плавной работы агломашины с минимальными остановками	
в	Работа с постоянной высотой спекаемого слоя и скоростью аглоленты	
г	Оптимальный режим окомкования шихты (обеспечение надлежащей газопроницаемости слоя)	
д	Устранение бортовых прососов, например, применением «глухих» колосников	
е	Поддержание уплотнений аглоленты и газоотводящего тракта в герметичном состоянии	
ж	Контроль влажности аглошихты и управление ею	

НДТ 5.2.3 Внедрение систем автоматизированного контроля и управления при использовании одного или комбинации двух и более методов, приведённых в таблице 5.6

Таблица 5.6 – Описание НДТ 5.2.3

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Непрерывные измерения основных параметров производственных процессов, свидетельствующих о стабильности технологии, таких как скорость агломерационной ленты, влажность окомкованной агломерационной шихты, температура в зажигательном горне, температура в вакуум камерах и сборном коллекторе, разрежение в сборном коллекторе отходящих газов и перед эксгаустерами агломашин и др.	
б	Использование микропроцессорной техники и АСУ ТП для регулирования скорости агломашины в зависимости от скорости спекания аглошихты	
в	Периодический отбор представительных проб для контроля состава агломерационной шихты и готового агломерата в соответствии с графиком производственного контроля	
г	Периодический контроль представительных проб для контроля системы взвешивания и дозирования аглошихты в соответствии с графиком производственного контроля	
д	Периодические замеры выбросов CO, SO_2 и NO_x с технологическими газами в соответствии с графиком производственного экологического контроля	

Окончание таблицы 5.6

№	Метод / оборудование	Примечание
е	Периодические замеры выбросов пыли с технологическими газами от агломашин и из аспирационных систем участков подготовки, смешивания и транспортировки шихты, спекательного отделения и от охладителей агломерата в соответствии с графиком производственного экологического контроля	
ж	Непрерывный контроль (взвешенных веществ, оксидов азота, оксида углерода, диоксида серы) в выбросах с помошью система автоматического контроля на отдельных источниках	
з	Периодические обследования эффективности газоочистных установок в порядке производственного экологического контроля и/или специализированными организациями	
и	Непрерывный инструментальный контроль работы конвейерных лент и уровня вибрации оборудования для обнаружения завалов и возможных отказов оборудования	

НДТ 5.2.4 Технологии, направленные на снижение удельных расходов сырья, топлива при производстве агломерата повышенного качества с меньшим расходом твёрдого топлива путем применения одного, нескольких или совокупности методов, приведенных в таблице 5.7

Таблица 5.7 – Описание НДТ 5.2.4

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Применение постели высотой 30–40 мм	При технической возможности
б	Использование заменителей коксовой мелочи (антрацита, углей, и др.)	При целесообразности
в	Спекание аглошихты с долей концентрата более 50 % с высотой спекаемого слоя до 500 мм	При технической возможности
г	Повышение высоты спекаемого слоя	При технической возможности
д	Применение эффективных грохотов и систем грохочения	При технической возможности

НДТ 5.2.5 Повышение эффективности использования энергии путем использования одного или комбинации из двух и более методов, приведённых в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Описание НДТ 5.2.5

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Минимизация расхода твердого топлива на процесс спекания	
б	Рециркуляция отходящих газов от агломашин при спекании	При реконструкции или новом строительстве
в	Устранение вредных подсосов воздуха на агломашинах, в том числе торцевых, боковых, а также в неплотностях сборного коллектора отходящих газов	
г	Применение двигателей с регулируемой скоростью	
д	Теплоизоляция объектов или элементов оборудования, функционирующих при высоких температурах, например, элементов газоотводящего тракта агломашин	

НДТ 5.2.6 Технологии, направленные на снижение негативного воздействия на атмосферный воздух

НДТ 5.2.6.1 Применение газоочистного оборудования для снижения выбросов пыли посредством применения одного или комбинации методов, приведённых в таблице 5.9

Таблица 5.9 – Описание НДТ 5.2.6.1

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Применение сухих циклонов, мультициклонов, усовершенствованных пылеуловителей сухого типа	
б	Применение электрофильтров	

НДТ 5.2.6.2 Сокращение выбросов SO_2 за счет применения систем обессеривания отходящих агломерационных газов посредством обработки потока газов известковым молоком (или иным доступным реагентом)

НДТ 5.2.6.3 Снижение вторичных выбросов пыли при дроблении и грохочении агломерата за счет применения решений, приведённых в таблице 5.10

Таблица 5.10 – Описание НДТ 5.2.6.3

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Применение сухих циклонов, усовершенствованных пылеуловителей сухого типа	
б	Организация укрытий и систем аспирации	

НДТ 5.2.7 Технологии утилизации отходов применением одного или комбинации двух и более методов, приведённых в таблице 5.11

Таблица 5.11 – Описание НДТ 5.2.7

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Утилизация отходов производства агломерата, содержащих железо и флюсы	
б	Производственный рециклинг (использование отходов других металлургических переделов в производстве агломерата)	
в	Избирательные технологии рециклинга отходов металлургических производств: - Контроль прихода вредных примесей в аглошихту; - Ограничение поступления фосфора, цинка, свинца, щелочей, тяжёлых металлов; - Минимизация поступления в шихту хлоридов, масел, углеводородов	

5.3 Наилучшие доступные технологии производства кокса

НДТ 5.3.1 Технология производства кокса в коксовых печах путем термической обработки угольной шихты без доступа воздуха, последующего охлаждения и сортировки коксового пирога и очистки коксового газа с применением ресурсо- и энергоэффективных процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих технологии НДТ 5.3.2 – НДТ 5.3.12, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха, предотвращения загрязнения водных объектов, утилизацию отходов

НДТ Технологии, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха

НДТ 5.3.2 Снижение выбросов при подготовке угля к коксованию

НДТ заключается в реализации одного, нескольких или совокупности технических решений, обеспечивающих уменьшение выбросов загрязняющих веществ (пыли) в атмосферу, приведенных в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Описание НДТ 5.3.2 по снижению выбросов пыли при подготовке угля к коксованию

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Аспирационные системы с эффективной очисткой от пыли	Применение на вагоноопрокидывателях, дробилках, перегрузочных узлах и конвейерах
б	Строительство закрытых складов угля	Для новых предприятий

Окончание таблицы 5.12

№	Метод / оборудование	Примечание
в	Устройство стенок для ограждения штабелей, минимизация высоты падения разгружаемого в штабели угля (менее 0,5 м), распыление воды или полимерных эмульсий на поверхности штабелей	Для открытых угольных складов
г	Применение мокрых / сухих методов пылеулавливания для очистки аспирационного воздуха	
д	Уборка осевшей пыли с поверхностей полов, стен и оборудования	

Таблица 5.13 – Отраслевые показатели выбросов в атмосферу для НДТ 5.3.2 [128]

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Взвешенные вещества (пыль)	г/т кокса	≤200

Типы применяемых пылеуловителей определяются физико-химическими свойствами улавливаемых веществ, такими как дисперсный состав, плотность, абразивность, смачиваемость, слипаемость, пожаро- и взрывоопасные свойства. Сухие методы очистки с использованием рукавных фильтров являются наиболее эффективными, они позволяют обеспечить концентрацию взвешенных веществ после очистки до 20 мг/м^3.

При подготовке шихты наибольшее распространение получила мокрая уборка, что обусловлено взрывоопасными свойствами угольной пыли. При сухой уборке целесообразно использовать централизованные пылесосные установки с водокольцевыми вакуум-насосами

НДТ 5.3.3 Бездымная загрузка печей

НДТ 5.3.3 является составной частью энергоэффективной и экологически безопасной технологии производства кокса в коксовых печах и состоит в организации системы насыпной загрузки коксовой печи шихтой, предотвращающей выбросы угольной пыли и газа, происходящие в результате вытеснения образующейся при контакте угля с раскаленными стенками печной камеры пылегазовой смеси из объёма загружаемой печи через зазоры между телескопом углезагрузочной машины (УЗМ) и периметром загрузочного люка, путем реализации одной, нескольких или совокупности мер, указанных в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Описание НДТ 5.3.3 по снижению выбросов при загрузке печей

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Уплотнение посадки телескопов углезагрузочной машины на загрузочные люки	
б	Применение инжекции газов загрузки в газосборники (бездымная загрузка)	Применение на две стороны при двух газосборниках или вспомогательном отсосе через колено и подсводовое пространство соседней печи при одном газосборнике
в	Поочерёдный выпуск шихты из бункеров УЗМ с оставлением в подсводовом пространстве возможности отведения газов загрузки на две стороны печи	
г	Оборудование планирных лючков уплотняющими устройствами для предотвращения выбросов при планировании угольной шихты	

Эффективность НДТ определяется давлением инжекционного агента (пара или воды) в системе паро- и гидроинжекции. Технические показатели для НДТ 5.3.3 приведены в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Технические показатели для НДТ 5.3.3

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Давление пара на форсунках при пароинжекции	МПа	0,7–0,9
Давление воды на форсунках при гидроинжекции	МПа	2–3

Основным недостатком метода пароинжекции с экологической точки зрения является увеличение количества загрязненной аммиачной воды в результате конденсации пара, израсходованного для отсоса газов загрузки. Применение технологии гидроинжекции позволяет уменьшить объем образующихся загрязненных вод. Недостатком этого метода является необходимость регулярной чистки стояков, колена которых зарастают отложениями в течение 7–10 суток.

5.3.4 Технология трамбования шихты

Угольную шихту уплотняют в трамбовочной камере с размерами, несколько меньшими, чем размеры камеры коксования, и загружают на поддоне в коксовую печь с машинной стороны. Трамбованный угольный пирог имеет плотность 1–1,15 т/м^3, что значительно выше плотности шихты, загружаемой в печи насыпью при традиционной технологии (0,75 т/м^3). В связи с этим в шихте можно увеличить долю слабоспекающихся углей на 15–20 % и получить кокс более высокого качества.

Комплекс трамбования шихты включает основные машины, обеспечивающие работу данной технологии: трамбовочно – загрузочно – выталкивающая машина (ТЗВМ) и машина по отсосу и сжиганию газов загрузки (ОСЗГ).

ТЗВМ выполняет следующие функции:

- снятие двери с коксовой печи, ее очистку и установку;
- очистку боковых поверхностей, рам и зеркал рам;
- выталкивание готового коксового пирога;
- изготовление трамбованного угольного пирога;
- ввод трамбованного угольного пирога;
- удаление просыпей угля, накопившихся при трамбовании угольного пирога;
- уборку и зачистку рабочей площадки от небольших количеств просыпей и обломков угля и кокса со сбросом их на транспорт;
- обеспечение возможности аварийного завершения: окончание рабочих операций посредством вспомогательных механизмов резервного или ручного привода;
- поддержание положительной температуры для угольной шихты в бункере машины и камере трамбования;
- очистку пода камеры коксования при выталкивании кокса.

Скорость передвижения ТЗВМ – 70 м/мин, объем наполнения машинного бункера – 204 м^3, что соответствует примерно 163 т угля (достаточно для 4–5 наполнений печи); установленная мощность трансформаторов – 3050 кВт; мощность, потребляемая машиной с отоплением зимой (до -40 °С) – 21 671 кВт/ч, без отопления – 13 550 кВт/ч.

При загрузке трамбованной шихты в печи создается разрежение инжекцией в газосборник и отсосом устройствами на ОСЗГ, передвигающейся по верху батареи, что снижает выбросы при загрузке коксовой батареи.

Машина ОСЗГ выполняет операции по отсосу газов загрузки, их дожигу в камере сгорания, разбавлению наружным воздухом и передаче через коллектор бездымной загрузки на очистку. Машина оборудована механизмами очистки газоотводящей арматуры от смолы и графита. Объем отсасывания: загрузочный газ – за камерой сгорания – 21 000 нм^3/ч, за кондиционированием – 51 000 нм^3/ч.

Технология производства кокса с трамбованием угольной шихты является распространенной: в Китае, где в настоящее время по данной технологии работают более 360 батарей общей мощностью более 80 млн т/год кокса.

В России технология трамбования применяется на батарее № 5 ОАО «Алтай-кокс» и батарее № 11 ПАО «Северсталь (1-й блок).

НДТ 5.3.5 Уменьшение выбросов от систем обогрева коксовых батарей

Дымовая труба коксовой батареи является основным источником организованных выбросов загрязняющих веществ на коксовой батарее. Основными загрязняющими веществами, содержащимися в продуктах горения, являются газы, содержащие CO, NO_x, SO_2 и твердые взвешенные вещества в виде сажи. Сажа в продуктах горения образуется в результате неполного сгорания в отопительных простенках сырого коксового газа, фильтрующегося через неплотности в стенах камер коксования (трещины, очаговые разрушения).

НДТ 5.3.5 является составной частью энергоэффективной и экологически безопасной технологии производства кокса в коксовых печах и заключается в

реализации одной, нескольких или совокупности мер, представленных в таблице 5.16, гарантирующих сокращение выбросов загрязняющих веществ с продуктами горения (CO, NO_x, SO_2 и твёрдые взвешенные вещества в виде сажи, и др.).

Таблица 5.16 – Описание НДТ 5.3.5 по снижению выбросов от систем обогрева коксовых батарей

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Стабильная ритмичная работа батареи	
б	Систематический контроль состояния кладки и своевременное выполнение текущих ремонтов (торкретирование, керамическая сварка, ремонт с заменой части огнеупоров в головках печей)	
в	Применение рециркуляции продуктов горения в системе обогрева печей	При технической возможности
г	Ступенчатый подвод воздуха в вертикалы	При технической возможности
д	Снижение заданных температур коксования	При технической возможности

Таблица 5.17 – Отраслевые показатели выбросов в атмосферу для НДТ 5.3.5

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Сажа	г/т	≤350
Оксид углерода	г/т	≤5500
Оксиды азота	г/т	≤700
Диоксид серы	г/т	≤1200

Снижение выбросов NO_xс дымовыми газами может достигаться главным образом уменьшением температуры факела горения в отопительной системе коксовых печей при применении НДТ 5.3.5 в – НДТ 5.3.5 д. Выполнение НДТ 5.3.5 д возможно при уменьшении толщины греющей стенки, позволяющем достичь снижения температурного градиента по толщине кладки стен.

Снижение выбросов SO_2 с дымовыми газами батареи достигается очисткой отопительного коксового газа от сернистых соединений (в основном от H_2S). Практически глубина очистки коксового газа достигает уровня 0,5 г/нм^3, что считается достаточным для уменьшения выбросов SO_2 в атмосферу при сжигании коксового газа как топлива.

На коксохимических предприятиях России используются малосернистые угли и, как показывает практика подфакельных измерений и расчетов загрязнения атмосферного воздуха, проблема уменьшения выбросов SO_2 неактуальна для обеспечения экологической безопасности производства.

НДТ 5.3.6 Технология коксования с минимальными газовыделениями

НДТ 5.3.6 является составной частью энергоэффективной и экологически безопасной технологии производства кокса в коксовых печах и заключается в реализации одного, нескольких или совокупности мероприятий, указанных в таблице

5.18, для исключения повышенных газовыделений загрязняющих веществ в атмосферу (неорганизованных выбросов) через неплотности уплотняющих устройств (двери, люки, крышки стояков), особенно критичных в период интенсивного газовыделения при коксовании.

Таблица 5.18 – Описание НДТ 5.3.6 по снижению неорганизованных выбросов от уплотняющей арматуры коксовых печей

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Обеспечение свободного прохода газа в подсводовом пространстве печи	
б	Герметизация дверей, люков и стояков коксовых печей	
в	Обеспечение надёжной работы коксовой батареи	
г	Квалифицированное обслуживание коксовых печей	
д	Применение системы индивидуального регулирования давления газа в печных камерах	

Таблица 5.19 – Отраслевые показатели выбросов в атмосферу для НДТ 5.3.6

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Наличие газовыделений из дверей, люков, стояков коксовых печей	Визуальные наблюдения по методике [143]	Степень газоплотности не менее 95 %

Основным средством предупреждения выбросов из дверей печных камер, стояков и загрузочных люков является эффективная герметизация неплотностей.

Для обеспечения газоплотности дверей коксовых печей рекомендуется:

- применение дверей с гибкими подпружиненными рамками;
- применение дверей с мембранной уплотняющей рамкой;
- тщательная очистка дверей и дверных рам от смолистых отложений при каждой выдаче кокса;
- наличие в конструкции дверей газоотводящего канала, способствующего уменьшению давления газа за уплотняющей рамкой.

НДТ 5.3.7 Технологии беспылевой выдачи кокса

НДТ 5.3.7 является составной частью энергоэффективнойи экологически безопасной технологии производства кокса в коксовых печах и предусматривает внедрение устройства, обеспечивающего локализацию неорганизованных выбросов, образующихся за счет конвективных потоков атмосферного воздуха над раскаленным коксом во время его выдачи из печи при разрушении коксового пирога и рассыпании его в вагоне, отводом и очисткой газопылевого облака, описанного в таблице 5.20.

Существует несколько вариантов систем беспылевой выдачи кокса: пылеотсасывающие зонты над коксонаправляющей и тушильными вагонами;

перекрытия над рельсовым путем тушильного вагона; комбинированные системы беспылевой выдачи и тушения кокса.

Признание получили системы с устройствами зонтов, отсосом и очисткой газов выдачи:

- сооружение зонта и пылеулавливающих устройств непосредственно на двересъемной машине (локальные УББК);

- системы, включающие зонт над двересъемной машине, стационарный коллектор для отвода отсасываемой пылегазовоздушной смеси и пылеочистную установку с размещением ее за пределами батареи (стационарные УББК).

Опыт эксплуатации УББК показал, что наиболее эффективным направлением снижения выбросов является сооружение стационарных систем, в этом случае степень локализации пылегазового облака, возникающего в процессе падения кокса в тушильный вагон, может достигать 95–98 % [144].

Использование для очистки запыленного воздуха рукавных фильтров обеспечивает содержание пыли на выходе в атмосферу не более 30 мг/м^3 при расходе запыленных газов 500–1000 м^3/т кокса.

Таблица 5.20 – Описание НДТ 5.3.7 по снижению неорганизованных выбросов при беспылевойвыдаче кокса

№	Метод / оборудование	Примечание
	Установка беспылевой выдачи кокса с локализацией выбросов, отсосом и очисткой аспирационного воздуха от пыли	Стационарные установки применяются на новых батареях, локальные могут сооружаться на действующих батареях

Таблица 5.21 – Отраслевые показатели выбросов в атмосферу для НДТ 5.3.7

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Взвешенные вещества (пыль)	г/т	≤30 (при 95 % степени локализации пылегазовогопотока) ≤100 (при 85 % степени локализации пылегазового потока)

Для очистки выбросов от пыли на локальных установках применяются как мокрые, так и сухие пылеуловители. Применение мокрых аппаратов [31] связано с необходимостью подвода воды и отвода шлама, что в условиях размещения на двересъемной машине достаточно проблематично. В качестве надежных сухих пылеуловителей могут быть рекомендованы конические циклоны [146, 147], устойчивые к абразивному износу и способные обеспечить высокую эффективность при приемлемых энергозатратах.

НДТ 5.3.8 Снижение выбросов при тушении кокса

НДТ 5.3.8 состоит в минимизации выбросов загрязняющих веществ в составе паровоздушной смеси, образующейся в результате испарения воды, используемой при тушении, от контакта с раскаленным коксом, за счет реализации одного из перечня мероприятий, представленных в таблице 5.22.

Таблица 5.22 – Описание НДТ 5.3.8 по снижению выбросов при тушении кокса

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Отбойные перегородки в башне тушения кокса	Для башен новой конструкции
б	Комбинированное тушение кокса	Для новых батарей
в	Двухярусное мокрое тушение	Для новых батарей
г	Сухое тушение кокса	Для новых батарей

Таблица 5.23 – Отраслевые показатели выбросов в атмосферу для НДТ 5.3.8 [128]

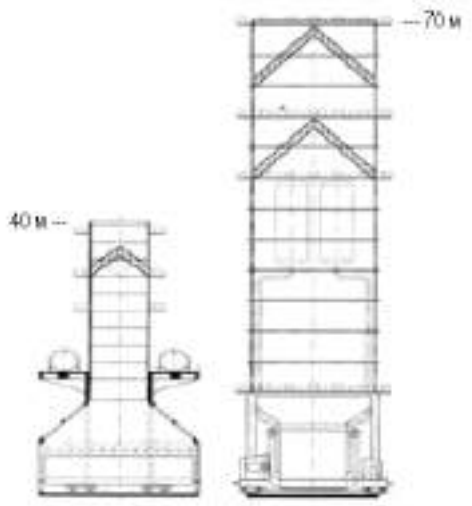
Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Взвешенные вещества (пыль) при обычном мокром тушении, башня с отбойниками	г/т кокса	≤70
Взвешенные вещества (пыль) при комбинированном мокром тушении	г/т кокса	≤50
Взвешенные вещества(пыль) при двухярусном мокром тушении	г/т кокса	≤20
Взвешенные вещества (пыль) при сухом тушении (от свечей УСТК*)	г/т кокса	≤50
Оксид углерода от свечей УСТК*	г/т кокса	≤4600
* УСТК – установка сухого тушения кокса.		

Оптимальные решения включают использование пластинчатых отбойных перегородок и усовершенствованную конструкцию тушильной башни. Необходимая минимальная высота башни должна быть не менее 30 м, чтобы обеспечить условия для достаточной тяги.

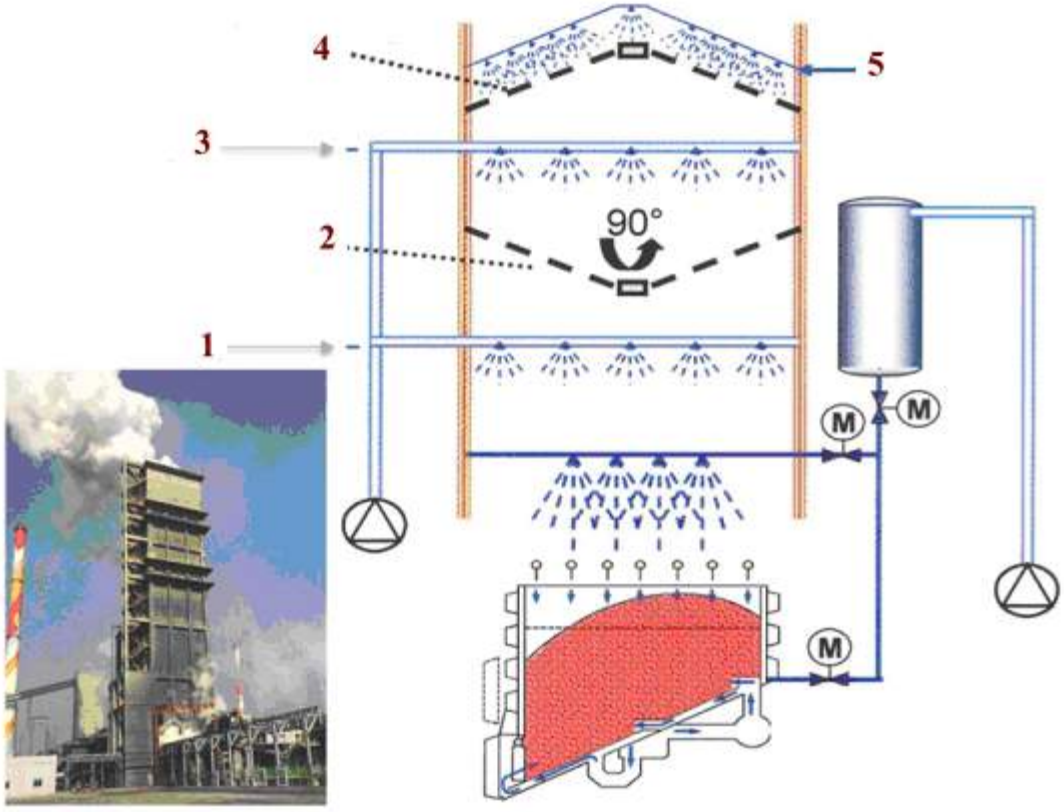
Расход воды при комбинированном тушении кокса уменьшается до 2–2,5 $м^3$/т. За счет температуры существенно (в 2–3 раза) возрастает объем водяного пара, поэтому требуется увеличение высоты тушильной башни. Башня для комбинированного тушения кокса имеет двойные перегородки и достигает высоты 70 метров, что значительно выше обычных 40–метровых башен (рис. 5.1).

При двухярусном тушении для конденсации водяного пара и пылеподавления выбросов производится впрыск воды в тушильную башню на двух уровнях и улавливания образующихся капель и пыли специальными устройствами (рис. 5.2).

Выбросы твёрдых веществ в процессе мокрого тушения без проведения мероприятий по их снижению составляют около 300 г/т кокса. С помощью описанных мероприятий их можно снизить до 25 г/т кокса (при содержании твёрдых веществ в тушильной воде менее 50 мг/л).



1 – для обычного тушения с подачей воды сверху;
2 – для комбинированного тушения с подачей воды сверху и снизу
Рисунок 5.1 – Конструкции тушильных башен



1 – первый уровень орошения; 2 – система 1 отбойников (нержавеющая сталь); 3 – второй уровень орошения; 4 – система 2 отбойников (пластик); 5 – очистка отбойников подпиточной водой, М – регулирующие клапаны
Рисунок 5.2 – Схема и внешний вид тушильной башни с двухярусным орошением

НДТ 5.3.9 Уменьшение выбросов при сортировке и транспортировке кокса

НДТ 5.3.9 заключается в минимизации выбросов при сортировке и транспортировке кокса за счет реализации одного, нескольких или совокупности мероприятий, рекомендованных в таблице 5.24.

Таблица 5.24 – Описание НДТ 5.3.9 по снижению выбросов при сортировке и транспортировке кокса

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Окожушивание пылевыделяющего оборудования, рекомендуются двойные щелевые аспирационные укрытия [160]	
б	Достаточная аспирация объектов пылевыделения	
в	Обеспыливание аспирационного воздуха с применением сухих методов и аппаратов	Для новых предприятий

Таблица 5.25 – Отраслевые показатели выбросов в атмосферу для НДТ 5.3.9 [128]

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Взвешенные вещества (пыль) при обработке кокса мокрого тушения	г/т кокса	≤40
Взвешенные вещества (пыль) при обработке кокса сухого тушения	г/т кокса	≤400

Специфические свойства коксовой пыли (абразивность, низкая смачиваемость и др.) обусловливают применение для ее улавливания сухих методов и аппаратов [147]. Рекомендуются высокоэффективные конические циклоны и рукавные фильтры. Конические циклоны устойчивы к абразивному износу. Надежность работы рукавных фильтров обеспечивается предварительным напылением на ткань рукавов тонкодисперсных инертных порошков (доломит, известняк и др.).

НДТ 5.3.10 Охлаждение и очистка коксового газа от смолы, аммиака, бензольных углеводородов

НДТ 5.3.10 заключается в охлаждении и очистке коксового газа от смолы, аммиака, нафталина и бензольных углеводородов с целью снижения выбросов от систем отопления коксовых батарей и других энергетических объектов металлургического производства при использовании коксового газа при последовательной реализации технологий, представленных в таблице 5.26.

Таблица 5.26 – Описание НДТ 5.3.10 по снижению выбросов приохлаждению и очистке коксового газа

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Охлаждение и очистка коксового газа от смолы	
б	Очистка коксового газа от аммиака сатураторным и бессатураторным методом	
в	Очистка коксового газа от аммиака круговым фосфатным способом (КФС)	При технико-экономической целесообразности
г	Очистка коксового газа от нафталина и бензольных углеводородов	

Ориентировочный состав коксового газа после очистки приведен в таблице 5.27.

Таблица 5.27 – Ориентировочный состав коксового газа после очистки согласно НДТ 5.3.10

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Оксид углерода CO	%	≤ 7
Кислород O_2	%	≤1,5
Диоксид углерода CO_2	%	≤3,0
Водород H_2	%	≤ 60
Азот N_2	%	≤4,5
Метан CH_4	%	≤ 25
Углеводороды C_mH_n	%	≤2,0
Аммиак NH_3	%	следы
Бензол C_6H_6	%	следы
Цианистый водород HCN	%	следы
Нафталин $C_{10}H_8$	%	следы
Сероводород H_2S	г/нм^3	≤ 3,5

Очистка коксового газа от смолы и водяных паров производится в отделении конденсации, где происходит первичное охлаждение летучих парогазовых продуктов, выходящих из камеры коксования с температурой 700–800 °С, до 30–40 °С.

Улавливание аммиака из коксового газа на большинстве предприятий производят путем контакта газа с серной кислотой в сатураторах барботажного типа с получением сульфата аммония. В ряде случаев вместо сатураторов применяют более интенсивное оборудование – форсуночные скрубберы-абсорберы.

В процессе конечного охлаждения коксового газа происходит конденсация содержащихся в нем водяных паров и очистка от нафталина. Очистка от бензольных углеводородов производится в бензольных скрубберах, орошаемых поглотительным маслом.

На различных предприятиях структура химических производств, типы реализованных процессов, очередность и количество технологических стадий, как правило, различаются. Это зависит от расположения источников исходного сырья и перерабатывающих установок, от экономической целесообразности использования продукции, а также свойств перерабатываемых углей (в т.ч. от содержания в них серы, азота и др.).

Отраслевые показатели для НДТ 5.3.10 в зависимости от применяемой технологии охлаждения и очистки коксового газа могут быть установлены стандартами организации или национальными стандартами.

НДТ 5.3.11 Снижение выбросов от емкостного оборудования при охлаждении и очистке коксового газа

НДТ 5.3.11 состоит в минимизации (предотвращении) неорганизованных выбросов в атмосферу от емкостного оборудования (воздушники сборников, мерников, хранилищ жидкостей) посредством реализации одной, нескольких или совокупности мер, предусмотренных в таблице 5.28.

Таблица 5.28 – Описание НДТ 5.3.11 по снижению выбросов от емкостного оборудования

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Уменьшение количества фланцев за счет сварки трубных соединений.	
б	Использование герметичных уплотнений для фланцев и клапанов	
в	Использование насосов с эффективными уплотнениями (например, магнитные насосы)	
г	Герметизация газового пространства емкостей с жидкими продуктами	
д	Применение дыхательных клапанов	
е	Предотвращение выбросов из дыхательных клапанов емкостного оборудования путем сбора газов в коллекторные системы и направлением их в трубопровод коксового газа	При реконструкции [145]

Таблица 5.29 – Примерные показатели выбросов в атмосферу для мероприятий НДТ 5.3.11

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)*
Аммиак	г/т кокса	<40,0
Сероводород	г/т кокса	<8,0
Цианистый водород	г/т кокса	<5,5
Фенол	г/т кокса	<4,5
Бензол	г/т кокса	<35,5
Толуол	г/т кокса	<11,0
Ксилол	г/т кокса	<6,0
* без применения метода "е"		

Наилучший эффект (>95 %) достигается применением коллекторных систем [161] сбора и транспортирования выбросов из воздушников емкостного оборудования с использованием внутренних газоперетоков между емкостями с различными режимами работы для сокращения или полного прекращения выброса в атмосферу (метод "е").

Наиболее эффективным способом утилизации паров из коллекторной системы является подключение к газопроводу прямого коксового газа перед первичными газовыми холодильниками.

Отраслевые показатели для выбросов от емкостного оборудования в зависимости от технологической конфигурации предприятия, его производительности, применяемых технологий очистки коксового газа, наличия сопутствующих производств химической продукции, типов резервуаров и т. д. могут быть установлены стандартами организации или национальными стандартами.

НДТ Технологии предотвращения загрязнения водных объектов

НДТ 5.3.12 Использование очищенных сточных вод в производстве

НДТ 5.3.12 состоит в организации водооборотных циклов с использованием всех видов сточных вод (производственных, ливневых, шламовых) с целью уменьшения нагрузки на БХУ (сокращение объема отведения) и создания максимально замкнутой системы водоснабжения, а в перспективе – полностью бессточного коксохимического производства посредством реализации одного, нескольких или совокупности мероприятий таблицы 5.30.

Таблица 5.30 – Описание НДТ 5.3.12 по использованию очищенных сточных вод в производстве

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Создание системы сбора и отведения условно чистых и поверхностных стоков с территории предприятия с прекращением сброса в промливневую канализацию химзагрязненных стоков	При технической возможности
б	Реконструкция накопителей поверхностных стоков с организацией возможности их посекционной работы и удаления шлама	При технической возможности
в	Создание системы сбора и возврата конденсатов пара	
г	Напорная подача фенольных стоков на БХУ	При технической возможности
д	Прекращение сброса шламовых вод от систем мокрого пылеулавливания	При технической возможности
е	Создание замкнутой системы водооборота	Для новых предприятий

Таблица 5.31 – Отраслевые показатели для НДТ 5.3.12

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Доля повторного использования водыводы на производственные нужды в системе замкнутого водооборота	%	95

Одним из возможных решений по использованию стоков КХП после их очистки на БХУ является подпитка оборотных систем коксового производства взамен технической воды.

При реализации НДТ возможно создание полностью бессточного коксохимического производства, что внедрено на ПАО «Кокс» и ОАО «Алтай-кокс».

НДТ Технологии утилизации отходов коксохимического производства

НДТ 5.3.13 Технология утилизации отходов

НДТ 5.3.13 заключается в использовании отходов производства во внутреннем рециклинге при осуществлении одной, нескольких или совокупности мер, показанных в таблице 5.32.

Таблица 5.32 – НДТ 5.3.13 по утилизации отходов производства

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Подача фусов в шихту	
б	Подача угольной и коксовой пылей в шихту	При экономической целесообразности
в	Подача жидких отходов в шихту	
г	Технология коксования отходов в коксовых печах	

Метод присадки отходов к угольной шихте наиболее прост и универсален и в настоящее время рекомендуется как основной. Известно внедрение его на АО «ЕВРАЗ НТМК», АО «ЕВРАЗ ЗСМК», АО «Уральская Сталь», ПАО «Кокс», ОАО «Алтай-кокс», ПАО «Северсталь».

Для коксования отходов в коксовых печах пригодны твердые и жидкие отходы: угольная пыль, коксовая пыль, фусы, кислая смолка, полимеры бензольного отделения, масла первичных отстойников биохимустановки и другие.

Технология коксования отходов в коксовых печах применяется на зарубежных заводах.

В соответствии с обобщенными отраслевыми характеристиками подпроцессов производства кокса и наиулчших технических решений и практик, выявленных, в том числе при анкетировании предприятий, представленными в разделе 5.3, сформированы технологические показатели производства кокса (приложение В).

5.4 Наилучшие доступные технологии производства чугуна

НДТ 5.4.1 Технология производства чугуна в доменных печах различного объема, работающих на комбинированном дутье, с использованием металлургического кокса и применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.4.2 – НДТ 5.4.6

НДТ 5.4.2 Технологии, направленные на улучшение общих показателей производства чугуна, обеспечивающие снижение потерь ресурсов, образование эмиссий и отходов (таблица 5.33)

НДТ 5.4.2.1 – Технологии, направленные на снижение потерь железа при производстве чугуна (таблица 5.33)

Таблица 5.33 – Технологии, направленные на снижение потерь железа при производстве чугуна

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Учет потерь Fe и снижение потерь железа в технологической цепочке АГП-ДП	
в	Стабилизация потоков железорудных материалов и кокса (один кокс, агломерат, окатыш – одна доменная печь).	
г	Загрузка скрапа и металлизованных отходов (металлодобавок)	
д	Загрузка конвертерного шлака (Fe – 15–21 %) в доменную печь	

НДТ 5.4.2.2 Улучшение показателей работы доменной печи за счет использования одного или комбинации методов, приведённых в таблице 5.34, приводящих к увеличению срока службы огнеупоров и холодильников шахты доменной печи с увеличением кампании печи между ремонтами второго и первого разрядов

Таблица 5.34 – Описание НДТ 5.4.2.2

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Оптимизация профиля доменной печи при работе на комбинированном дутье с учётом вдувания ПУТ и свойств проплавляемого сырья	
б	Усовершенствование системы охлаждения шахты печи	При реконструкции
в	Оптимизация матрицы загрузки шихтовых материалов для перераспределения окатышей на стенки шахты и распара и снижения износа	
г	Загрузка титанистых материалов (шлак, окатыши, брикеты, ильменит) для образования гарниссажа в местах износа футеровки горна	
д	Загрузка гарнисажеобразующего материала-шунгит	[148–150]
е	Футеровка внешней стороны медных холодильников частично или сплошно из карбида кремния	При капитальном ремонте 2-ого разряда
ж	Футеровка доменной печи супермикропористыми углеродистыми блоками и защита их керамической чашей	При реконструкции
з	Крупнокерамическая лещадь доменной печи	При реконструкции

НДТ 5.4.2.3 Применение бесконусного роторного загрузочного устройства (БРЗУ) с вынесенным из пространства печи роторным механизмом вращения, что улучшит показатели работы доменной печи, срок службы и ремонтопригодность

НДТ 5.4.2.4 Производство гранулированного доменного шлака на малогабаритной установке придоменной грануляции

Обеспечит минимизацию инвестиционных затрат, снижение операционных затрат, связанных с эксплуатацией чашевого хозяйства, увеличение выхода граншлака по сравнению с обработкой на отдельно стоящих установках по обработке шлака.

НДТ 5.4.2.5 Применение чугуновозных ковшей миксерного типа вместимостью до 500 т чугуна

Обеспечит повышение стойкости футеровки ковшей, увеличение числа наливов, повышение температуры чугуна, поставляемого в сталеплавильный цех.

НДТ 5.4.3 Внедрение систем автоматизированного контроля и управления при использовании одного или комбинации двух и более методов, приведенных в таблице 5.35

Таблица 5.35 – Описание НДТ 5.4.3

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Непрерывные измерения основных параметров производственных процессов для контроля стабильности процесса (расход, давление и температура горячего дутья; температура, давление и состав колошниковых газов; расход природного газа, кислорода, ПУТ и др.)	
б	Использование микропроцессорной техники и АСУ ТП для контроля и регулирования режимов загрузки доменной печи в заданном соотношении компонентов шихты и в зависимости от скорости схода шихты	
в	Периодический отбор проб для контроля состава доменного газа в соответствии с графиком производственного контроля	
г	Отбор проб чугуна на каждом выпуске для контроля качества чугуна	
д	Отбор проб шлака для контроля его состава	
е	Периодический контроль правильности взвешивания компонентов шихты весовыми устройствами	
ж	Периодические замеры выбросов CO и NOx в дымовых газах воздухонагревателей в соответствии с графиком производственного экологического контроля	
з	Непрерывный инструментальный контроль работы и уровня вибрации оборудования для предупреждения возможных отказов оборудования	

НДТ 5.4.4 Технологии, направленные на снижение удельного расхода топлива при производстве чугуна за счет применения одного из методов, приведённых в таблице 5.36 и в составе технологий 5.4.4.1–5.4.4.4

Позволяют обеспечить удельную производительность доменной печи до 2,1–2,4 т/м^{3}сут и удельный расход кокса 340–360 кг/т.

Таблица 5.36 – Описание НДТ 5.4.4

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Технология доменной плавки на подготовленном сырье и комбинированном дутье с расходом природного газа свыше 60 м^3/т чугуна и кислорода до 26–32 %	
б	Технология доменной плавки на подготовленном сырье, комбинированном дутье с вдуванием ПУТ (рисунок 5.3). Расход природного газа 40–80 м^3/ч чугуна, кислорода – до 23–30 %, ПУТ – 80–150 кг/т	

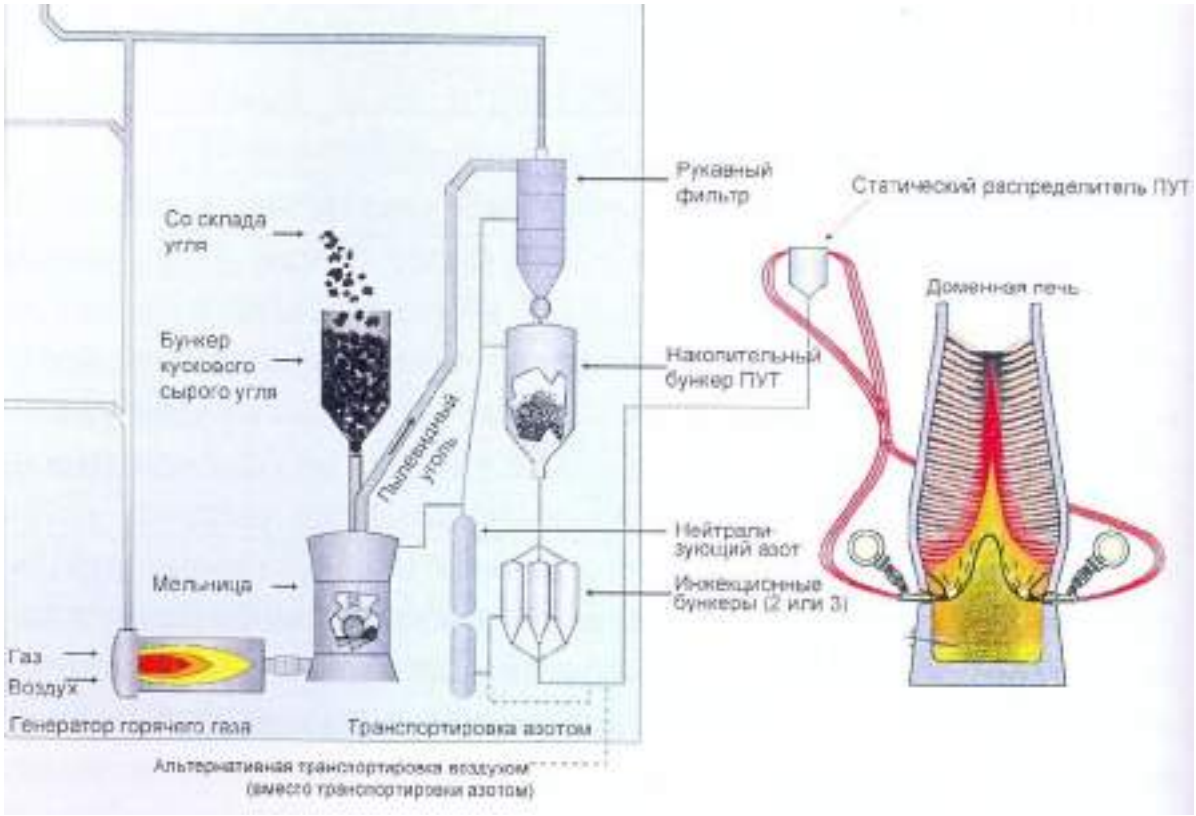


Рисунок 5.3 – Принципиальная схема установки подготовки и подачи ПУТ

Применение технологии вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи позволяет: снизить расход металлургического кокса на производство чугуна на 20–25 %; уменьшить на 20–25 % эксплуатационные расходы и воздействие на окружающую среду при производстве кокса; снизить расход природного газа на производство чугуна на 70–80 %.

НДТ 5.4.4.1. Вдувание газокислородной смеси в фурмы

Положительный эффект предварительного смешивания природного газа с кислородом заключается в повышении коэффициента замены кокса природным газом за счет обеспечения полноты его сжигания в фурме и в фурменной зоне. Безопасное смешивание природного газа с кислородом допускает содержание кислорода в смеси до 25–27 %, а заметное повышение коэффициента замены кокса природным газом (на 0,015–0,03 кг/м^3) происходит уже при содержании кислорода в смеси 7–10 %.

Эффективность применения газокислородной смеси повышается с увеличением расхода природного газа, особенно заметно при расходах его выше 100 м^3/т чугуна, когда коэффициент замены кокса природным газом увеличивается на 0,035–0,07 м^3/кг [151–153].Технология была внедрена на всех печах АО «НТМК» и на ДП № 6 ПАО «НЛМК».

НДТ 5.4.4.2. Подогрев природного газа

Подогрев вдуваемого газа путем использования его вместо воды в качестве охлаждающей среды для охлаждения фланцев колена и сопла фурменного прибора позволяет повысить его температуру на 100–300 °С и сократить время нагрева газа до температуры воспламенения. Суммарное сокращение расхода кокса за счет подогрева природного газа при его расходе на одну фурму 350 м^3/час, составляет около 17 кг/т, из которых только 5 кг/т экономится за счет прихода в печь дополнительного тепла с природным газом, а 12 кг/т – за счет повышения коэффициента замены кокса природным газом (на 0,15 кг/м^3). При более высоких расходах природного газа (более 1250 м^3/ч на одну фурму) и при том же двухстадийном его подогреве температура газа повышается на 100 °С, а расход кокса снижается на 9 кг/т, из которых 3,5 кг/т – за счет снижения потерь тепла с охлаждающей водой, а 5,5 кг/т – за счет повышения коэффициента замены кокса природным газом (на 0,037 кг/м^3).

Подогрев природного газа применяется в настоящее время в ПАО «Северсталь» [154].

НДТ 5.4.4.3. Снижение содержания кремния в чугуне

Технология снижения содержания кремния в чугуне до 0,4 % приводит к снижению расхода кокса и увеличению производительности печи на 1,2 % на каждые 0,1 % снижения кремния в чугуне.

НДТ 5.4.4.4. Загрузка коксового орешка (10–35 мм) в доменные печи для улучшения газопроницаемости железорудных слоев в доменной печи

Загрузка мелких фракций кокса обеспечивает снижение расхода крупного кокса на тонну чугуна.

НДТ 5.4.5 Повышение эффективности использования энергии при производстве чугуна путем использования одного или комбинации из двух и более методов, приведенных ниже (НДТ 5.4.5.1 – НДТ 5.4.5.5)

НДТ 5.4.5.1 Воздухонагреватель конструкции Калугина (ВНК)

Использование ВНК позволяет нагревать дутье до 1350 °С. Гарантийный срок эксплуатации 30 лет. Концентрация CO в отходящем газе не более 50 мг/м^3, концентрация NO_x не более 100 мг/м^3.

НДТ 5.4.5.2 Утилизация тепла дымовых газов воздухонагревателей с использованием теплообменников

Использование теплообменников обеспечивает экономию энергоресурсов за счёт снижения температуры отходящего дыма с 400 °С до 120 °С (рисунок 5.4). Это позволяет

повысить температуру горячего дутья без использования природного газа для нагрева дутья.

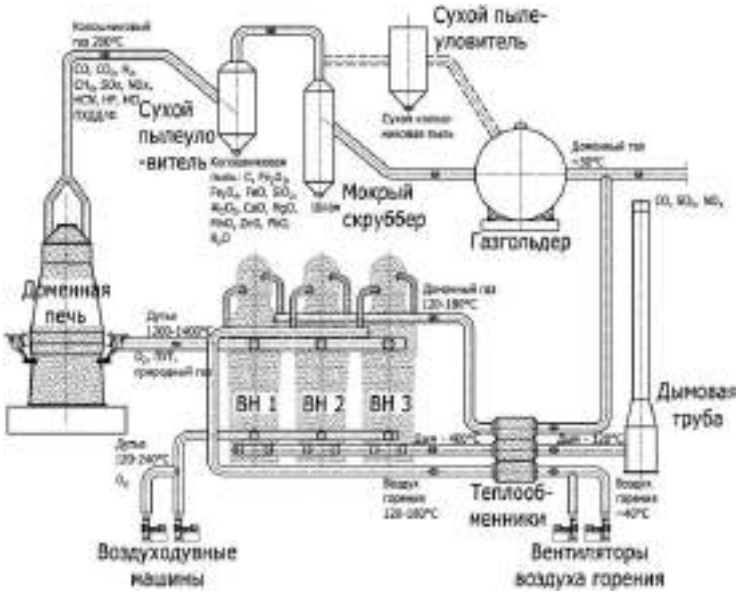


Рисунок 5.4 – Технологическая схема утилизации тепла дымовых газов

НДТ 5.4.5.3 Установка на доменных печах газовых утилизационных бескомпрессорных турбин (ГУБТ) для утилизации избыточного давления колошникового газа

ГУБТ предназначенадля выработки электроэнергии за счет избыточного давления доменного газа. Доменный газ, образующийся при выплавке чугуна, выходит из доменной печи под высоким давлением и после газоочистки по системе трубопроводов поступает на вход турбины. Проходя через проточную часть турбины, доменный газ приводит во вращение ротор турбины, что сопровождается расширением и снижением давления газа. Ротор турбины приводит во вращение генератор, который вырабатывает электроэнергию. Выработанная электроэнергия через повышающие трансформаторы поступает в общую энергосистему комбината, замещая закупку электроэнергии из внешней сети.

Мощность турбин ГУБТ составляет 10–20 МВт.

Применимо для печей объемом свыше 1000 м^3.

НДТ 5.4.5.4 Исключение потерь дутья, обогащенного кислородом, через неплотности воздухопровода и сочленения элементов фурменных приборов

НДТ 5.4.5.5 Применение доменного газа там, где это необходимо и возможно, для различных технологических операций в доменной плавке взамен природного газа (подогрева дутья, сушки желобов чугуна и шлака и т.д).

НДТ 5.4.6 Технологии, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха

НДТ 5.4.6.1 Улавливание, очистка и утилизация доменного газа из межконусного пространства доменной печи

Исключается эмиссия неочищенного доменного газа в атмосферу, сокращение выбросов CO, SOx, NOx, HCN.

НДТ 5.4.6.2 Применение эффективных пылеочистных устройств (электрофильтров или рукавных фильтров) для очистки аспирационных выбросов литейных дворов и бункерной эстакады доменных печей

5.5 Наилучшие доступные технологии при производстве стали в конвертерах

НДТ 5.5.1 Технология производства стали в конвертерах методом продувки расплава чугуна техническим кислородом и наведением покровного шлака с целью удаления из расплава металла углерода и вредных примесей с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающая технологии НДТ 5.5.2 – НДТ 5.5.6

НДТ 5.5.2 Технология выплавки стали в конвертере методом продувки расплава чугуна техническим кислородом, направленная на обеспечение надлежащего содержания углерода в стали (и соответственно образование пыли и оксида углерода), включающая на альтернативной основе меры, представленные в НДТ 5.5.2.1 – НДТ 5.5.2.3

НДТ 5.5.2.1 Продувка расплава в конвертере сверху (см. рисунок 5.5)

НДТ состоит в применении продувки расплава в конвертере кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму с промежуточным наклоном конвертера для отбора проб и измерения температуры расплава (см. таблицу 5.37).

Таблица 5.37 – Описание НДТ 5.5.2.1

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Оптимальная шихтовка конвертерной плавки	
б	Оптимальный расход шлакообразующих материалов, в том числе извести	
в	Оптимальный расход кислорода на продувку расплава	
г	Отбор проб и измерение химического состава и температуры расплава	
д	Контроль состояния газоотводящего тракта, системы улавливания отходящих газов с мокрой газоочисткой.	

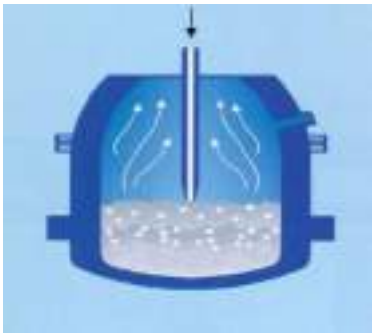


Рисунок 5.5 – Продувка расплава в конвертере сверху

НДТ 5.5.2.2 Комбинированная продувка в конвертере (сверху и донная) (см. рисунок 5.6)

НДТ состоит в применении комбинированной продувки расплава в конвертере кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму и снизу подачей нейтрального газа (азот, аргон) через донные блоки с промежуточным наклоном конвертера для отбора проб и измерения температуры расплава (см. таблицу 5.38).

Таблица 5.38 – Описание НДТ 5.5.2.2

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Оптимальная шихтовка конвертерной плавки	
б	Оптимальный расход шлакообразующих материалов, в том числе извести	
в	Оптимальный расход кислорода на продувку расплава	
г	Оптимальный расход нейтрального газа (азот, аргон) через донные блоки	
д	Отбор проб и измерение химического состава и температуры расплава	
е	Промежуточная повалка конвертера для отбора проб. Получение информации о содержании углерода в расплаве	
ж	Выпуск стали из конвертера через сталевыпускное отверстие в сталеразливочный ковш	
з	Раздувка шлака на футеровку конвертера в виде защитного гарнисажа	
и	Слив шлака через горловину конвертера в шлаковую чашу	
к	Контроль состояния газоотводящего тракта, системы улавливания отходящих газов с мокрой газоочисткой	

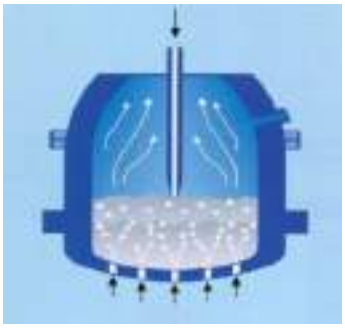


Рисунок 5.6 – Комбинированная продувка в конвертере (сверху и донная)

НДТ 5.5.2.3 Выплавка стали с рекуперацией тепла газов, образующихся при продувке (стационарный дуплекс-конвертер)

НДТ состоит в интенсивной продувке кислородом ванны с чугуном и ломом, и синхронизации технологических процессов в двух ваннах по использованию тепла отходящих газов, выделяющихся при продувке, для нагрева шихты (металлолом, добавочные материалы) в соседней ванне с улучшением показателей энергоэффективности, увеличением производительности процесса, обеспечением высокого качества выплавляемой стали, сокращением потребления флюсовых материалов и эмиссии пыли в атмосферу (рукавные фильтры оригинальной конструкции с горизонтальным расположением рукавов).

НДТ 5.5.3 Технологии, направленные на улучшение общих показателей выплавки стали, обеспечивающие стабильность процесса, получение качественных характеристик готовой стали, сокращение расхода и потерь сырья, снижение образования эмиссий в атмосферу и отходов путем реализации одного или комбинации мероприятий, представленных в таблице 5.39

Таблица 5.39 – Описание НДТ 5.5.3

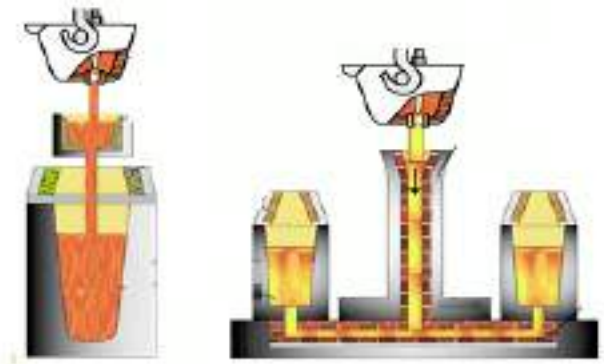
№	Метод / оборудование	Примечание
а	Поддержание стабильного химического состава жидкого чугуна	
б	Обработка жидкого чугуна десульфураторами в ковше на установке десульфурации чугуна (УДЧ)	
в	Применение эффективных десульфураторов (гранулированный магний, порошкообразная известь, сода, карбид кальция или смеси нескольких реагентов)	
г	Внепечная обработка расплава стали (на печи-ковше, вакууматоре)	При реконструкции
д	Применение низкокремнистого чугуна	При технической возможности
е	Применение новых шестисопловых фурм для продувки расплава металла в конвертере	При технической возможности
ж	Применение специальных устройств (перегородки, рассекатели и др.) в промежуточных ковшах МНЛЗ для максимального удаления неметаллических включений	При технической возможности

Окончание таблицы 5.39

№	Метод / оборудование	Примечание
з	Выпуск стали из конвертера в сталеразливочный ковш при оптимальной температуре расплава (рисунок 5.7)	
и	Разливка стали в изложницы (рисунок 5.8)	В случае применения такой технологии



Рисунок 5.7 – Выпуск стали из конвертера в сталеразливочный ковш



Слева – наполнение изложницы сверху; справа – наполнение изложницы с помощью сифона

Рисунок 5.8 – Разливка стали в изложницы

НДТ 5.5.4 Внедрение систем автоматизированного контроля и управления плавкой стали в конвертере, в том числе для увеличения производительности конвертера и минимизации эмиссий и отходов,включая технологии НДТ 5.5.4.1 – НДТ 5.5.4.3

НДТ 5.5.4.1 Выпуск стали из конвертера на основе информации технических устройств или сенсорных систем по анализу отходящих газов

НДТ состоит в выпуске расплава из конвертера на основе информации технических устройств или сенсорных систем по анализу отходящих газов без промежуточного наклона конвертера для отбора проб.

НДТ 5.5.4.2 Электромагнитное перемешивание стали в кристаллизаторе МНЛЗ

НДТ состоит в гомогенизации расплава по температуре, интенсификации удаления неметаллических включений, что позволяет увеличить количество плавок, разливаемых за одну серию.

НДТ 5.5.4.3 Установка откатных экранов шлаковой защиты конвертера

НДТ состоит в обеспечении герметичности закрытия проема конвертера.

НДТ 5.5.5 Технологии, направленные на повышение ресурсо- и энергоэффективности конвертерного производства, включающие НДТ 5.5.5.1 – НДТ 5.5.5.2

НДТ 5.5.5.1 Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)

НДТ состоит в применении технологии непрерывной разливки жидкой стали на МНЛЗ с последующим затвердеванием стали в кристаллизаторе установленной толщины и ширины и последующей порезкой непрерывно-литых слитков на мерные длины (см. рисунок 5.9).

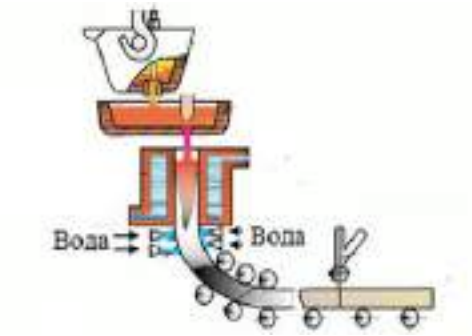


Рисунок 5.9 – Разливка стали на МНЛЗ

НДТ 5.5.5.2 Утилизация тепла отходящих газов в котле-утилизаторе

НДТ состоит в использовании химической и физической энергии отходящего конвертерного газа для производства пара.

Температура конвертерного газа на уровне горловины конвертера составляет 1500–1700°С. Образовавшийся конвертерный газ в процессе продувки кислородом удаляется из конвертера через газоотводящий тракт. На рисунке 5.10 представлена принципиальная схема газоотводящего тракта сталеплавильного конвертера.

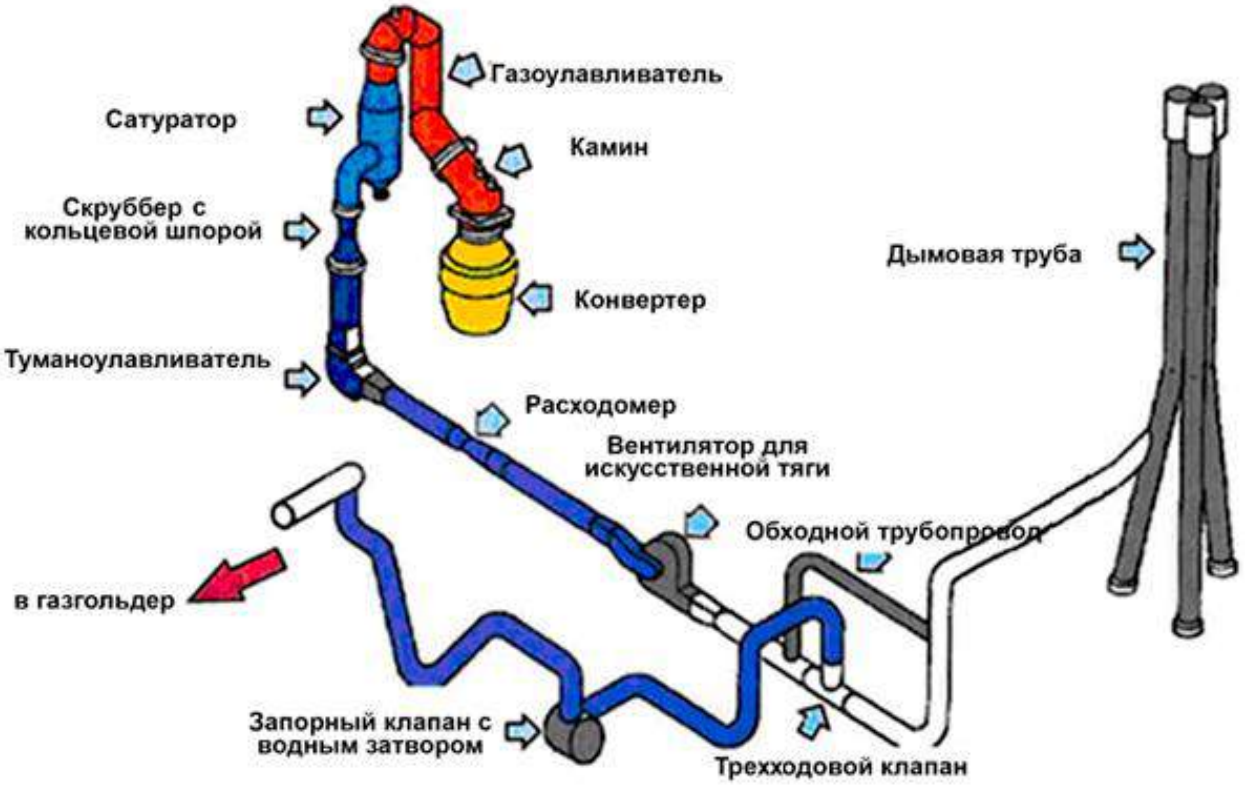


Рисунок 5.10 – Принципиальная схема газоотводящего тракта сталеплавительного конвертера

Для утилизации тепла конвертерного газа и его охлаждения в газоотводящем тракте устанавливают котел-охладитель, который производит пар для использования на нужды металлургических предприятий. Газоотводящий тракт заканчивается дымовой трубой, в оголовке которой устанавливается система дожигания конвертерного газа.

НДТ 5.5.6 Технологии, направленные на снижение негативного воздействия на атмосферный воздух, за счет применения эффективного пылегазоочистногооборудования, показанного в таблице 5.40

Таблица 5.40 – Описание НДТ 5.5.6

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Применение усовершенствованных систем улавливания и эвакуации газопылевых выбросов (типа «дог хауз», вытяжных зонтов, эффективных укрытий)	
б	Применение оснащения для улавливания диффузных «видимых» выбросов	При реконструкции и новом строительстве
в	Применение рукавных фильтров для очистки аспирационных выбросов	
г	Применение скрубберов и скрубберов Вентури для очистки технологических газов	
д	Применение электрофильтров для очистки технологических газов	

5.6 Наилучшие доступные технологии производства стали в электродуговых печах

НДТ 5.6.1 Технология производства стали в электродуговых печах различной мощности с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических приемов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.6.2 – НДТ 5.6.7

НДТ 5.6.2 Технология выплавки стали в электродуговых печах с удельной мощностью источника питания 0,8–1,0 МВА/т и активной продувкой кислородом, обеспечивающая снижение потребления электрической энергии, уменьшение угара металла, повышение качества металла путем применения одного или комбинации методов, перечисленных в таблице 5.41

Таблица 5.41 – Описание НДТ 5.6.2

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Выплавка стали в электродуговых печах	
б	Выплавка стали в электродуговых печах с регулируемой защитной атмосферой	
в	Выплавка стали в электродуговых печах в широком интервале давлений газовой фазы (от разрежения до повышенного давления)	
г	Выплавка стали в электродуговых печах с электромагнитным перемешиванием ванны расплава или продувкой инертным газом	При технической возможности
д	Выплавка стали в электродуговых печах с предварительным подогревом металлошихты	При реконструкции

НДТ 5.6.3 Технологии, направленные на улучшение общих показателей и условий работы при производстве стали в электродуговых печах, обеспечивающие снижение потерь ресурсов, образование эмиссий и отходов путем использования одной или комбинации мер, приведённых в таблице 5.42

Таблица 5.42 – Описание НДТ 5.6.3

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Использование бункерно-транспортерных систем для подачи материалов в электродуговую печь и ковш	
б	Использование пакетированного металлолома	При экономической целесообразности
в	Использование брикетированной стружки	При экономической целесообразности
г	Использование металлолома, очищенного от неметаллических загрязнений и отделяемых цветных примесей путем грохочения, отмагничивания и гравитационного разделения	При экономической целесообразности

Окончание таблицы 5.42

№	Метод / оборудование	Примечание
е	Использование бесконтактных методов измерения температуры стали	
ж	Использование установок торкретирования при горячем ремонте стен и откосов электродуговой печи	
з	Использование бункерной системы загрузки эркерного выпускного отверстия	

НДТ 5.6.4 Технологии, направленные на снижение удельных расходов сырья и энергии при производстве стали в электродуговых печах, путем применения одной или комбинации методов, представленных в таблице 5.43

Таблица 5.43 – Описание НДТ 5.6.4

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Оставление в печи на подине после выпуска плавки 10–25 % жидкого металла («болото») и части шлака	
б	Использование жидкого чугуна взамен части металлолома	Для интегрированных предприятий
в	Использование металлизованного сырья взамен части металлолома	При экономической целесообразности
г	Технология пенистого шлака	

НДТ 5.6.5 Автоматизация системы управления процессом плавки в электродуговых печах за счёт внедрения АСУ ТП плавкой и качеством металла

Использование систем «машинного зрения», прикладных продуктов типа «советчик сталевара» снижает влияние человеческого фактора и повышает устойчивость технологии. Использование систем, основанных на искусственном интеллекте, для планирования работы электросталеплавильных цехов минимизирует простои ДСП. Использование программных продуктов, компьютеров последнего поколения и датчиков различных систем для регулирования работы дуги и её экранирования позволяет снизить расход энергоресурсов, электродов, продолжительность плавки. Использование систем контроля утечек воды из водоохлаждаемых панелей снижает аварийные простои ДСП.

НДТ 5.6.6 Повышение эффективности использования энергии при производстве стали в электродуговых печах путем применения одного или комбинации двух и более методов, показанныхв таблице 5.44

Таблица 5.44 – Описание НДТ 5.6.6

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Оптимизация электрического режима плавки в начальный период расплавления	
б	Интенсификация плавки с использованием комбинированной продувки и химического тепла (применение газокислородных горелок)	Сокращение потребления энергии до 50 %
в	Применение газокислородных горелок с изменяемым в процессе плавки направлением факела	Сокращение потребления электроэнергии и электродов
г	Применение перемешивания ванны ДСП подачей инертного газа или электромагнитное перемешивание	Сокращение потребления энергоресурсов, кислорода, углерода
в	Одноразовая завалка лома всей плавки одной корзиной вместо нескольких (за счет увеличенного объема ДСП)	При реконструкции печи
г	Использование тепла отходящих газов, образующихся при реализации основных технологических процессов	
д	Уменьшение неорганизованных подсосов воздуха в электродуговую печь	При технической возможности
е	Теплоизоляция объектов или элементов оборудования, функционирующих при высоких температурах, например, элементов газоотводящего тракта и водяного охлаждения	
ж	Повышение давления и температуры воды в контурах охлаждения электродуговой печи и утилизация этого тепла для нужд горячего водоснабжения, отопления, систем кондиционирования воздуха	
з	Подогрев металлолома в завалочных бадьях с использованием природного газа или теплом отходящих газов	
и	Использование систем уплотняемого рабочего окна ДСП с контролируемым выпуском шлака	Типа Condoor и SwingDoor
к	Реконструкция ДСП на телескопический тип	Для уменьшения количества подвалок

НДТ 5.6.7 Технологии, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха путем реализации одной или комбинации мер и методов, показанных в таблице 5.45

Таблица 5.45 – Описание НДТ 5.6.7

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Герметизация печи и газоотводящих трактов	
б	Сокращение времени загрузки и бестоковых периодов	
в	Периодические замеры выбросов CO, SO_2 и NOx с технологическими газами в соответствии с графиком производственного экологического контроля	
г	Периодические замеры выбросов пыли из аспирационных систем в соответствии с графиком производственного экологического контроля	
д	Периодические обследования эффективности газоочистных установок специализированными организациями	
е	Применение газоочистного оборудования (электрофильтров, рукавных фильтров)	
ж	Переход на наливную футеровку стен и днища стальковша	
з	Оборудование стендов сушки футеровки стальковшей системами дожигания фенолов	

5.7 Наилучшие доступные технологии производства ферросплавов

НДТ 5.7.1 Производство ферросплавов углетермическим методом в руднотермических печах

НДТ 5.7.1 состоит во внедрении и последовательном совершенствовании технологии производства ферросплавов в руднотермических печах.

НДТ 5.7.1 относится к производству ферросплавов приведенных в таблице 5.46.

Таблица 5.46 – Производство ферросплавов в руднотермических печах

Наименование ферросплава	Тип печи
Углеродистый ферромарганец (Mn не менее 75 %, C <7 %)	Руднотермическая электропечь
Ферросиликомарганец (Mn не менее 60 %, в товарном силикомарганце, Si до 25,9 %, в передельном не менее 26,0 %)	Руднотермическая электропечь
Углеродистый феррохром (Cr не менее 65 %, 6,5–8 % C)	Руднотермическая электропечь
Ферросиликохром (Si не менее 30–50 %, 20–30 % Cr)	Руднотермическая электропечь
Ферросилиций (содержание кремния 45, 65, 75 и 90 %)	Руднотермическая электропечь
Кремний кристаллический (кремния до 98 %)	Руднотермическая электропечь
Силикокальций (Ca – 30 %, Si ~60 %)	Руднотермическая электропечь
Ферросиликоалюминий (Al % – 15–20 %, 35–45 % Si)	Руднотермическая электропечь

Совершенствование технологии производства ферросплавов в руднотермических печах позволяет сократить расходы электроэнергии и сырьевых материалов, снизить себестоимость производства, снизить эмиссии и образование отходов, для чего используются методы, приведенные в таблице 5.47.

Таблица 5.47 – Описание НДТ 5.7.1

№	Метод / оборудование НДТ	Примечание
1)	Применение полива углеродистых и пылящих шихтовых материалов в складе шихты в летний период	Актуально для складов шихтовых материалов закрытого типа
2)	Применение аспирационных установок на базе рукавных фильтров для подготовки шихтовых материалов, транспортировки, дозировки, загрузки шихты в печь, дробления и фракционирования ферросплава	Требует наличия сжатого воздуха на предприятии, или применения локальных установок сжатого воздуха
3)	Применение полузакрытых руднотермических печей	Низкие потери электроэнергии с индукционным нагревом сводов. Высокий уровень сбора печных газов. Высокая стойкость оборудования. Ограничено планировкой существующих цехов
4)	Применение окускованного (агломерированного) сырья	Снижение выбросов пыли на 10–20 %
5)	Применение каменных углей в качестве заменителя кокса для плавки ферросплава в руднотермических печах	Снижение себестоимости на 5–7 %
6)	Применение АСУ ТП руднотермических печей на базе микропроцессорной техники	Применение возможно для всех типов руднотермических печей
7)	Применение угольной футеровки ковшей для разливки кремнистых сплавов	Стойкость ковшей увеличивается до 3 раз
8)	Применение разливочных машин	При технической возможности
9)	Применение двусторонних чугунных изложниц для разливки ферросилиция	Снижение расхода чугунного литья в 1,5–2 раза
10)	Применение полигонной разливки	При технической возможности Метод экономически привлекательный, но сопровождается увеличением неорганизованных выбросов
11)	Переработка марганцовистых и хромистых шлаков в водной среде	При технической возможности
12)	Применение сухих тканевых газоочисток	Ограничение по наличию площадей для размещения сухих газоочисток на площадке предприятия

НДТ 5.7.2 Производство ферросплавов силикотермическим методом

НДТ 5.7.2 состоит во внедрении и последовательном совершенствовании технологии производства ферросплавов силикотермическим методом.

НДТ 5.7.2 относится к производству ферросплавов, приведенных в таблице 5.48.

Таблица 5.48 – Производство ферросплавов силикотермическим методом

Наименование ферросплава	Тип печи
Среднеуглеродистый ферромарганец (Mn не менее 85 %, C <1,5 %)	Рафинировочная электропечь
Низкоуглеродистый ферромарганец (Mn не менее 85 %, C<0,05 %)	Рафинировочная электропечь
Металлический марганец (95–98 % Mn, 0,2 % C)	Рафинировочная электропечь
Азотированный марганец (87–91 % Mn, 0,2 % C, 2–6 % N)	Рафинировочная электропечь с последующей обработкой в атмосфере азота
Среднеуглеродистый феррохром (Cr не менее 65 %, 1–2 % C)	Рафинировочная электропечь и конвертор
Низкоуглеродистый феррохром (Cr не менее 65 %, 0,1–0,5 % C)	Рафинировочная электропечь и конвертор
Безуглеродистый феррохром (Cr не менее 68 %, 0,01–0,06 % C)	Рафинировочная электропечь
Азотированный феррохром (Cr не менее 60 %, C не более 0,6 %, 0,9–6,0 % N)	Рафинировочная электропечь с последующей обработкой в атмосфере азота
Ферросиликокальций (Ca~25 %, Si-60 %, Fe~15 %)	Плавка в электродуговой печи
Силикоалюминий (Al % – 25 %, Si ~75 %)	Плавка в электродуговой печи
Феррованадий (V не менее 35 %, C <1,0 %)	Электродуговая печь

Совершенствование технологии производства ферросплавов силикотермическим методом позволяет сократить расходы электроэнергии и сырьевых материалов, снизить себестоимость производства, снизить эмиссии и образование отходов, для чего используются методы, приведенные в таблице 5.49.

Таблица 5.49 – Описание НДТ 5.7.2

№	Метод / оборудование НДТ	Примечание
1)	Применение полива углеродистых и пылящих шихтовых материалов в складе шихты в летний период	Актуально для складов шихтовых материалов закрытого типа
2)	Применение аспирационных установок на базе рукавных фильтров для подготовки шихтовых материалов, транспортировки, дозировки, загрузки шихты в печь, дробления и фракционирования ферросплава	Требует наличия сжатого воздуха на предприятии или применения локальных установок сжатого воздуха
3)	Применение окускованного (агломерированного) сырья	Снижение выбросов пыли на 10–20 %

Окончание таблицы 5.49

№	Метод / оборудование НДТ	Примечание
4)	Применение АСУ ТП рафинировочных печей на базе микропроцессорной техники	Снижение расхода электроэнергии на 2–3 %
5)	Применение сухих тканевых газоочисток	Ограничение по наличию площадей для размещения сухих газоочисток на площадке предприятия

НДТ 5.7.3 Производство ферросплавов алюмотермическим методом

НДТ 5.7.3 состоит во внедрении и последовательном совершенствовании технологии производства ферросплавов алюмотермическим методом.

НДТ 5.7.3 относится к производству ферросплавов, приведенных в таблице 5.50.

Таблица 5.50 – Производство ферросплавов алюмотермическим методом

Наименование ферросплава	Тип печи
Металлический марганец (95–98 % Mn, 0,2 % C)	Горн
Безуглеродистый феррохром (Cr не менее 68 %, 0,01–0,06 % C)	Печь-горн, горн
Хром металлический (97–99 % Cr)	Печь-горн, горн
Ферротитан (Ti не менее 25 %, C<0,20 %)	Печь-горн, горн
Ферровольфрам (W не менее 65 %, C не более 0,8 %)	Горн
Ферромолибден (Mo не менее 55 %, C<0,20 %)	Горн
Феррованадий (V не менее 35 %, C<1,0 %)	Электродуговая печь, горн
Азотированный ванадий (V не менее 35 %, 2–10 % N)	Электродуговая печь, горн с последующей обработкой в атмосфере азота
Ферониобий (Nb + Ta не менее 50 %)	Горн
Ферросиликоцирконий (Zrне менее 40 %)	Горн
Ферроалюмоцирконий (Zr не менее 15–18 %)	Горн
Ферробор (5–12 % B)	Горн
Ферроборал (B до 4 %)	Горн
Ферросплавы и лигатуры с РЗМ	Горн

Совершенствование технологии производства ферросплавов алюмотермическим методом позволяет сократить расходы электроэнергии и сырьевых материалов, снизить себестоимость производства, снизить эмиссии и образование отходов, для чего используются методы, приведенные в таблице 5.51.

Таблица 5.51 – Описание НДТ 5.7.3

№	Метод / оборудование НДТ	Примечание
1)	Применение аспирационных установок на базе рукавных фильтров для подготовки шихтовых материалов, транспортировки, дозировки, загрузки шихты в печь, дробления и фракционирования ферросплава	Требует наличия сжатого воздуха на предприятии или применения локальных установок сжатого воздуха
2)	Применение барабанных смесителей для предварительного смешивания шихты	Снижает расход материалов на 3–5 %
3)	Применение предварительного подогрева шихты	Снижает расход алюминия. Ограничено технологией плавки ферросплава
4)	Применение предварительного электродугового расплавления части шихты для алюмотермической плавки	Снижает расход алюминия. Ограничено технологией плавки ферросплава
5)	Применение довосстановления шлаков с получением попутной продукции	Снижает расход сырья на 5–10 %. Ограничено технологией плавки ферросплава
6)	Применение герметизирующих укрытий для установок печь-горн и внепечных горнов	Ограничено планировкой действующих цехов
7)	Применение сухих тканевых газоочисток (тканевых фильтров)	Ограничение по наличию площадей для размещения сухих газоочисток на площадке предприятия

НДТ 5.7.4 Снижение образования отходов при производстве ферросплавов

НДТ 5.7.4 состоит во внедрении и последовательном совершенствовании технологий и организационных мероприятий для переработки и перевода образующихся отходов в попутную продукцию при производстве ферросплавов.

Используются методы, приведенные в таблице 5.52.

Таблица 5.52 – Описание НДТ 5.7.4

№	Метод / оборудование НДТ	Примечания
1)	Окускование отсевов шихтовых материалов и возврат в производство	Ограничено технологией плавки ферросплава
2)	Реализация отсевов шихтовых материалов потребителям	Коксоугольные отсевы используются как топливо; отсевы кварцита – для цементной промышленности и т. п.
3)	Производство гравия, щебня и песков из ферросплавных шлаков	Актуально для производства углеродистого ферромарганца и силикомарганца, а также для производства углеродистого феррохрома и силикохрома

Окончание таблицы 5.52

№	Метод / оборудование НДТ	Примечания
4)	Извлечение металлоконцентрата из шлаков, в том числе в жидкой среде	Актуально для производства углеродистого ферромарганца и силикомарганца, а также для производства углеродистого феррохрома и силикохрома
5)	Реализация ферросплавного шлака потребителям	Требует предварительного дробления шлака
6)	Брикетирование ферросилиция фракции 0–5 мм в смеси с ПУД	При техничекой возможности, как по брикетированию, так и использованию в сталеплавильном производстве.
7)	Применение упаковки сухой пыли газоочисток в мягкие контейнеры для продажи потребителям	Для кремнистых пылей требуется предварительное уплотнение
8)	Рекультивация глиняных карьеров с использованием шламов и сухой пыли газоочисток и заводских технологических отходов	Ограничение по наличию глиняных карьеров в данной местности
9)	Продление сроков эксплуатации шламонакопителей за счет перекачки осевшей пульпы, ее высушивания на открытом воздухе и использования отвердевших осадков при рекультивации глиняных карьеров	Используется для инертных шламов производства ферросилиция

Наилучшие доступные технологии производства оксидов ванадия и феррованадия

НДТ 5.7.5 Производство оксидов ванадия из шлаков дуплекс-процесса

НДТ состоит во внедрении и последовательном совершенствовании технологии производства оксидов ванадия из шлаков дуплекс-процесса и включает мероприятия, представленные в таблице 5.53, обеспечивающие сокращение энергозатрат на процесс и сырьевых материалов, снижение себестоимости производства, а также образование отходов.

Таблица 5.53 – Описание НДТ 5.7.5

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Измельчение и деметаллизация шлака путем сухого помола смеси шлака и известняка	Снижение энергозатрат за счет исключения перекачивания больших объемов воды, снижение эксплуатационных затрат на обслуживание оборудования (насосы, фильтры, классификаторы и т. д), исключение энергозатрат на удаление влаги при обжиге шихты

Окончание таблицы 5.53

№	Метод / оборудование	Примечание
б	Измельчение и деметаллизация шлака путем мокрого помола смеси шлака и известняка	Исключение потерь шлака с пылевыносом (при сухом помоле ~1 %) позволяет значительно снизить выбросы ванадия в атмосферу. Кроме того, увеличение извлечения ванадия при мокром помоле на 3–5 % позволяет увеличить производительность оборудования
в	Применение рукавных фильтров для очистки отходящих газов обжиговых печей	Улучшение экологических характеристик и повышение эффективности производства за счет возврата уловленной пыли в технологию
г	Окислительный обжиг шихты с известняком	Позволяет избежать накопления сульфата натрия в системе и создать систему с замкнутым водооборотным циклом
д	Сернокислотное выщелачивание шихты	При сернокислотном выщелачивании в сочетании с обжигом с известняком возможно создание замкнутого водооборотного цикла производства оксидов ванадия
е	Плавка пентоксида ванадия	Плавленный пентоксид ванадия, по сравнению с порошковым, обладает гораздо большей насыпной плотностью, что позволяет избежать пылевыноса при плавке феррованадия и попадания пентоксида ванадия в атмосферу

НДТ 5.7.6 Производство феррованадия

НДТ состоит во внедрении и последовательном совершенствовании технологии производства феррованадия и включает мероприятия, представленные в таблице 5.54, приводящие к снижению потерь основного компонента, сокращению потребления ресурсов, снижению себестоимости производства, объема выбросов и отходов.

Таблица 5.54 – Описание НДТ 5.7.6

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Освоение выплавки ванадиевых лигатур непосредственно из шлака	Повышение извлечения ванадия на 15–20 %, экономия ванадия за счет снижения угара при производстве стали
б	Освоение выплавки феррованадия многостадийным процессом при выплавке феррованадия в электродуговых печах	Технология позволяет увеличить извлечение ванадия из оксида на ~1 %
в	Освоение внепечного производства феррованадия	Технология позволяет снизить расходы на электроэнергию за счет отказа от использования электродуговых печей; применима при экономической эффективности

НДТ 5.7.7 Технологии рациональной утилизации отходов

НДТзаключается в применении в производстве оксидов ванадия процессов обращения с отходами, обеспечивающими их извлечение и последующую утилизацию (таблица 5.55).

Таблица 5.55 – Описание НДТ 5.7.7

№	Метод / оборудование	Примечание
а	Применение мокрой системы газоочистки обжиговых печей	Повышение эффективности пылеулавливания
б	Производство побочной продукции из осадка сточных вод оборотных циклов водоснабжения производства оксидов ванадия	Повышает эффективность осветления сточных вод, позволяет вовлекать продукцию в хозяйственный оборот, что исключает образование отходов
в	Производство побочной продукции из минеральной части сырьевых материалов	Технология позволяет снизить объем образования отходов путем вовлечения их в хозяйственный оборот
г	Использование уловленных пылей в качестве смесей шихтовых в собственном производстве или реализация смесей шихтовых потребителям	Требуется уплотнение пылей, упаковывание в мягкие контейнеры (для реализации потребителям)

Раздел 6. Перспективные технологии в производстве чугуна, стали и ферросплавов

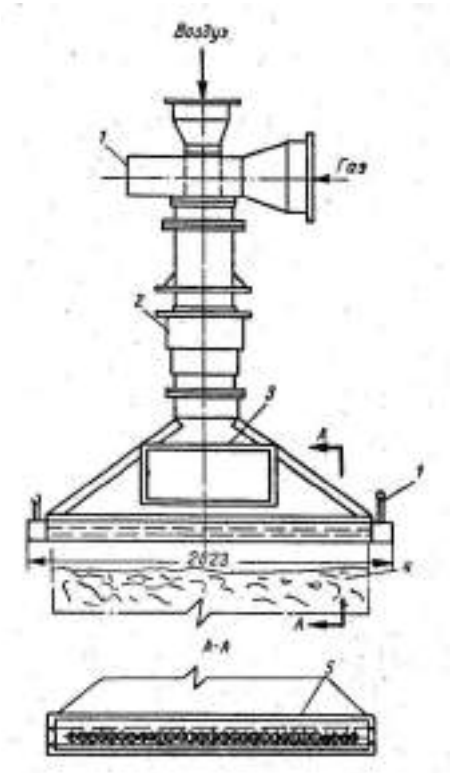
Представленные в данном разделе технические решения отражают передовые тенденции в развитии металлургических технологий и техники в направлении создания новых процессов, производства новых материалов, повышения энергоэффективности, обеспечения экологической безопасности.

Вместе с тем, их отличает различный уровень технической, конструкционной проработки и коммерческой готовности.

6.1 Перспективные технологии в агломерации

6.1.1 Применение технологии газовой агломерации

Технология газовой агломерации [155, 156] может быть осуществлена на любой ленточной агломашине (после реконструкции) на шихте, подготовленной и окомкованной обычными методами, но без добавления твёрдого топлива, при использовании высококалорийного газа. При работе на низкокалорийном доменном газе в шихту необходимо добавлять твёрдое топливо до ~ 2 % углерода в шихте. Способ осуществляется путём установки специальных горелок над спекаемой шихтой по длине агломашины (рисунок 6.1).



1 – смеситель; 2 – телескоп; 3 – предохранительный клапан;
4 – смекаемая шихта;5 – трубы для охлаждения

Рисунок 6.1 – Устройство горелки для сжигания газа в слое спекаемой шихты при газовой агломерации

Технология газовой агломерации без использования твёрдого топлива обеспечивает повышение качества агломерата по прочности, восстановимости, снижение содержания серы. Отсутствие в спекаемом слое твёрдого топлива приведёт к существенному уменьшению выбросов пыли, CO, SO_x и NO_x.

Опробована в опытно-промышленном режиме на агломашине площадью 50 $м^2$ на доменном газе калорийностью 930 ккал/$нм^3$, удельная производительность достигала 1,6 т/$м^2$ в час.

6.1.2 Применение активной извести

Технология введения активной извести в агломерационную шихту способствует повышению эффективности ее использования, увеличению высоты спекаемого слоя, повышению производительности агломашины, сокращению выбросов пыли за счёт повышения качества окомкования и агломерата. Для получения активной извести необходимо строительство на аглофабрике участка по обжигу извести.

Опробована в промышленном масштабе.

6.1.3 Подготовка агломерационной шихты к спеканию: дозирование, смешивание, окомкование

Применение нового современного оборудования для смешивания и окомкования шихты (высокоинтенсивные смесители) гарантирует повышение качества агломерата, снижение расхода коксовой мелочи, уменьшение выбросов пыли, CO, SO_x, NO_x.

Промышленно освоенная техника.

6.1.4 Онлайн-мониторинг химического состава агломерата (в том числе FeO в агломерате)

Уровень развития техники лазерно-искровой спектрометрии (LIBS) предоставляет возможность организовать онлайн элементный анализ железорудного сырья и FeO в агломерате. Аналитико-программные блоки SuPerMagnag и Laser Distance Analyzer Spectrometry MAYA позволяют в потоке определять состав агломерата, отдаваемого в доменный цех (оксиды железа FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, основность и др. химические компоненты в агломерате). Технологическая схема управления доменной плавкой на основе онлайн контроля шихты показана на рисунке 6.2.

Система онлайн-мониторинга позволяет отслеживанать химический состав агломерата в режиме реального времени, сокращает время корректирующего воздействия с 4 до 1 часа, делает возможным определение фактического Fe, Si, Ca, Mg, основности, оксидов железа в каждом загруженном агломератом вагоне.

На текущий момент на мировом рынке нет стандартного оборудования, внедрения ведутся на заводе Dillingen Rogeza (Германия) и ПАО «НЛМК»:



Рисунок 6.2 – Принципиальная схема управления доменной плавкой при онлайн контроле состава шихтовых компонентов

6.1.5 Автоматическое дозирование флюсов в аглошихте

Химический состав сырьевых материалов для агломерационного производства значительно варьируется. Это одна из главных проблем на пути получения стабильного по содержанию железа и основности агломерата. Автоматический контроль химического состава сырья в режиме реального времени с помощью лазерного анализато-ра Laser Distance Analyzer Spectrometry MAYA позволяет получать в режиме on-line информацию об этих параметрах агломерационной шихты с ее использованием для оперативных корректировок состава шихты. Разработанная в ПАО «НЛМК» на базе лазерного анализатора MAYA автоматическая система дозирования флюсов позволяет стабилизировать основность агломерата, что ведет к сокращению расхода кокса в доменных печах (рисунок 6.3 а, б) [157, 158].

Внедрено в ПАО «НЛМК».

Применение лазерного анализатора MAYA на конвейере подачи железорудной смеси перед дозированием флюсов, позволяет видеть тренды изменения химического состава (Fe, CaO, SiO_2, MgO) в железорудной смеси в режиме реального времени (рисунок 6.3 а, б) и автоматически корректировать дозировку флюсов.



А



Б

Рисунок 6.3 – Принципиальная схема системы автоматического дозирования флюсов с использованием лазерного анализатора MAYA (а) и интерфейс динамики изменения содержания Fe и CaO в железорудной смеси (б)

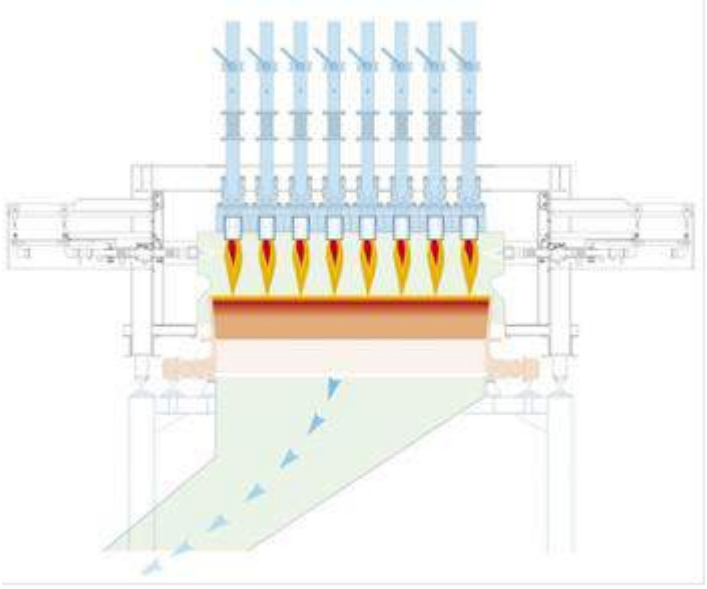
6.1.6 Применение полимерных (и минеральных) связующих для окомкования

В настоящее время применение полимерных добавок Anyonic Polimer Dispersant (APD) внедрено на некоторых предприятиях Японии (NSC, JFE), Европы и Бразилии. В России на некоторых аглофабриках проводились обширные исследования различных полимерных добавок и получены положительные результаты.

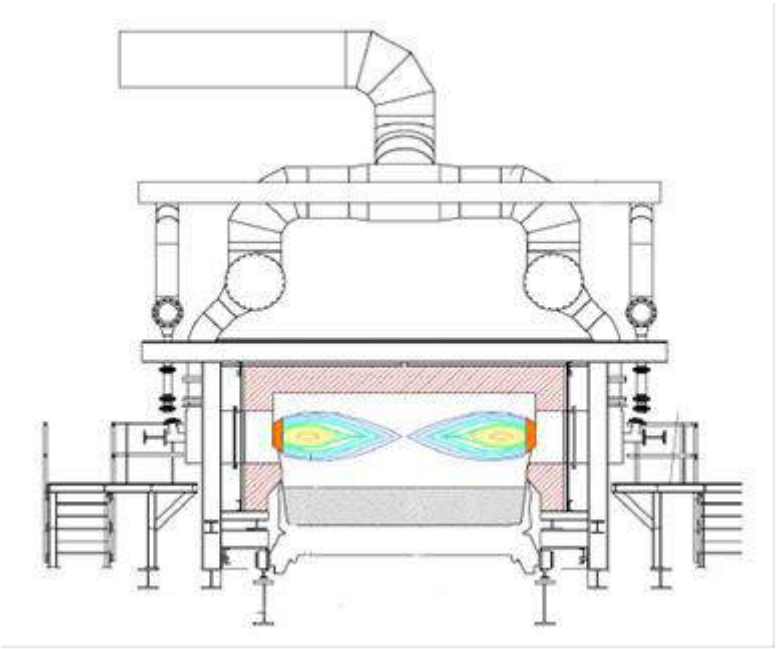
Ввод в агломерационную шихту полимерных добавок влияет на увеличение производительности агломашин, в частности увеличение вертикальной скорости спекания, которое достигается за счет повышения качества окомкования шихты (средний диаметр, прочность гранул и др.) [159], что сопровождается снижением пылеобразования, а также эмиссий оксида углерода.

6.1.7 Применение современных зажигательных горнов

В настоящее время существует несколько конструкций зажигательных горнов, предлагаемых различными мировыми и российскими компаниями. В промышленности эксплуатируются зажигательные горны с различным расположением горелок: на торцевых стенах со стороны входа в горн тележек с шихтой и со стороны их выхода; на боковых стенах; на своде [160,161]. Типовые конструкции зажигательных горнов агломашин показаны на рисунке 6.4 (а, б).



А



Б

Рисунок 6.4 – Типовые конструкции зажигательных горнов агломерационных машин: а) вертикальное расположение горелок; б) горизонтальное расположение горелок

Замена зажигательного горна на современный вертикальной конструкции позволяет:

- уменьшить длину горна (2–5 м) – повышения производительности агломашины (не менее чем на 3 тонны в час);
- снизить затраты топлива (тепла) на работу горна в 2–3 раза (стандартные значения новых горнов 40–70 МДж/м^3);
- сократить расход газа (на 20–50 % и выше);
- увеличить выход годного на 3–5 % за счет равномерного распределения тепла при нагреве;
- сократить затраты на огнеупоры и услуги по ремонту, экономия времени увеличение межремонтного (или технического обслуживания) интервала (замена футеровки горна 1 раз в 6 лет отдельные конструкции до 8 лет).

6.1.8 Использование тепла воздуха после охладителей агломерата

Применение технологии утилизации тепла воздуха охлаждения агломерата (см. рисунок 6.5) способствует снижению затрат энергии на производство агломерата. Для сбора нагретого воздуха от охладителей устанавливаются улавливающие зонты, через которые нагретый воздух направляется в циклоны для удаления абразивной пыли и после этого по трубопроводам может подаваться:

- на теплообменники для выработки пара или горячей воды, с возможностью последующей выработки электроэнергии;
- на горелки зажигательного горна для снижения расхода газообразного топлива;
- в защитный колпак агломерационной машины, устанавливаемого после зажигательного горна.

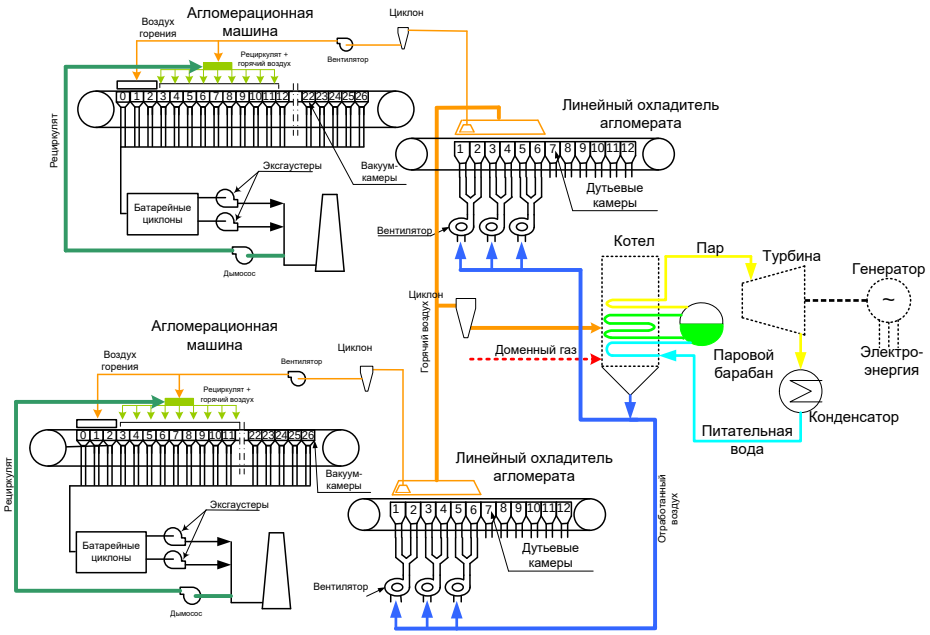


Рисунок 6.5 – Технологическая схема оборудования охладителей агломерата и агломашин для утилизации тепла горячего воздуха

6.1.9 Установка горнов подогрева (перед зажигательным горном) и температурной выдержки (после зажигательного горна)

Целью установки горнов подогрева и температурной выдержки является использование теплоты подогретого воздуха, подаваемого с охладителя агломерата, снижение тепловых потерь излучением от верхнего раскаленного слоя шихты, покидающей зажигательный горн, и как следствие, снижение расхода газообразного и твердого топлива на процесс агломерации.

Пример установки горнов подогрева и выдержки представлен на рисунке 6.6.

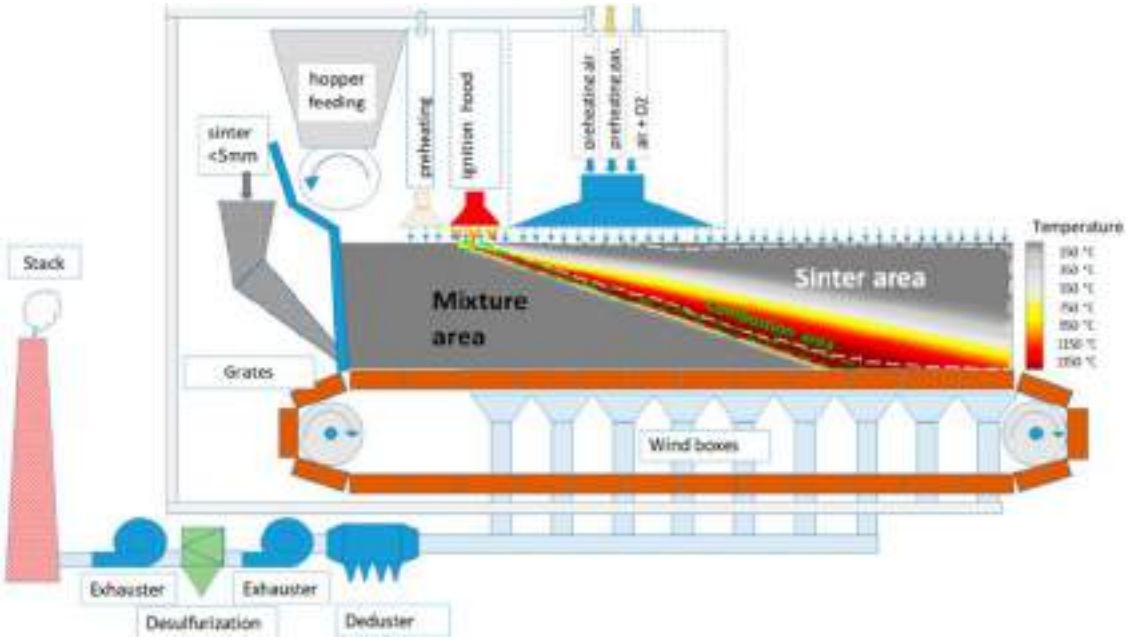


Рисунок 6.6 – Использование тепла отходящих газов в горнах подогрева и на аглоленте

Подогрев агломерационной шихты осуществляется за счет подогретого воздуха, отводимого от охладителя агломерата. Подогрев шихты в горне подогрева достигает 200 °С (20–25 МДж/т агломерата). При этом установка горна подогрева позволяет сократить расход энергии на зажигание шихты до 25 МДж/т агломерата и расход газообразного топлива на 40–50 %.

Горн выдержки представляет собой металлический короб без днища, располагаемый за зажигательным горном. Его назначение сократить потери теплоты излучениием от верхнего раскаленного слоя агломерационной шихты, покидающей зажигательный горн.

Экономия теплоты в этом случае составляет около 35 МДж/т агломерата и равноценный этой экономии теплоты расход твердого топлива [162, 163].

6.1.10 Применение электрофильтров

Технология применения электрофильтров с сухим пылеудалением для очистки технологических газов обеспечивает высокую степень очистки от мелких частиц пыли с эффективностью 90–95 %.

Промышленно освоена.

6.1.11 Применение тканевых (рукавных) фильтров

Технология применения тканевых (рукавных) фильтров для очистки отходящих технологических газов и аспирационного воздуха с высокой степенью очистки от мелких частиц пыли с эффективностью до 95–99 %.

6.1.12 Применение мокрых скрубберов для очистки отходящих технологических газов в вариантах:

6.1.12.1 Применение мокрых скрубберов для очистки от пыли (степень очистки до 98 %)

6.1.12.2 Применение мокрых скрубберов типа AIRFINE для очистки от пыли и газов, от SO_x, HF, HCl, ПХДД/Ф, тяжелых металлов

Промышленно освоены в зарубежной практике.

6.1.13 Снижение выбросов оксидов азота NO_x:

6.1.13.1 Применение для отопления горна горелок с низким образованием NO_x

Применение газовых рекуперативных горелок с принудительной подачей газа с неполным предварительным смешиванием и специальной закруткой газового потока обеспечивает эффективное сжигание газо-воздушной смеси с меньшим образованием CO и NO_x. Горелочные устройства с такими характеристиками (например, типа ГНП.Р-250-31) промышленно освоены (см. рисунок 6.7).

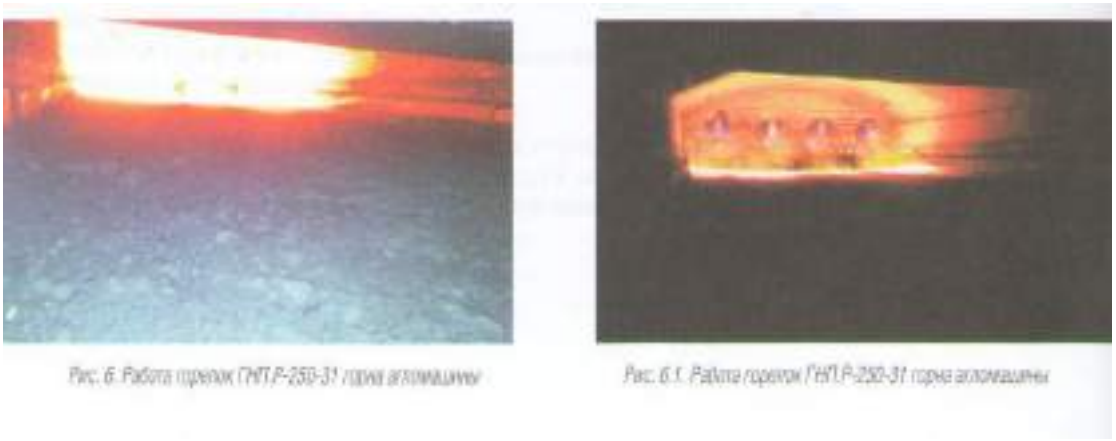


Рисунок 6.7 – Работа горелок ГНП.Р-250-31 в зажигательном горне агломашины

6.1.13.2 Применение селективного каталитического восстановления

Использование антрацита позволяет снизить выбросы NO_x примерно на 30 %. Большего эффекта можно добиться при использовании катализаторов, который вызывает химические превращения оксидов азота без их участия в самой химической реакции. При их применении эффективность нейтрализации оксидов азота составляет примерно 89 %.

Применительно к процессам агломерации не опробована.

6.1.14 Применение экспертных систем для оптимизации спекания агломерата

Главным преимуществом современной аглофабрики является высокий уровень АСУ ТП и оснащение современными экспертными системами не ниже 2 уровня.

В настоящее время на мировых аглофабриках популярны следующие экспертные системы: VAiron Sinter optimizer, SinterXpert.

Такие системы включают несколько управляющих модулей и саму экспертную систему, которая позволяет проводить автоматический анализ параметров работы аглофабрики, выдавать рекомендации персоналу, прогнозировать параметры работы, основываясь на математических моделях процессов, проводить автоматические корректировки. Системы имеют высокий уровень визуализации процесса производства агломерата.

Экспертная система последнего поколения VAiron Sinter optimizer внедрена на аглофабрике № 1 Dragon Steel (Тайвань). Позволяет оптимизировать технологический процесс от усреднения шихтовых материалов до выпуска готового агломерата, основываясь на материальном и тепловом балансе процесса агломерации. За счет использования эффективных алгоритмов система осуществляет регулирование параметров работы аглофабрики в целом и агломашин в частности: стабилизация основности агломерата, режим возврата, скорость агломашины, высота слоя, показатели зажигания и др. [164, 165].

Основные технические эффекты от внедрения VAiron Sinter optimizer:

- стабилизация качества агломерата за счет снижения (среднеквадратичного отклонения (СКО) показателя основности на 15 %;
- снижение расхода коксовой мелочи на 3 %;
- повышение производительности до 5 %.

6.1.15 Технология окускования дисперсных материалов методом брикетирования (жесткая вакуумная экструзия)

Технология брикетирования методом жесткой вакуумной экструзии (при давлении 5 МПа и выше) имеет в 3 раза более высокую производительность сравнительно с вибропрессованием, не требует тепловой обработки сырых брикетов, позволяет получать прочный материал (горячая прочность брикета из магнетитового концентрата и коксовой мелочи по показателю $RDI_{+6,3}$ превышает $RDI_{+6,3}$ агломерата основностью 1,2–1,6) изометрической формы и металлургических размеров, пригодный для загрузки в доменную печь (а также для использования в других металлургических агрегатах), подлежащий штабелированию и длительному хранению.

Технологическая схема процесса производства брикетов (они имеют специфическое название «брэксы») представлена на рисунке 6.8.

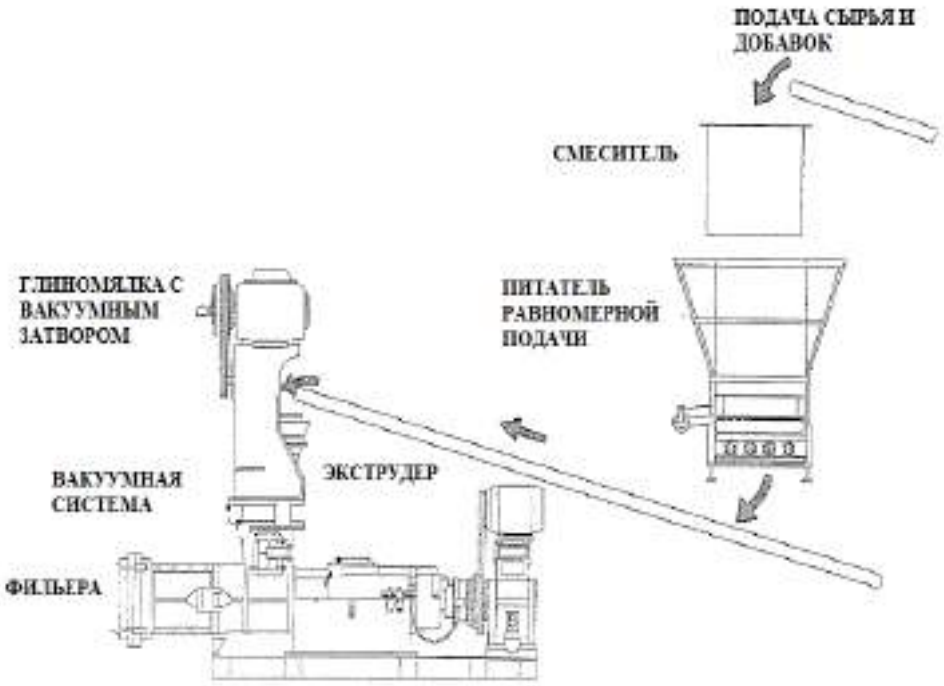


Рисунок 6.8 – Технологическая схема производства брикетов методом жесткой экструзии [166]

Шихтовые компоненты после дозирования направляются в смеситель для гомогенизации состава, а далее через питающее устройство с вакуумным затвором (типа «глиномялки») подаются в экструдер, откуда выходят «брэксы» в виде стрежней определенного по усмотрению потребителя диаметра в диапазоне 5–35 мм и длины (см. рисунок 6.9).



А Б

Рисунок 6.9 – Промышленная фабрика по производству «брэксов» – штабелирование «брэксов» (А); разгрузка «брэксов» из экструдера (Б)

Технология брикетирования методом жесткой вакуумной экструзии весьма эффективна не только как метод утилизации техногенных материалов, но прежде всего в качестве экологически безопасной альтернативы процессу агломерации.

Первая фабрика производства брэксов на 700 тыс. т в год построена в ПАО «НЛМК».

6.2 Перспективные технологии при производстве кокса

6.2.1 Технология разгрузки угля на вагоноопрокидывателе с эффективной аспирацией места падения угля в приемный бункер

Технологией разгрузки угля с эффективной аспирацией предусмотрен равномерный по длине ротора отсос запыленного воздуха в месте его максимального выхода из зоны рассыпания угля в бункерах и наддув малозапыленного воздуха с противоположной стороны бункеров для подачи запыленных потоков воздуха в зону размещения отсосов. Для направления этих потоков на роторе вагоноопрокидывателя размещается направляющая. Аспирационный воздух подается на очистку от пыли, очищенный воздух дымососами выбрасывается в атмосферу. Уловленная пыль из бункеров циклонов винтовым конвейером подается к окомкователю, откуда выгружается в железнодорожный вагон, подаваемый на разгрузку. Схема аспирации вагоноопрокидывателя приведена на рисунке 6.10.

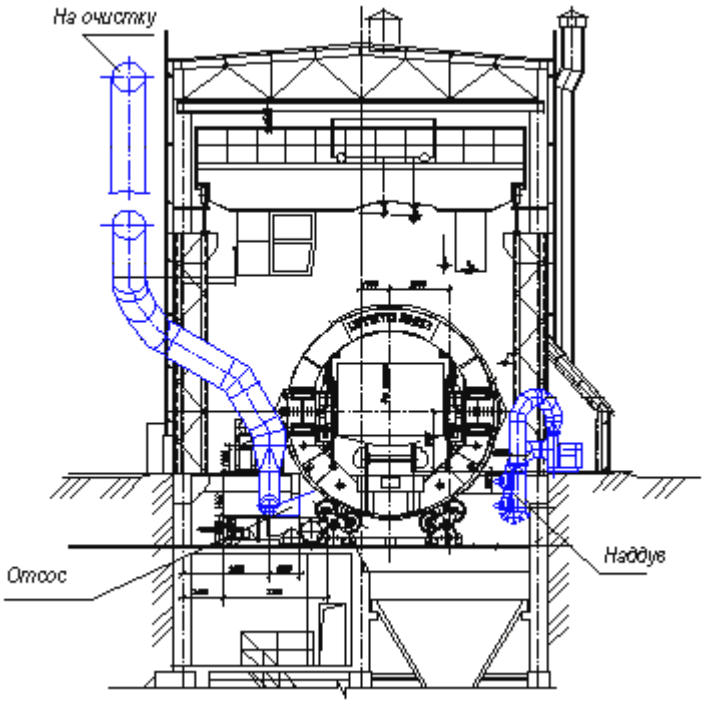


Рисунок 6.10 – Схема аспирации вагоноопрокидывателя

Технология разгрузки угля с эффективной аспирацией на вагоноопрокидывателе (с объемом аспирации 96,5 тыс. м^3/ч) внедрена на ПАО «НЛМК».

В СНГ технология трамбования реализована на Украине на коксовых батареях № 9 (1993 г.) и № 10 (2006 г.) ПАО «Алчевсккокс».

6.2.2 Технология частичного брикетирования шихты

Угольная шихта подвергается измельчению до крупности менее 3 мм и поступает в сушилку-классификатор, в которой происходит сушка и разделение шихты на два класса: мелкий и крупный. Затем крупный уголь подвергается скоростному нагреву до 350 °С в трубчатом подогревателе в потоке воздуха. Мелкие классы угля с температурой ~160 °С после сушилки-классификатора поступают в двухвалковые прессы и подвергаются горячему брикетированию, после чего объединяются с крупными классами и загружаются в коксовую печь. Схема технологии приведена на рисунке 6.11.

Технологический процесс имеет следующие главные отличительные особенности:

- применение скоростного нагрева шихты позволяет сократить продолжительность коксования, снизить затраты энергии на коксование и повысить прочность кокса;

- на печах применяется система обогрева с малым выбросом оксидов азота (NOx): использована схема с одноступенчатым подводом газа и трехступенчатым подводом воздуха в сочетании с рециркуляцией продуктов сгорания.

Новая технология обеспечивает возможность получения из шихты с 50 %-ным участием слабоспекающихся углей кокса, прочность которого по показателю DI_{15}^{150} выше 84 %, что определяет пригодность получаемого кокса для использования в доменной печи.

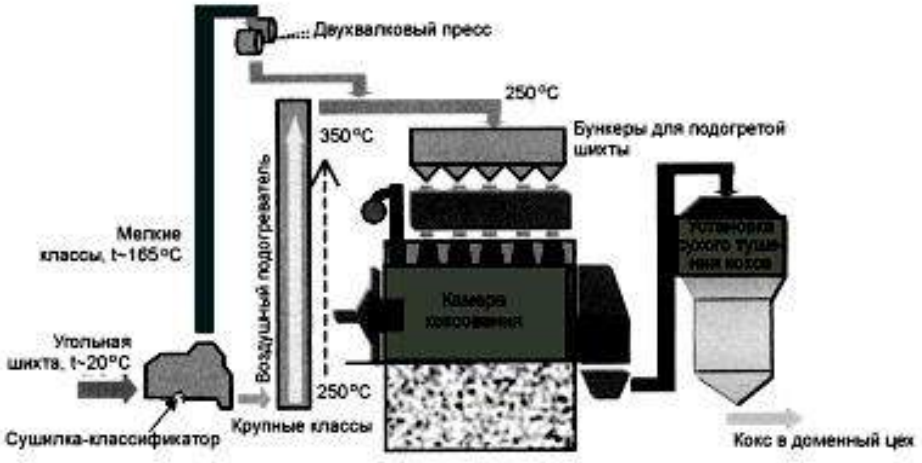


Рисунок 6.11 – Схема технологии частичного брикетирования шихты

6.2.3 Технология индивидуального регулирования давления в коксовых печах

Наиболее значимым новшеством последних лет в области охраны окружающей среды при производстве кокса считают [167] разработку, освоение и промышленное внедрение технологии индивидуального регулирования давления газа в каждой отдельной печи коксовой батареи. Новые решения стабильно обеспечивают пониженное давление в газосборнике, что позволяет отвести все газы загрузки в систему

улавливания сырого коксового газа и практически исключить выбросы при эксплуатации коксовых печей.

Существует несколько вариантов реализации технологии: система PROven (рисунок 6.12) и клапан Sopreco (рисунок 6.13), а также отчественный вариант с регулированием по таймеру.

В системе PROven стояки коксовых печей сообщаются с газосборником с помощью клапанов новой конструкции — стационарных чашевидных клапанов FixCup с воронкообразными днищами с отверстием. В колене стояка установлены две распылительные форсунки, которые обеспечивают охлаждение сырого газа и орошают внутреннюю поверхность колена, препятствуя образованию смоляных и других отложений. Имеется трубопровод и клапан быстрого заполнения чаши клапана FixCup, когда печь отключают от газосборника.

Поскольку с применением системы PROven возможна работа при разрежении в газосборнике и за счет этого разрежения осуществляется отсос газов загрузки, необходимость в аспирации газов загрузки аммиачной водой или паром отпадает.

Преимущества новой системы работы газосборника:

- сокращение выбросов в атмосферу в процессе коксования, особенно во время загрузки;

- улучшение качества кокса за счет устранения недопалов в подсводовом пространстве;

- улучшение качества каменноугольной смолы в результате снижения уноса угольной пыли в газосборник;

- увеличение времени работы стояка между чистками.



Рисунок 6.12 – Схема системы PROven

Система успешно действует более чем на 2000 коксовых печах во всем мире, в том числе на 12 батареях в Китае; 11 – в Южной Корее; 9 – в Бразилии; на 1 – в США и на 3 – в Германии.

Клапан Sopreco (SingleOvenPressureControl) используется исключительно как регулирующий элемент и расположен между тарельчатым клапаном-гидрозатвором и стояком (рис. 6.13). Тарельчатый клапан-гидрозатвор сохраняется с целью обеспечения надежного отсоединения печной камеры от газосборника. Дополнительно система оснащается соответствующей аппаратурой измерения давления и программируемым устройством управления.

50 клапанов Sopreco эксплуатируются несколько лет на батарее № 3 завода ZKS с загрузкой шихты по технологии трамбования.



Рисунок 6.13 – Клапан SOPRECO

Отечественный способ регулирования в печных камерах отличается простотой и надежностью: регулирование давления производится не по сигналам многочисленных датчиков, а с помощью задатчика времени (таймера), который выдает сигналы на регулирование в зависимости от времени с начала загрузки данной печи. Регулирование гидравлического режима в каждой печной камере в отдельности обеспечивает механизм привода заслонки стояка для отвода газа из печи. В автоматическом режиме по схеме зон регулирования давления открытием-закрытием заслонки происходит регулирование поперечного сечения горловины стояка.

В отличие от зарубежных аналогов эта система может монтироваться на действующих батареях при последовательном плановом ремонте существующих стояков с установкой в клапанные коробки необходимых заслонок и постепенной заменой стояков на всей батарее. Такая работа является текущей, растянута по времени реализации и не требует значительных инвестиций.

6.2.4 Технология ступенчатого охлаждения кокса

Схема ступенчатого охлаждения кокса (вариант с использованием в качестве охлаждающего агента 2 ступени распыляемой в теплообменном барабане воды) приведена на рисунке 6.14 [168].

Выдаваемый из коксовых камер кокс с температурой ~1000–1100 °С в коксовозном вагоне специальным подъемником подают на верх бункера I ступени охлаждения и через загрузочное устройство (1) высыпают в форкамеру (2). Далее кокс по мере разгрузки I ступени поступает в камеру охлаждения (3) и, проходя между рядами специальных панелей рекуперативного теплообменника (4), охлаждается до температуры ~650 °С и попадает на разгрузочное устройство I ступени (5) и питатель (6). Пар, образующийся в рекуперативном теплообменнике за счет тепла кокса, с параметрами P = 1,4 МПа и t = 320 °С, используют для энергетических нужд коксохимического производства.

Частично охлажденный до температуры ~ 650 °С кокс посредством питателя (6) подают внутрь барабанного теплообменника (7), являющегося II ступенью охлаждения. Барабанный теплообменник (7) оснащен внутренними устройствами специальной конструкции (8). Эти устройства создают пересыпающийся и перемешивающийся поток кокса, который при вращении барабана продвигается от загрузочной (9) к разгрузочной (10) части теплообменника. Внутри барабанного теплообменника кокс посредством оснащенных распылительными форсунками трубопроводов (11) и регулировочных устройств (12) орошают водой. В результате ее испарения кокс охлаждается до температуры ~200 °С.

Далее охлажденный кокс через разгрузочное устройство (13) выдают из теплообменника и направляют на сортировку и к потребителю.

Образующийся в теплообменнике II ступени охлаждения пар подают в обеспыливающий циклон (14), а пульпу из циклона возвращают на поступающий в барабан кокс. Обеспыленный пар подогревают продуктами горения топки (15) и сбрасывают в атмосферу через дымовую трубу (16).

Помимо представленного выше данная технология имеет и другие варианты:

- с использованием в качестве охлаждающего агента II ступени очищенных стоки после биохимической очистки, утилизацией тепла кокса в конденсаторе-холодильнике;
- для «мягкого» испарения коксохимических стоков в градирне системы оборотного водоснабжения;
- с утилизацией тепла кокса II ступени в холодильнике-конденсаторе на бытовые энергетические нужды;
- с использованием в качестве охлаждающего агента II ступени угольной шихты, поступающей на коксование.

Технология позволяет использовать для охлаждения кокса биохимически очищенные стоки коксохимического производства со значительным снижением химически загрязненных выбросов в атмосферу [169] по сравнению с традиционными способами охлаждения; использовать тепло выдаваемого из коксовых камер кокса (~40 %) на производство энергетического пара высоких параметров (P = 1,4 МПа, t = 320 °С).

Опробована на опытно-промышленной установке производительностью по коксу~10 т/ч.

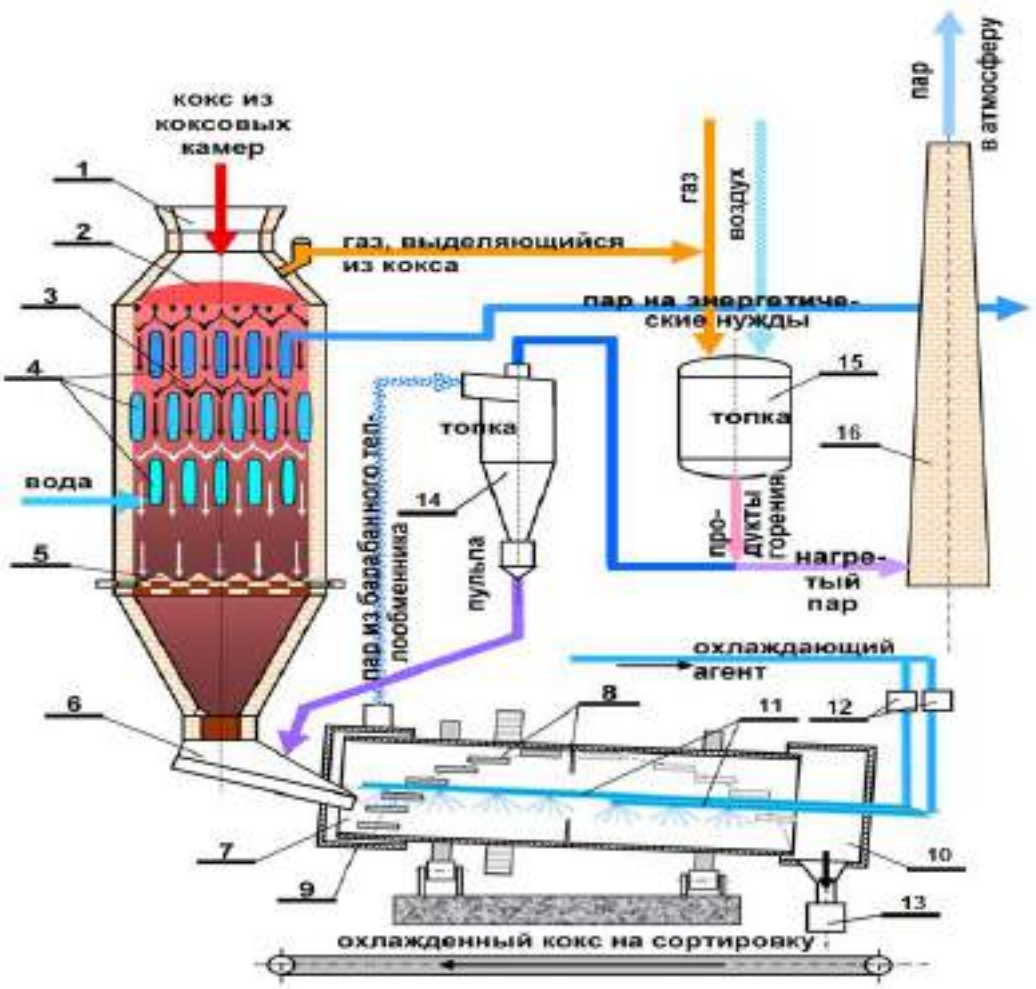


Рисунок 6.14 – Схема технологии ступенчатого охлаждения кокса

6.2.5 Технология выдачи и косвенного тушения кокса Kress / KIDC

Технология представляет собой способ беспылевой выдачи и косвенного сухого тушения кокса [170], обеспечивающий предотвращение выбросов при выдаче и тушении кокса. В соответствии с этим способом, получившим название KIDC [171], выдача кокса производится в стальной вагон-контейнер, идентичный по форме и размеру печной камере. Контейнер затем перевозится на тушильную станцию и орошается водой, в результате чего обеспечиваются мягкие условия охлаждения кокса без контакта его с водой. Опробование этого способа на заводе «Грэнит Сити» фирмы «Нэшнл стил» (США) в 1987 г. показало принципиальную пригодность его для предотвращения выбросов как при выдаче, так и при тушении кокса [172, 173].

Оценивая возможности применения системы на отечественных предприятиях, необходимо отметить, что для этого потребуется полностью пересмотреть комплекс машин и оборудования коксовой стороны батарей. Это связано с очень большими капитальными затратами и в условиях реконструкции действующих предприятий представляется весьма проблематичным.

Технология опробована на заводе «Грэнит Сити» фирмы «Нэшнл стил» (США) и внедрена на заводе «Спарроус Пойнт» фирмы «Бетлихем стил».

6.2.6 Технология улавливания и очистки выбросов при обработке дверей печных камер

С целью уменьшения выбросов, образующихся при основных технологических операциях обработки дверей и печей (снятии дверей печных камер перед выдачей, их очистке, забрасывании концов, чистке привалочных поверхностей и установке дверей на место), предусмотрена установка аспирации и очистки на коксовой стороне батареи.

Установка состоит из двух зонтов, газоходов, рукавного фильтра и дымососа. Один зонт предназначен для захвата выбросов от печи и имеет возможность перемещения по направлению к печи с одновременным присоединением к стационарно расположенному газоходу. Другой зонт размещен над механизмом чистки дверей. Газоходы от зонтов соединяются в общий газоход, направляемый к рукавному фильтру и далее к дымососу. В газоходе имеется искрогаситель, предотвращающий попадание раскаленных частиц в рукавный фильтр. Материал рукавов термоустойчив до 550 °С.

Объемы выбросов сокращаются на 93,8 %.

Установка внедрена на ПАО «Кокс».

6.2.7 Технология утилизации газов холодных свечей УСТК путем передачи их в газопровод доменного газа

Эксплуатация УСТК сопровождается загрязнением окружающей среды при сбросе в атмосферу избыточного охлаждающего агента через «холодные» свечи дымососом тракта циркуляции. Основные компоненты сбрасываемого газа – оксид углерода (CO), взвешенные вещества (пыль), а также присутствуют бензапирен, сероводород, аммиак, диоксид серы и другие загрязняющие вещества. По регламенту содержание CO в циркулирующем теплоносителе должно быть в пределах 8–12 %.

Для снижения выбросов через холодные свечи УСТК применяется технологический прием – дожигание CO с помощью кислорода воздуха, подаваемого в тракт циркуляции охлаждающего агента —кольцевой канал камеры УСТК. Данный прием приводит к снижению концентрации CO в газе, но в то же время – увеличению угара (потерь) кокса, выгружаемого из камер, увеличению объема выбрасываемых газов.

Существует несколько вариантов технических решений по утилизации избыточных газов УСТК и ликвидации выброса их в атмосферу:

- отводить их в газопровод коксового газа;
- сжигать в специальной котельной;
- очищать перед сбросом в атмосферу и т. д.

Наиболее приемлемым решением является передача их в газопровод доменного (бедного) газа для последующего применения в качестве топлива в металлургическом производстве. Доменный газ подобен по составу циркулирующему газу УСТК и отличается содержанием CO.

Перед передачей избыточных газов УСТК в газопровод доменного газа его необходимо очистить пыли и несколько повысить его калорийность. При этом нужно в постоянном режиме определять его состав, при необходимости в автоматическом режиме корректировать содержание CO и поддерживать его на уровне не менее 12 %.

Для этих целей сооружается специальная установка. Для стабилизации калорийности газ обогащается топливом (коксовым или природным газом) до 800 ккал. на 1 тыс. м^3.

Эффективность технологии: снижение валовых выбросов вредных веществ; утилизация избыточного циркуляционного газа; снижение расхода углей на коксование за счет снижения потерь кокса при тушении на УСТК.

Технология внедрена на АО «ЕВРАЗ НТМК».

6.2.8 Технология коксования без улавливания химических продуктов

Печи коксования по данной технологии горизонтальные (см. рисунок 6.15) и находятся под небольшим разрежением. В основном газ для горения подается через порты в дверях и частично сжигает образующиеся летучие вещества в камере коксования. Дополнительный воздух подается в изогнутые каналы, которые пролегают в днище печи. Конструкция каналов, а также контроль потока воздуха позволяют балансировать скорость коксования сверху и снизу.

Горячие газы проходят по туннелю для отходящих газов к бойлерной установке, на которой получают пар высокого давления для производства электроэнергии или отопления. Охлажденный отработанный газ очищается от серы известковым молоком с получением гипса, который в основном используется в строительном производстве.

Отмечается, что с точки зрения влияния на окружающую среду технология производства кокса рекуперативного типа обладает меньшим воздействием, чем коксохимический вариант. Ввиду отрицательного давления и сжигания летучих продуктов, технология производства кокса рекуперативного типа значительно снижает выбросы токсичных газов через неплотности оборудования. Конфигурация слоя угля также обеспечивает значительно меньшие выбросы пыли.

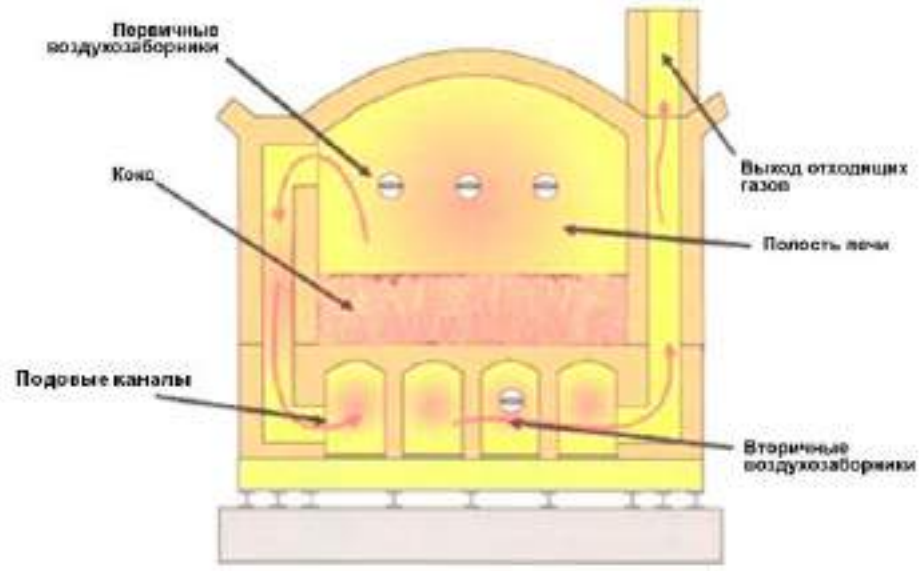


Рисунок 6.15 – Разрез печи рекуперативного типа

Для полного сжигания смолистых веществ и бензольных углеводородов требуется обеспечить их смешение с воздухом при высоких значениях коэффициента избытка воздуха и достаточном времени для прохождения реакции окисления.

Необходимо отметить, что как традиционное коксохимическое производство, так и технология с батареями рекуперативного типа способны производить кокс высокого качества, достаточного для применения в доменных печах высокой производительности. Множество различных факторов могут повлиять на решение о выборе технологии, например, размер участка и доступность энергетических ресурсов, конфигурация металлургических предприятий, потребителей энергии, региональные проблемы защиты окружающей среды, стоимость оборудования и, естественно, срок окупаемости.

Технология характеризуется рядом преимуществ: исключение выбросов из дверей, люков и стояков коксовых печей, ликвидация химических цехов и установок, устранение загрязнения водного бассейна и образования отходов химических цехов (фусы, кислая смолка, полимеры и т. д.).

Технология внедрена на многих предприятиях за рубежом (Китай, США, Индия, Австралия).

6.2.9 Технологический процесс сжигания части сточных вод

Разработана принципиально новая технология, позволяющая решить проблемы утилизации загрязненных сточных вод и избытка коксового газа. Суть новой технологии заключается в термическом обезвреживании сточных вод при сжигании коксового газа.

Технологический процесс сжигания части сточных вод после установки биохимической очистки (БХУ) позволяет отказаться от прямого сжигания в факельной системе значительных количеств коксового газа, уменьшить гидравлическую нагрузку на БХУ, что приводит к улучшению степени очистки стоков, а также снизить долю сточных вод после БХУ в системе мокрого тушения кокса.

При совместном сжигании коксового газа и сточных вод содержащиеся в очищенных сточных водах примеси восстановительного характера (аммиак и др.) позволяют в определенном температурном интервале значительно снизить содержание оксидов азота в дымовых газах. Кроме того, сжигание сточных вод при высоких температурах приводит к сокращению номенклатуры выбрасываемых в атмосферу веществ по сравнению с мокрым тушением, с полным исключением органических соединений, а за счет замещения промышленной водой части очищенной сточной воды в процессе мокрого тушения кокса – к уменьшению концентрации загрязняющих веществ в выбросах из башни тушения.

Установка состоит из двух автономных технологических линий с реакторами сжигания, каждая из которых содержит емкости сточной воды, насосы для подачи воды, фильтры для доочистки сточных вод от механических примесей и реактор с трубопроводами подвода коксового газа, сточной и промышленной воды. Установка содержит также общую для обеих технологических линий емкость промышленной воды с насосами и фильтрами. Схема одной технологической линии приведена на рисунке 6.16.

Технология внедрена на ПАО «Кокс», позволяет сократить выбросы из факельной системы и из башни тушения и обеспечить достижение полной бессточности коксохимического производства.

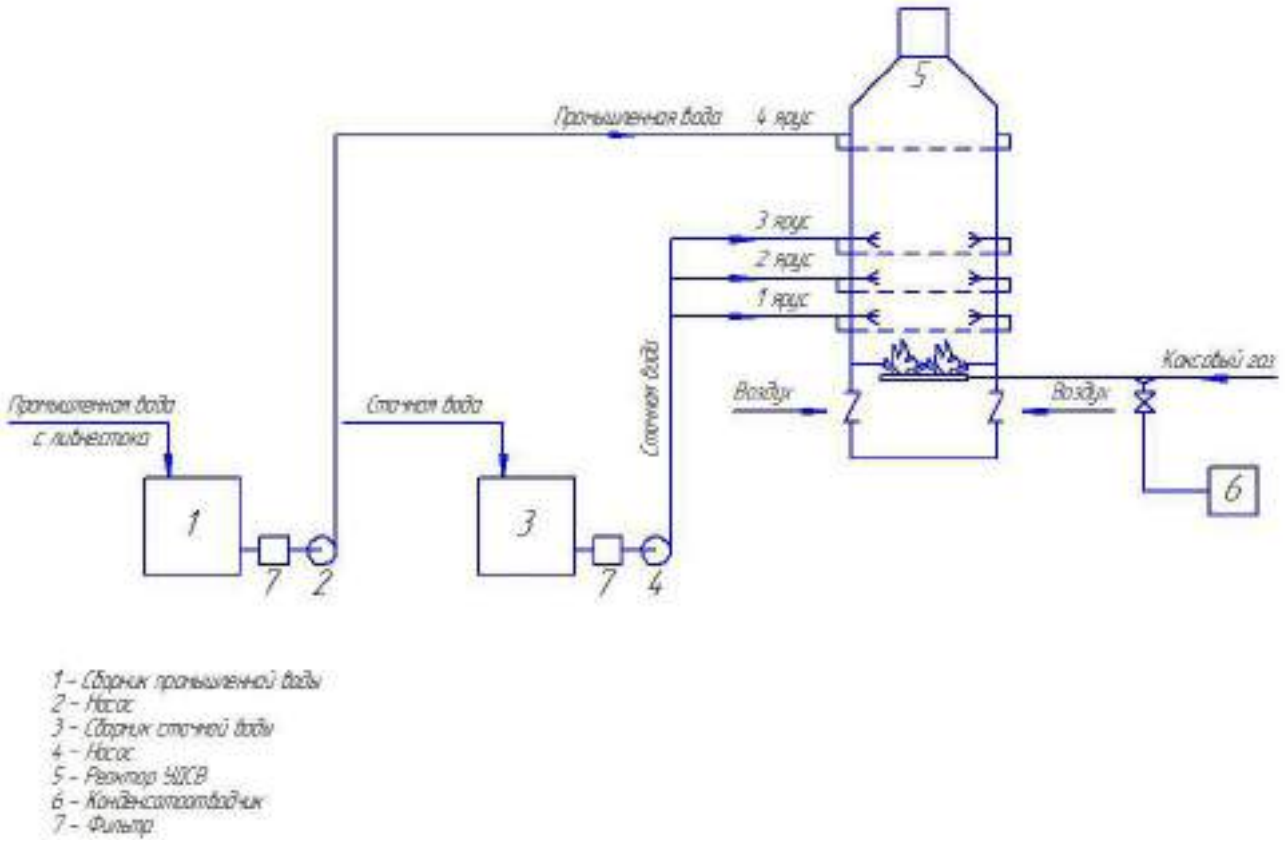


Рисунок 6.16 – Схема установки сжигания сточных вод

6.2.10 Совместная утилизация твердых и жидких отходов

На установке предусмотрен приемный бункер, куда выгружаются каменноугольные фусы после мехосветлителей химических цехов, доставляемые к установке утилизации автотранспортом. Имеется сборник-накопитель для жидких химотходов, куда периодически закачивается эмульсия после нейтрализации.

Из приемного бункера фусы передаются в один из двух бункеров-накопителей твердых отходов, где осуществляется их постоянная циркуляция через мокрый измельчитель (мацератор). Поступившие фусы и эмульсия из соответствующих бункеров-накопителей и сборника-накопителя закачиваются в сборник – смеситель готовой суспензии, где осуществляется их постоянное циркуляционное перемешивание. Дозировочным насосом из сборника – смесителя готовой суспензии периодически выполняется подача суспензии на ленту с шихтой. В месте непосредственной подачи суспензии на шихту на транспортере устанавливается роторный смеситель специальной модели, с помощью которого выполняется перемешивание до однородного состояния дозируемой суспензии с шихтой на ленте.

Установка сооружена на АО «Уральская Сталь».

6.3 Перспективные технологии производства чугуна

6.3.1 Технология доменной плавки на подготовленном сырье, комбинированном дутье и повышенным расходом ПУТ

Технология доменной плавки на подготовленном сырье, комбинированном дутье с повышенным расходом ПУТ, с расходом природного газа 40–80 м^3/т чугуна, кислорода до 28–32 %, ПУТ до 160–180 кг/т. При этом достигается удельная производительность 2,1–2,3 т/м^3 сут, расход кокса снижается до 330–350 кг/т.

6.3.2 Доменная плавка с высоким расходом кислорода и природного газа («кислородная плавка»)

Доменная плавка на кислородном дутье и природном газе приведёт к отказу от воздухонагревателей дутья, повысит восстановительный потенциал газов в печи, в том числе за счёт большой доли водорода, ускорит процессы восстановления, позволит уменьшить высоту доменной печи и снизить требования к прочности кокса, сократит его потребность.

Доменный газ не будет содержать балластный азот, с меньшими затратами можно будет осуществить отмывку колошникового газа от CO_2.

6.3.3 Выплавка чугуна с применением офлюсованных окатышей.

Для обеспечения устойчивой и высокопроизводительной эксплуатации доменной печи важно обеспечивать высокую проницаемость зоны когезии для газов и жидких продуктов плавки. Создание нужных условий и положения вязко-пластичной зоны плавления (когезии) выполняется за счет контроля и управления химическим составом и свойствами окатышей и агломерата.

Добавление флюсов на основе Ca и/или Mg в шихту при производстве окатышей улучшает их металлургические свойства, особенно, восстановимость и повышает температуры размягчения и плавления. Офлюсованные окатыши обеспечивают более высокую газопроницаемость, более быстрое восстановление и, следовательно, более низкий расход кокса.

Офлюсованные окатыши имеют следующие преимущества:

- процесс разложения карбонатных флюсов выводится из ДП (снижение расхода кокса) и производится при обжиге окатышей;

- добавленный известняк (флюс) после обжига дает дополнительную пористость в обожженных окатышах, тем самым повышая восстановимость окатышей;

- температура размягчения и плавления увеличивается на 100–200 ^oC и сопоставима с характеристиками плавления агломерата. Зона плавления (когезии) сужается (уменьшаются температуры начала и окончания плавления первичных шлаков), уменьшая перепад давления от фурм до уровня засыпи и способствуя более плавному схождению шихты и росту производительности ДП;

- при добавлении офлюсованных окатышей снижается FeO в первичных шлаках, снижаются тепловые потери (частично этот эффект может быть компенсирован увеличением FeO;

- корни зоны когезии при использовании офлюсованных окатышей ближе к фурмам и, в результате, меньше SiO_2 восстанавливается в Si в жидком чугуне;

- добавление флюса через окатыши приведет к уменьшению основности агломерата и изменению его металлургических свойств, химического состава, повышения Fe в агломерате (противоположно уменьшится Fe (хим. состав) в окатышах (при их офлюсовании);

- снижение содержание FeO в первичных шлаках уменьшит износ футеровки ДП.

Современная теория доменного процесса, многочисленные промышленные эксперименты, проведенные за рубежом, показывает, что увеличение доли офлюсованных окатышей или полный переход на офлюсованные окатыши в доменной шихте приводит к снижению расхода кокса и повышению производительности ДП.

6.3.4 Десиликонизация чугуна в желобе ДП или чугуновозном ковше

Основные цели десиликонизации:

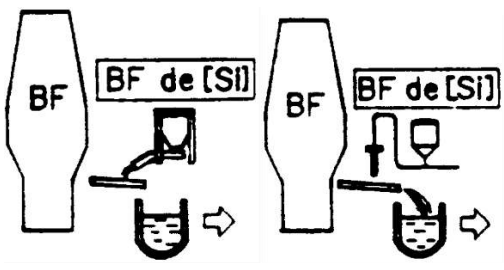
- уменьшение количества шлака и расхода флюсов;
- увеличение выхода железа и марганца;
- существенное сокращение теплопотерь со шлаком;
- снижение расхода и потерь огнеупоров;
- создание условий для дефосфорации и десульфурации чугуна;
- стабилизация процесса выплавки стали в конвертере и повышение качества стали.

Существуют несколько способов и режимов подачи реагентов при десиликонизации [202–203], некоторые из них иллюстрирует схема рисунка 6.17:

Способ	Агрегат	Метод
Непрерывный	Желоб ДП	Загрузка реагентов
	Качающийся лоток	Вдувание реагентов
Порционный	Чугуновозный ковш (торпеда)	Вдувание реагентов
	Заливочный ковш	Вдувание реагентов

Реагентами для десиликонизации являются материалы, несущие источник кислорода для окисления кремния:

- газообразный кислород;
- твердые оксиды: прокатная окалина, мелочь агломерата и окатышей, марганцевая и богатая железная руда.



а) б)

Рисунок 6.17 – Схематичное представление метода десиликонизации в желобе ДП (а) – загрузка реагента в желоб, б) – вдувание реагента в желоб (BF – доменная печь).

6.3.5 Вдувание отходов пластмасс

Технология вдувания пластиковых отходов в ДП внедрена впервые на металлургических заводах «Stahlwerke Bremen» в 1993 году (ДП № 2) и в Японии на JFE Steel (ранее NKK) в 1996 г.

Схема переработки отходов пластмасс в Европе и Японии похожи. Годную для повторного использования пластмассу выделяют на мусоросортировочных заводах из общей массы отходов (рисунок 6.18). Несортируемая смесь пластмасс (упаковочный материал) перерабатывается в дисперсный материал для вдувания в доменные, коксовые и цементные печи [174–176].

Целями внедрения вдувания отходов пластмасс являются:

- безопасная утилизация пластмасс, в том числе хлорорганических соединений;
- извлечение пластиковых отходов из отходов объёма ТБО, снижение хлорорганических выбросов (диоксины, фураны) на мусоросжигательных заводах;
- увеличение ресурса полигонов под размещение отходов пластмасс или канцерогенной золы после сжигания пластмасс;
- использование пластмассы (ПЛ) как топлива в ДП с коэффициентов замены 0,8–0,9 кг/кг кокса с расходом до 80 кг/т чугуна (рекомендуемый расход без сажеобразования до 50 кг/т чугуна).

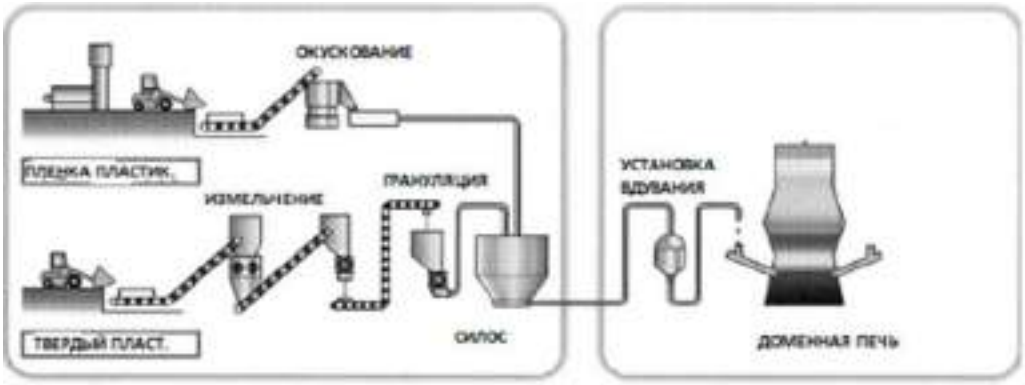


Рисунок 6.18 – Упрощенная блок схема технологии вдувания отходов пластмасс (NKK, Япония)

Технология подготовки отходов пластмасс для вдувания в доменные печи включает дробление, выделение примесей и получение дисперсного или гранулированного материала.

6.3.6 Воздухонагреватель конструкции Калугина (ВНК) с подогревом воздуха горения

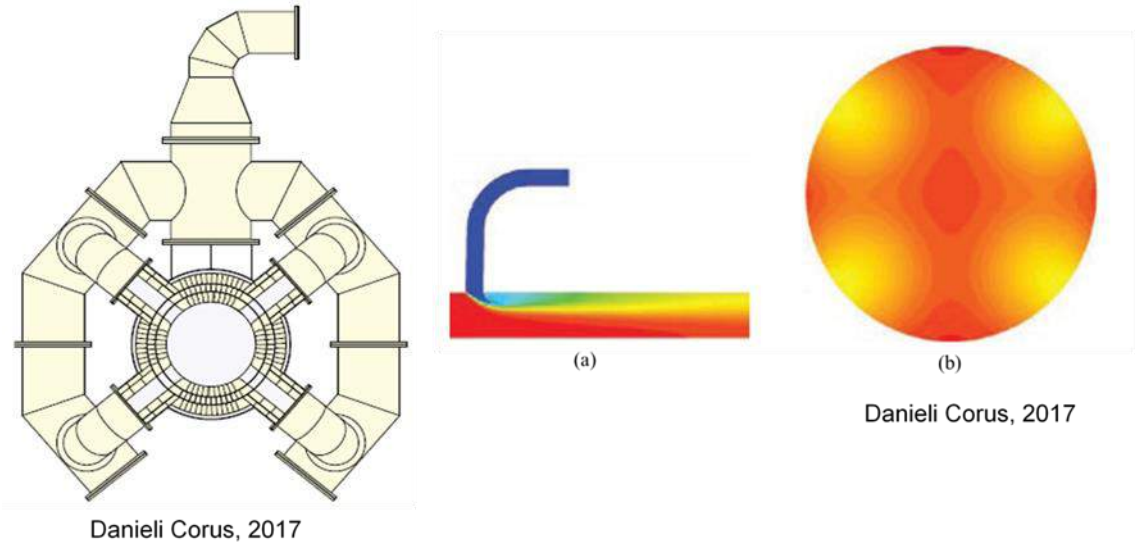
Нагрев дутья осуществляется в бесшахтных воздухонагревателях со струйно-вихревой горелкой с подогревом воздуха горения в малых ВНК. Обеспечивает дутье до 1400 °С. Срок эксплуатации – 30 лет, концентрация CO в отходящем газе – не более 50 мг/м^3. Концентрация NO_x – не более 100 мг/м^3.

6.3.7. Использование плазменных горелок для повышения температуры дутья

Плазменные горелки (плазмотроны) – это электродуговые газовые нагревающие устройства, использующие высокую температуру, ионизированный и проводящий газ для обеспечения непосредственной передачи тепла от дуги.

В последние годы надежность и эксплуатационные параметры плазмотронов были существенно улучшены. Но при этом предлагаются и новые идеи по применению плазмотронов – установка смесителя холодного и горячего дутья вместо индивидуальных доменных фурм, как это было раньше.

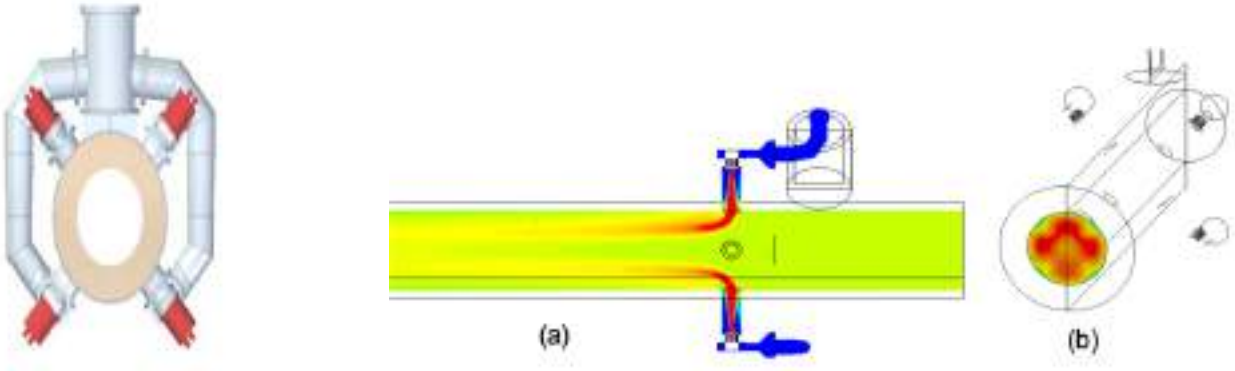
Четырехпальчиковый смеситель холодного дутья смешивает холодный воздух с горячим воздухом, выходящим из воздухонагревателей через четыре отверстия для управления температурой дутья – это общераспространенный способ управления температурой дутья. Из-за добавления холодного воздуха происходит определенная потеря температуры подогретого дутья, поступающего из воздухонагревателей (рисунок 6.19).



a) управление температурой на отверстиях холодного смешивания; b) температурный контур воздушного дутья на расстоянии 5 метров за холодным смесителем.

Рисунок 6.19 – Смеситель холодного дутья и температурный профиль

Использование «горячего смесителя» позволяет увеличить температуру горячего дутья выше уровня, обеспечиваемого на выходе из воздухонагревателя, и поддерживать эту температуру на постоянном уровне. Установка плазмотронов на «горячем смесителе» представлена на рисунке 6.20.



a) температурные контуры на отверстиях «горячего смесителя»; b) температурный контур воздушного дутья на расстоянии 5 м за горячим смесителем

Рисунок 6.20 – Установка плазмотронов на смесителе горячего дутья и температурный профиль дутья

Применение плазматронов и технология «горячего смесителя» по предварительным расчетам дает увеличение температуры дутья на +132 °С [177, 178].

6.3.8 Технология доменной плавки с вдуванием горячих восстановительных газов

В целях повышения энергоэффективности доменной плавки разработана и опробована технология вдувания горячих восстановительных газов (ГВГ).

Сопоставление традиционной схемы производства конвертерной стали и схема производства конвертерной стали с применением технологии ГВГ приведены на рисунке 6.21. Подобная технология на 50 % исключает использование природного газа в доменной плавке, повышает производительность доменной печи на 25,0 %, снижает расход кокса на 30 %, обеспечивает снижение себестоимости чугуна на 10–12 % [179].

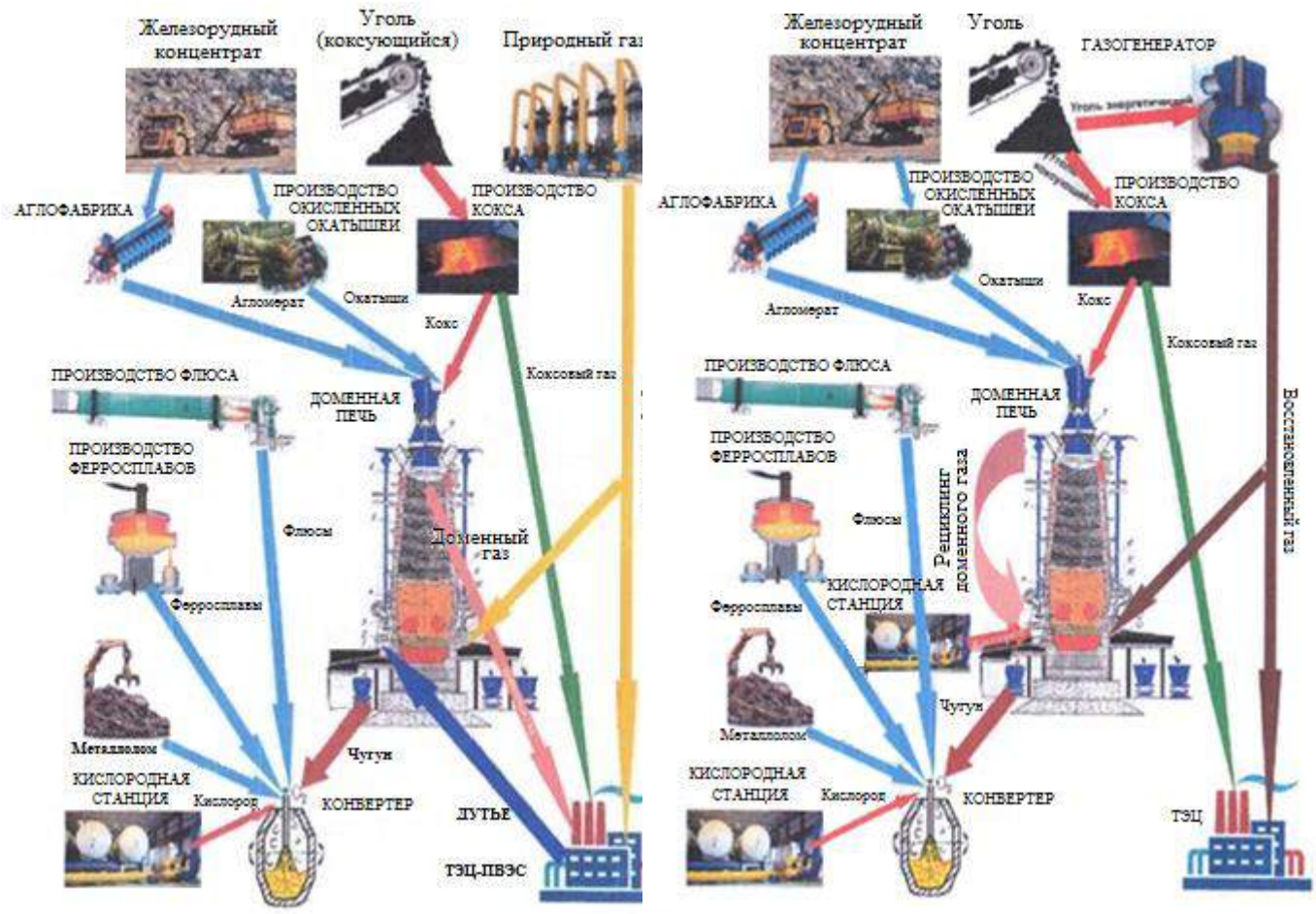


Рисунок 6.21 – Сопоставление традиционной схемы производства стали (а) и схемы производства стали с применением технологии ГВГ (б)

6.3.9 Политопливный газогенератор

В мире широко распространены технологии газификации углей. Произведенный генераторный газ может использоваться как энергоноситель для производства электрической и тепловой энергии, в качестве энергоносителя на предприятиях металлургии, а также в качестве ГВГ для вдувания в доменные печи. Одной из наиболее перспективных разновидностей технологии газификации углей является их газификация в жидком шлаковом расплаве (в барботажных печах). Предлагается использовать политопливные газогенераторы для производства ГВГ с последующим вдуванием их в доменные печи [180]. Политопливный газогенератор конструкции НИТУ «МИСиС» показан на рисунке 6.22.

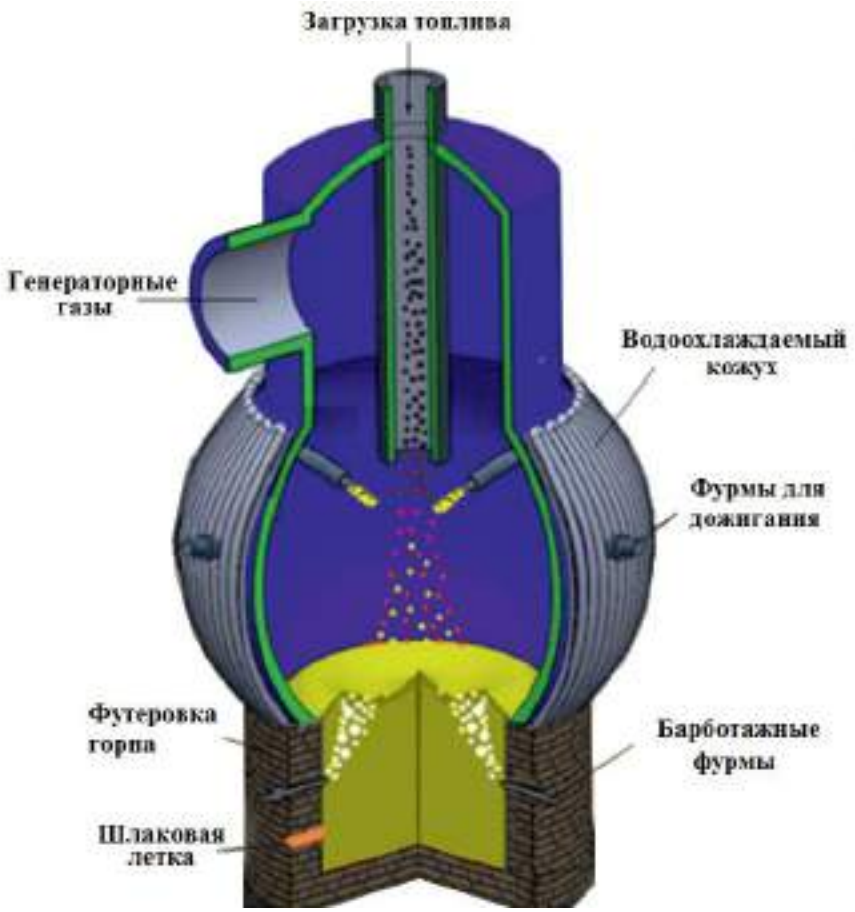


Рисунок 6.22 – Политопливный газогенератор конструкции НИТУ «МИСиС» [180]

Вдувание ГВГ на уровне до 400 м^3/т чугуна приводит к существенному (до 104 кг/т чугуна) снижению расхода кокса. При этом расход дутья снижается на 200–220 м^3/т, выход шлака уменьшается на 10 кг/т при неизменной производительности печи и улучшении параметров доменного газа (выхода и калорийности).

6.3.10 Газоочистка доменного газа сухого типа

Основной аппарат очистки доменного газа представлен рукавным фильтром. Позволяет снизить затраты на обслуживание газоочистки, увеличить производительность доменной печи, уменьшить расход кокса, снизить водопотребление.

Промышленно освоена на одном предприятии.

6.3.11 Применение шлаковозов миксерного типа объёмом 36 м^3

Использование таких ковшей (рисунок 6.23) исключает образование ковшевых остатков, благодаря образующемуся гарнисажу; увеличивает на 20–25 % количество перерабатываемого в жидком виде шлака; ускоряет оборот шлаковозов и сокращает их число в 3–5 раз; позволяет почти полностью улавливать содержащийся в шлаке металл; удлиняет срок службы шлаковозов.

Опробован в опытно-промышленном режиме.

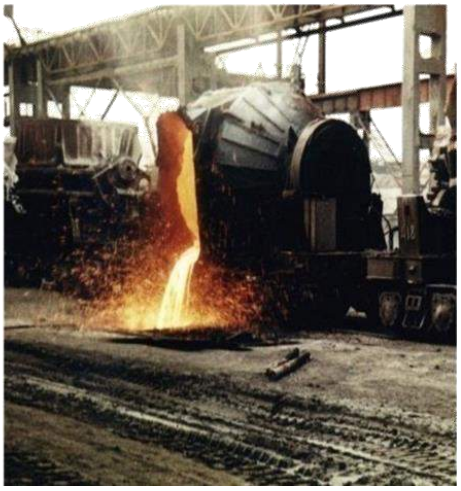


Рисунок 6.23 – Шлаковоз-миксер вместимостью 36 м^3

6.3.12 Применение на доменных печах АСУ-ТП, повышающих эффективность доменной плавки путём непрерывного автоматического контроля состояния печи и измерения технологических параметров с их анализом и рекомендациями по оптимизации и прогнозированию теплового состояния печи

Применение на печах с БЗУ автоматизированной системы контроля, оптимизации и прогноза доменной плавки с модулями контроля, оптимизации и прогноза гарантирует безошибочность ведения доменной плавки для достижения высоких технико-экономических показателей и минимизации расхода кокса.

Применение на печах с БЗУ автоматизированной системы непрерывного контроля и оптимизации зоны плавления с помощью математических моделей теплового состояния печи, которая позволяет вести постоянный автоматический контроль параметров зоны плавления. Это дает повышение эффективности работы, в том числе экономию расхода кокса и срока службы доменных печей

6.3.13 Применение автоматизированной системы модели управления аглококсодоменным производством, основанной на совместном применении методов интеллектуального анализа данных

Применение автоматизированной системы модели управления аглококсодоменным производством, основанной на совместном применении методов интеллектуального анализа данных. Обеспечивает повышение качества агломерата и кокса при минимизации расхода последнего, снижение себестоимости чугуна на 2–3 %.

6.3.14. Системы визуализации процессов в доменной печи

Популярным комплексом систем для визуализации являются:

- камеры на фурменные приборы (рисунок 6.24) – необходимы для визуального контроля процесса горения ПУТ в фурменном очаге, предупреждения и снижения прогаров фурменных приборов из-за отклонений в их работе или прогаров копей ПУТ, а также дает оператору возможность понимать характер распределения комбинированного дутья по окружности доменной печи;

- исследование загрузки шихты – траектория загрузки шихты и профиль поверхности засыпи может быть получен с помощью этой системы до задувки доменной печи; данные по траектории загрузки очень важны для технологов при проектировании матрицы загрузки бесконустного загрузочного устройства при задувке печи и корректировки ее во время эксплуатации доменной печи;

- онлайн лазерный детектор профиля засыпи – для наблюдения за профилем поверхности шихты в режиме реального времени (рисунок 6.25).

Применение этих систем технологами на доменных печах расширяет их возможности по улучшению технологии доменной плавки со снижением расхода топлива и позволяет снизить потери производства от незапланированных простоев доменной печи [181–183].

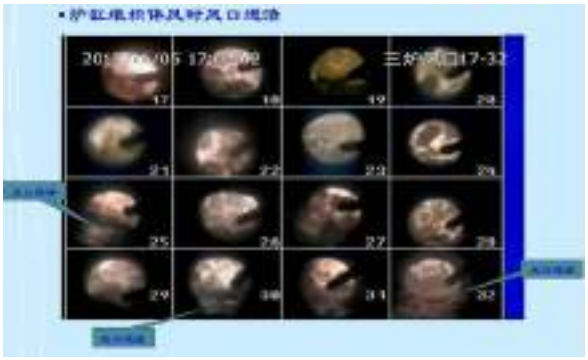


Рисунок 6.24 – Фурменная видеокамера

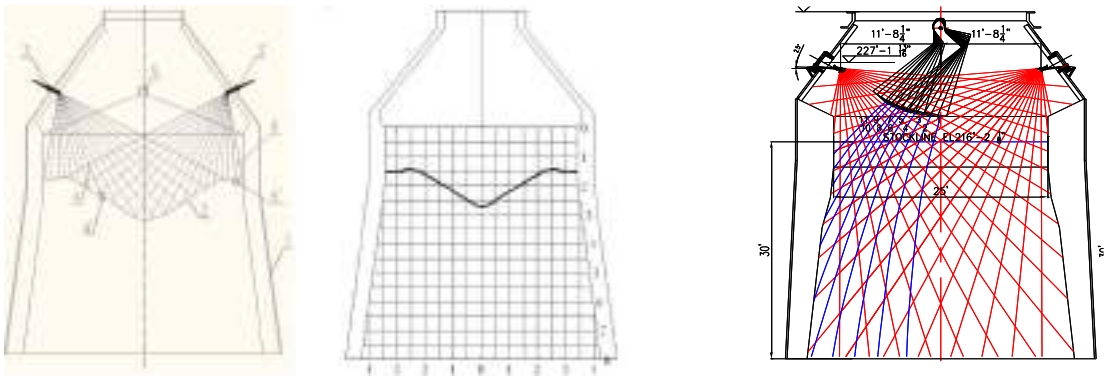


Рисунок 6.25 – Онлайн лазерный детектор профиля засыпи. Исследование загрузки шихты

6.4 Перспективные технологии производства стали в конвертерах

6.4.1 Применение устройства плазменного подогрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ

Устройство плазменного подогрева металла в промежуточном ковше позволяет снизить перегрев стали над ликвидусом и стабилизировать температуру разливаемой стали, что положительно сказывается на качестве непрерывнолитой заготовки и повышает выход годного металла.

В результате применения технологии увеличивается серийность разливаемой стали, снижается уровень отходов в виде обрези и окалины при финишной обработке продукции.

Промышленно освоенная технология.

6.4.2 Технология переработки железосодержащих материалов в жидкой шлаковой ванне без предварительной подготовки (окускования) шихтовых компонентов (процесс РОМЕЛТ)

Низкие удельные расходы энергоносителей: на 20–50 % ниже, чем у лучших мировых аналогов.

Опробована в опытно-промышленном масштабе, построена промышленная установка (см. рисунок 6.26).

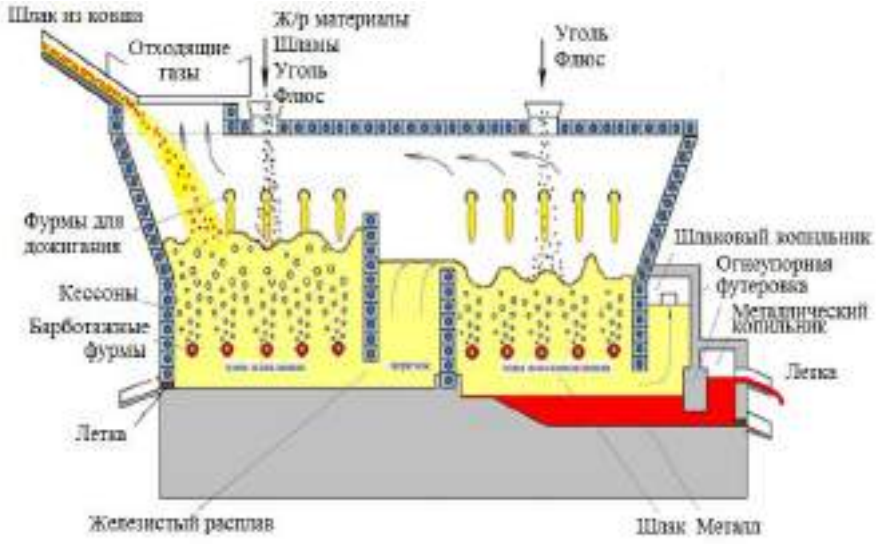


Рисунок 6.26 – Процесс РОМЕЛТ

6.4.3 Новая (контактная оптиковолоконная) система контроля температуры жидкой стали (в конвертере и на установках «ковш-печь»)

Система может устанавливаться в любой огнеупорной конструкции, в том числе в существующих огнеупорных изделиях. Расходной частью при этом является только оптоволокно. Измерение возможно проводить как непрерывно, так и дискретно.

Применение данной системы позволит:

- в непрерывном режиме осуществлять измерение температуры в конвертере и на установках «ковш-печь»;

- снизить расход ферросплавов на 5–10 % (экспертно) за счет точной информации о температуре расплава во время внепечной обработки на установках «ковш-печь».

6.4.4 Автоматизированная система контроля качества поверхности и структуры на МНЛЗ

Данная интеллектуальная система позволяет определить браковочный признак по дефектам поверхности заготовки и соответствие структурного состояния заготовки заданным параметрам.

Эффективность технологии: сокращение отбраковки по дефектам поверхности и структуре заготовки, снижение отходов при финишной обработке металла.

6.4.5 Технологический комплекс стабилизации жидких сталеплавильных шлаков и их последующей переработки

Технология интенсивного охлаждения шлака реализуется в установке, называемой «Барабанный кристаллизатор», который представляет собой вращающийся барабан (рисунок 6.27). Внутренний объем барабана поделен на некоторое количество секций, заполненных металлическими шарами. Каждая секция перекрыта колосниковой решеткой, а сам барабан помещен в тепло-шумо-изолирующий кожух, имеющий проемы для подачи расплава и выгрузки затвердевшего шлака размером 50–100 мм.

Существо технологии заключается в предотвращении самопроизвольного распада шлака из-за полиморфного превращения двухкальциевого силиката за счет его кристаллохимической стабилизации при быстром охлаждении.

Производительность установки 3 т/мин (или 60–90 т в час), расход воды 1 $м^3$/т шлака.

Устанавливается непосредственно рядом с агрегатом внепечной обработки. Возможно применение для охлаждения шлаков конвертерной плавки (при увеличении производительности модуля). Результативность: обеспечивает рециклинг 90 % шлака и металла с возвратом шлака в качестве заменителя извести, снижение потребления извести и доломита.

Опробован в опытно-промышленном режиме; закончена строительством установка «Барабанный кристаллизатор» в АО «Выксунский металлургический завод».



Рисунок 6.27 – Барабанный кристаллизатор для интенсивного охлаждения шлака [184]

Комплексная технология переработки шлаков после охлаждения в «Барабанном кристаллизаторе» представлена на рисунке 6.28.

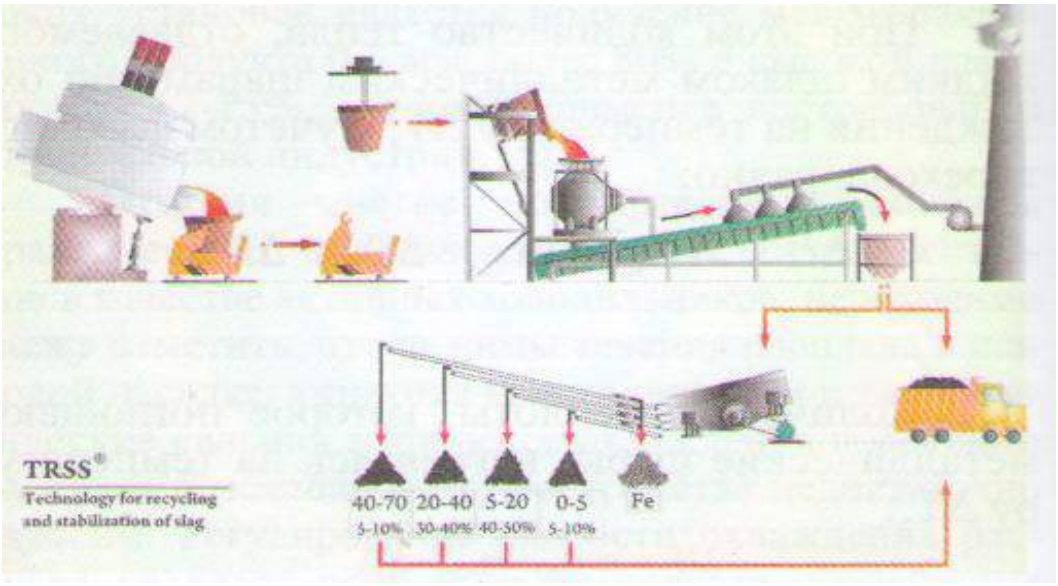


Рисунок 6.28 – Комплексная технология переработки шлаков после охлаждения в «барабанном кристаллизаторе»

6.4.6 Система утилизации конвертерного газа

Конверторный газ представляет собой вторичный энергетический ресурс с теплотворной способностью до 9,2 МДж/м^3.

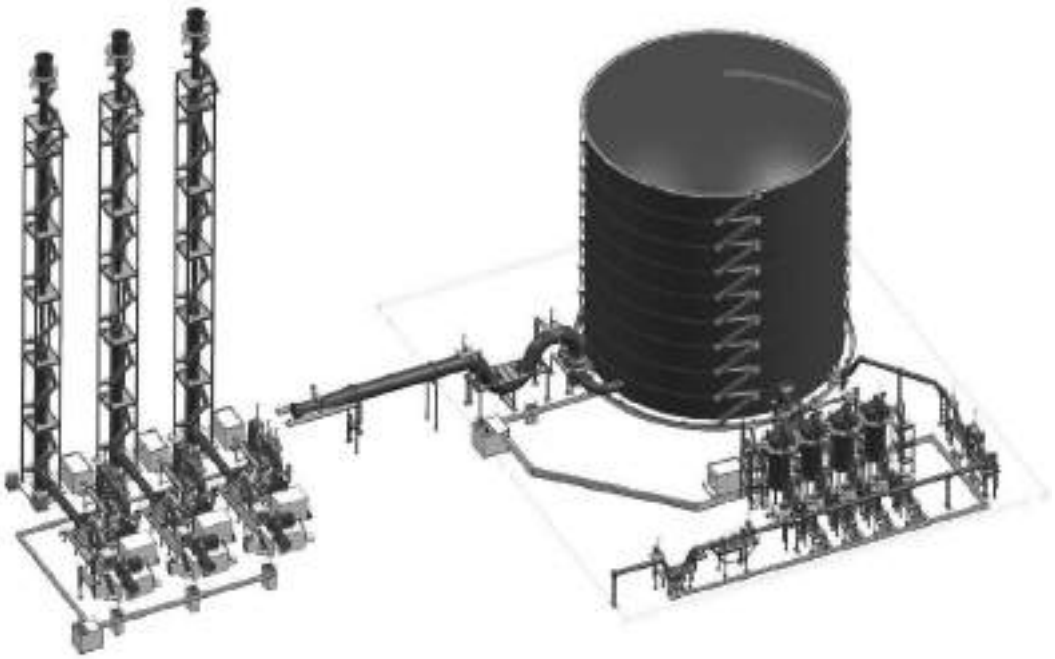


Рисунок 6.29 – Система сбора и хранения конверторного газа

Для реализации схемы сбора, хранения и транспортировки конвертерного газа и его использования в качестве топлива необходима установка в схему газоотводящего тракта конвертера клапанной станции, которая позволит направлять поток конвертерного газа в систему его сбора или на дымовую трубу (свечу дожигания) (см. рисунок 6.29).

Переключение клапанов осуществляется системой автоматического управления в зависимости от теплотворной способности конвертерного газа (содержания CO как основного горючего элемента в конвертерном газе). Общемировая практика реализации систем сбора конвертерного газа – подача конвертерного газа в систему его сбора при объемной доле CO 27 % и выше. Соответственно при снижении CO ниже 27 % происходит переключение потока конвертерного газа на дымовую трубу.

Газоочистка конвертерного газа обеспечивает его запыленность на уровне 50 мг/м^3. Для использования конвертерного газа в качестве топлива на газопотребляющих агрегатах необходима дополнительная его очистка от пыли до уровня 4 мг/м^3. Это достигается путем установки электрофильтров или рукавных фильтров в газоотводящий тракт после клапанной станции

Очищенный конвертерный газ подается в систему его хранения, представляющую собой газгольдер. Газгольдер – устройство для хранения газов. Существуют газгольдеры постоянного объема и динамические газгольдеры, имеющие конструктивную возможность изменять объем хранения газов. В газгольдере происходит усреднение химического состава конвертерного газа, а также его температуры.

Для транспортировки конвертерного газа к потребителю на выходе из газгольдера устанавливаются газодувки, которые обеспечивают постоянный расход конвертерного газа с необходимым уровнем давления.

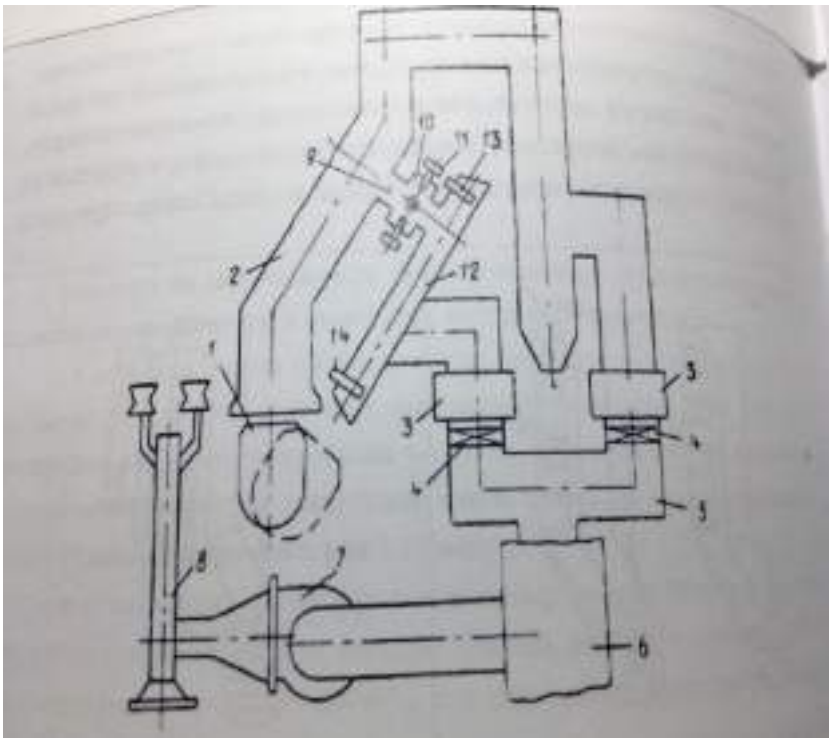
Технология обеспечивает снижение выбросов загрязняющих веществ, сокращение потребления природного газа и повышение таким образом энергоэффективности производства стали.

6.4.7 Утилизация тепла горячих слябов

Технология предполагает строительство футерованных термосов-накопителей для обеспечения замедленного охлаждения слябов толщиной 355 мм, что позволит улучшить качество выпускаемой продукции, снизить теплопотери в окружающую среду и улучшить условия труда на складе слябов.

6.4.8 Подогрев металлического лома за счет тепла отходящих газов

Вариант этой технологии может быть реализован различными путями [185]: в опускном газоходе (в режиме неподвижного слоя и прямотока); в нагревателе лома (шахтного типа), размещенном в нижней части газохода с противоточным движением материала и газового потока; в прямоточном теплообменнике (рисунок 6.30).



1 – конвертер, 2 – камин, 3 – скрубберы, 4 – шиберы, 5 – коллектор,
6 – газоочистное устройство, 7 – дымосос, 8 – свеча, 9 – байпасный отвод,
10 – форкамера, 11 – фурмы, 12 – камера для нагрева шихтовых материалов (лома),
13 и 14 – верхняя и нижняя задвижки

Рисунок 6.30 – Схема нагрева шихтовых материалов при использовании химического и физического тепла конвертерных газов [185]

В газоотводящем тракте конвертера на участке камин – система очистки газов встраивается байпасное ответвление 9, в котором располагается форкамера 10 с фурмами 11 для подвода окислителя (воздуха или кислорода), а также камера 12 для

нагрева шихтовых материалов. Для загрузки и выгрузки шихтовых материалов служат задвижки 13 и 14. Загрузка шихты в камеру 12 происходит перед началом продувки чугуна. При продувке поток газа из конвертера 1 поступает в камин 2, где разделяется на 2 части, одна из которых поступает в форкамеру 10 и служит теплоносителем для нагрева шихты.по выходе из камеры 12 поток газа в коллекторе 5 смешивается с основным потоком газа и далее по обычной схеме через свечу сбрасывается в атмосферу. Регулирование потоков газа, транспортируемых через камеру 12 и основной газоотведящий тракт конвертера, осуществляется с помощью шиберов 4. По окончании плавки после слива стали открытием нижней задвижки 14 нагретая шихта по наклонной плоскости загружается в конвертер. Продолжительность плавки определяет время подогрева шихтовых материалов, а размер куска материала – колчество газа, проходящего через камеру 12, и таким образом – конечную температуру нагрева шихтовых материалов.

6.5 Перспективные технологии производства стали в электродуговых печах

6.5.1 Повышение мощности печных трансформаторов

Повышение максимального вторичного напряжения с 1000 В до 1350–1600 В позволит увеличить мощность печных трансформаторов без увеличения плотности тока в электродах с сохранением расхода электродов на прежнем уровне.

6.5.2 Печи нового поколения концепции ULTIMATE

Печи нового поколения вместимостью 120–250 т. Конструктивные особенности печи нового поколения представлены на рисунке 6.31.

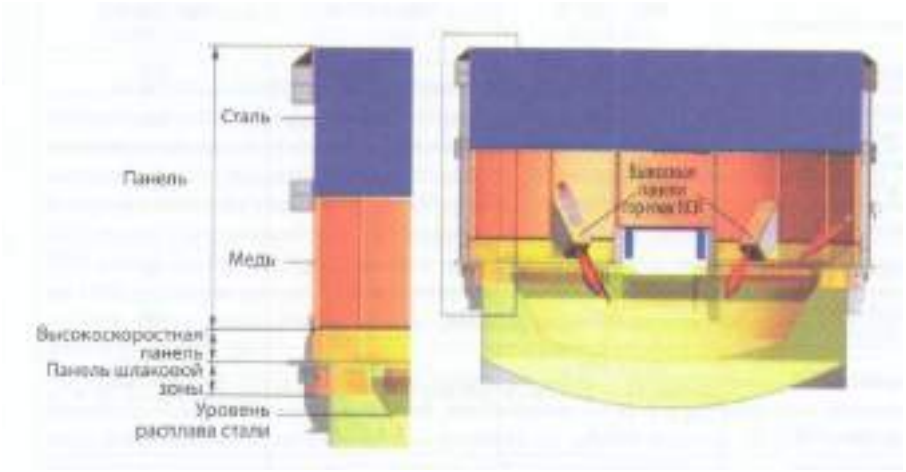


Рисунок 6.31 – Принципиальная конструкция электродуговой печи ULTIMATE

Печь концепции ULTIMATE характеризуется следующими особенностями:

- верхняя ступень вторичного напряжения имеет самое высокое значение – 1600 В, что позволяет вводить ультравысокую мощность – до 200 МВА с использованием стандартных электродов диаметром 610 мм на допустимом токе не более 100 кА;

- располагает альтернативными источниками энергии – газокислородными горелками с мощностью по 3.6 МВт; инжекторы кислорода и углеводородов позволяют водить до 10–12 % активной электрической мощности;

- увеличенная высота печного пространства до 4,5 м от зеркала металла до верха стен позволяет осуществлять загрузку шихты одной корзиной и нагрев шихты отходящими газами, сокращается время бестоковых пауз, уменьшается угар металла и выбросы газов из печи;

- система инфракрасного контроля и отсечки шлака при автоматизированном выпуске металла из печи;

- организация дожигания CO в рабочем пространстве, работа со вспененными шлаками.

Часовая производительность печи вместимостью 180 т составляет 240 т/ч, расход электроэнергии 340 кВт*ч/т стали.

6.5.3 Использование проектных решений электродуговой печи Quantum



Рисунок 6.32 – Электродуговая печь Quantum

Проектные решения, заложенные в конструкцию этой печи, обеспечивают высокую производительность при исключительно низких затратах. Отходящий газ, образующийся во время плавки, используется для подогрева 100 % лома, который впоследствии опускается в ванну. Это сокращает длительность плавки до 33 мин и менее. ДСП Quantum (рисунок 6.32) имеет ряд преимуществ перед другими шахтными печами, в том числе с удерживающими пальцами для подогрева лома:

- повышенная герметичность, обеспечивающая минимальное всасывание воздуха, благодаря фиксированной конструкции шахты и подвижному кожуху печи;

- улучшенная трапециевидная шахта для оптимального распределения лома и эффективности подогрева, особенно при низкой плотности лома;

- новая конструкция системы удержания лома для лучшей подачи лома в зону плавления;

- увеличение болота для улучшения теплообмена и ускорения процесса плавления;

- плавление без скачков напряжения благодаря новой конструкции, предусматривающей особое положение электродов относительно шахты.

Уровень энергопотребления 280 кВтч/т, в сочетании со сниженным потребления кислорода и топлива.

Промышленно освоена.

6.5.4 Технологии повышения использования химической энергии

Подача кислорода для дожигания оксида углерода до диоксида углерода в ДСП. Повышение использования теплотворной способности углерода в ДСП. Снижение расхода электроэнергии на 5–10 %.

Затраты составят примерно 0,1–0,5 % от основной стоимости ДСП.

6.5.5 Технологии донной продувки металла газами через пористые пробки

Продувка металла инертным газом производится через пористые вставки-пробки, как правило, имеется три, установленные в подине печи вне диаметра распада электродов. Это позволяет ускорить процесс расплавления лома, в ходе всей плавки обеспечить усреднение температуры и состава жидкой ванны, способствует формированию пенистого шлака.

Расход электроэнергии снижается на 10–25 кВтч/т.

6.5.6 Технологии нагрева лома

В процессе нагрева лома в корзинах в помещении цеха выделяются загрязняющие вещества. Как правило, металлический лом содержит масла, пластмассы и другие горючие материалы. При нагреве эти материалы возгоняются и горят с образованием токсичных газообразных химических соединений. Технология нагрева лома в установке с рециркуляцией газов решает эту проблему (см. рисунок 6.33). Газы, охладившиеся после нагрева корзины с ломом, возвращаются в камеру дожигания 2, установленную на тракте прямого отсоса газов из рабочего пространства печи. В этой камере газы смешиваются с высокотемпературными газами, отводимыми из печи, и дополнительно нагреваются горелками, что приводит к достаточно полному разложению и выгоранию токсичных выделений из лома. Из камеры дожигания примерно 60 % газов возвращается в камеру 1 для нагрева лома в корзине. Остальные газы направляются по газоходу 3 на газоочистку. Таким образом, большая часть уходящих из печи газов с помощью дополнительного дымососа 4 циркулирует между камерой дожигания и установкой нагрева лома.

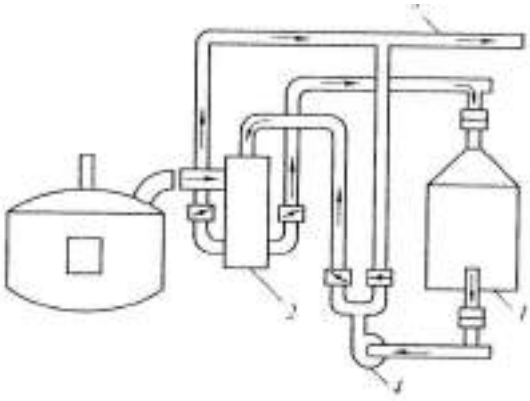


Рисунок 6.33 – Схема нагрева лома в загрузочной корзине с рециркуляцией газов

6.5.7 Расширение технологических возможностей внепечной обработки

Включение в перечень агрегатов внепечной обработки стенда для тщательного скачивания шлака. Повышение степени рафинирования металла при внепечной обработке.

Затраты на стенд для скачивания шлака могут составить 10–15 % от установки комплексной обработки сталей.

6.5.8 Технологии, включенные в п.п.6.4.1, 6.4.3, 6.4.4, 6.4.5, 6.4.7

6.5.9 Технологии утилизации тепла сталеплавильных шлаков (варианты)

6.5.10 Технологии использования АСУ ТП «Обработка плавки на установке "ковш-печь"»

Структурная схема математической модели включает:

- модуль управления химическим составом шлака;
- модуль расчёта добавок материалов;
- модуль расчёта температуры стали;
- модуль управления процессом обработки.

Использование данной модели позволит получать металлопродукцию в узких пределах химического состава и с заданными характеристиками, снизить количество плавок с переводом в пониженную марку.

Структурная схема математической модели обработки плавки на УКП изображена на рисунке 6.34.

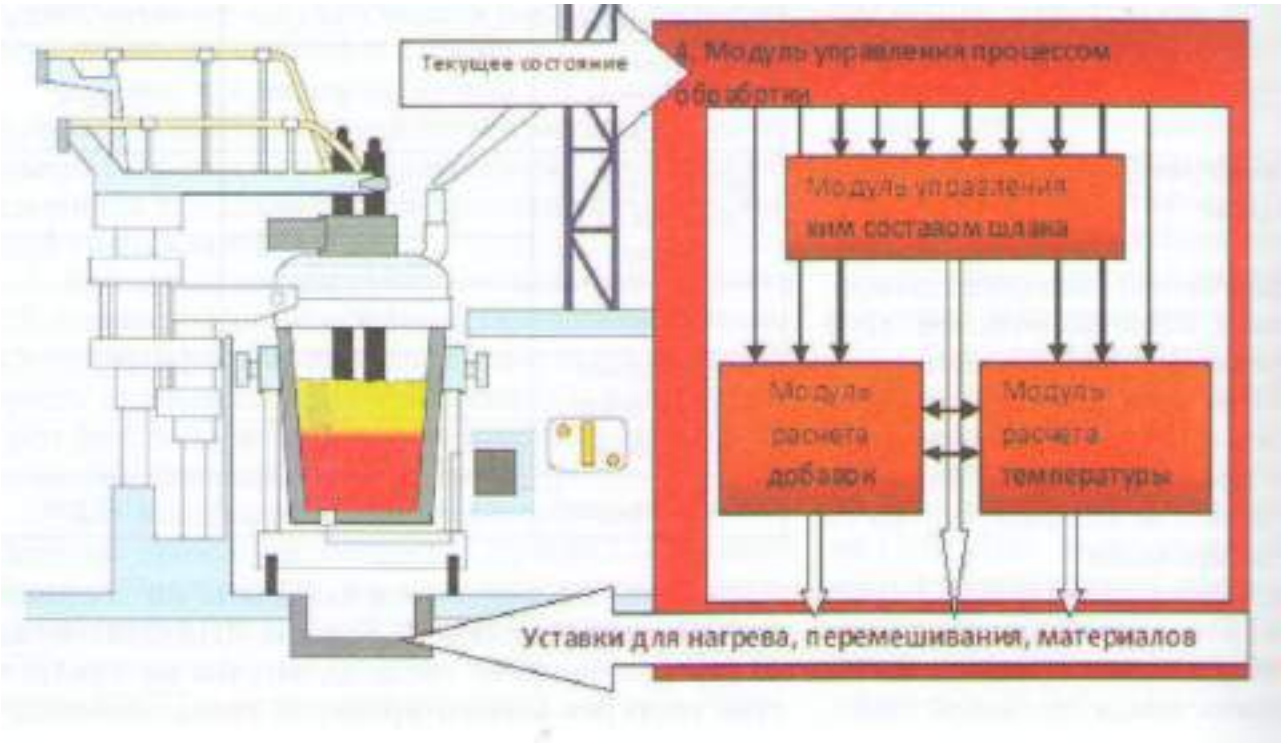


Рисунок 6.34 – Структурная схема математической модели обработки плавки на УКП

6.5.11 Роботизация процессов отбора проб, замера температуры и окисленности, оценки состояния футеровки ДСП.

6.5.12 Роботизация обслуживания эркерного канала ДСП

6.5.13 Автоматизированное присоединение аргона к стальковшу на всех этапах обработки

6.5.14 Автоматизация процесса выпуска стали из ДСП с использованием датчиков наклона печи, «машинного зрения» для отсечки шлака и измерения уровня металла в ковше, весов сталевоза с целью оптимизации наливов сталеразливочных ковшей и сокращения длительности плавки

6.6 Перспективные технологии производства ферросплавов

6.6.1 Применение предварительного подогрева шихты, загружаемой в руднотермическую печь, отходящими газами

Предварительный подогрев шихты может осуществляться двумя способами: за счет физического тепла отходящих газов и/или их химического потенциала. Отходящие от руднотермической печи газы проходят через загружаемую в печь шихту в вертикальной шахте над ванной руднотермической печи, после чего направляются на газоочистку.

Применение предварительного подогрева шихты за счет сжигания печного газа наиболее отработано при производстве углеродистого феррохрома в компании Outotec (Финляндия) в герметичных руднотермических печах (см. рисунок 6.35).

Подготовленные и отдозированные шихтовые материалы загружают в печь предварительного нагрева, установленную над герметичной руднотермической печью. Подогрев шихты в печи предварительного нагрева производят за счет сжигания печного газа из руднотермической печи (80–88 % CO). Печной газ предварительно очищают в мокрой газоочистке – скрубберах Вентури. Подогретая шихта по труботечкам в днище печи предварительного подогрева под собственным весом опускается в руднотермическую печь, где происходит плавка углеродистого феррохрома.

Газ из печи предварительного нагрева также очищают в скрубберах Вентури. После этого чистый газ выбрасывают в атмосферу.

Применение подогрева шихты за счет химического тепла печных газов позволяет снизить расход электроэнергии на 10–15 % и значительно снизить себестоимость выплавки феррохрома.

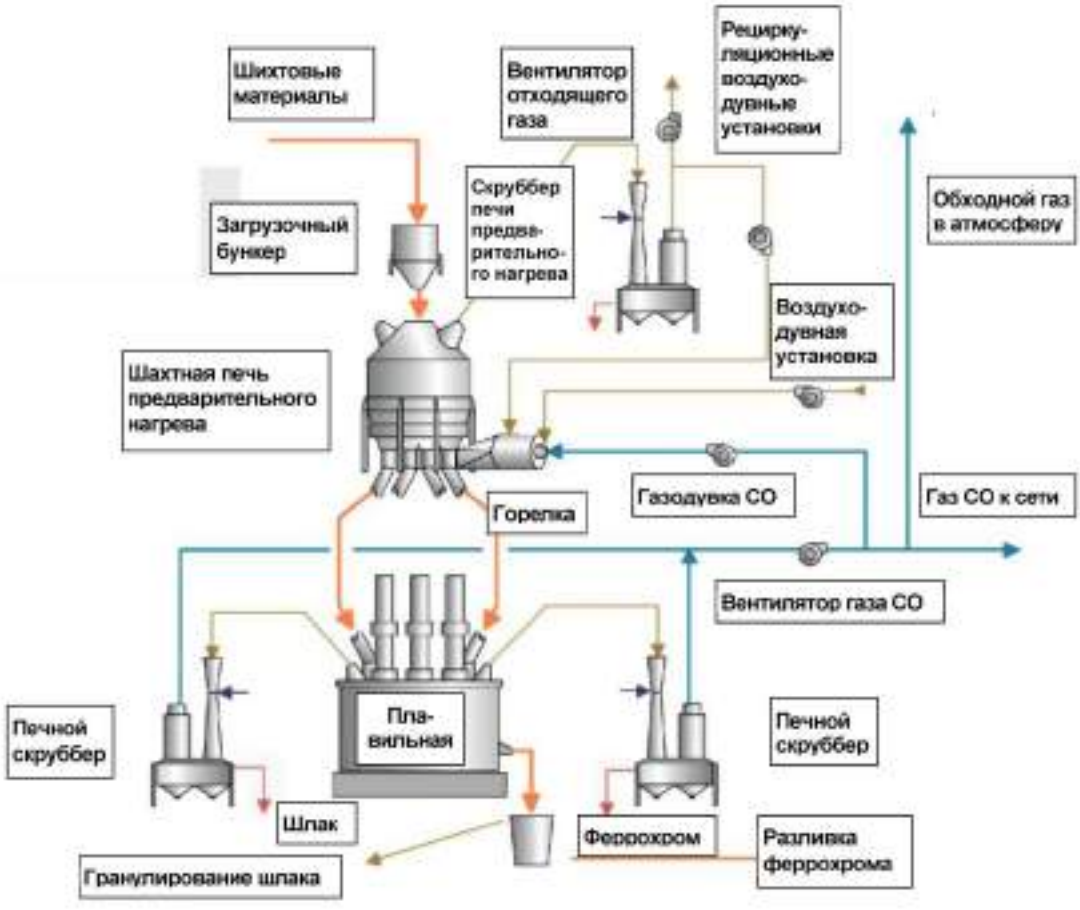


Рисунок 6.35 – Технологическая схема предварительного нагрева, плавки и газоочистки в процессе производства феррохрома (компания Outotec)

6.6.2 Использование тепла печных газов для производства тепловой и электроэнергии

Технология применима к ферросплавам, которые выплавляют в открытых и полузакрытых руднотермическихпечах (например, при выплавке ферросилиция).

В полузакрытых рудотермических печах горючие компоненты технологических газов полностью сгорают над колошником печи. Современные печи оснащены заслонками, позволяющими точно регулировать температуру отходящих газов от 550 °С до 750 °С. Вместо того чтобы охлаждать отходящие газы за счет разбавления воздухом, энергия отходящего газа используется для генерации перегретого пара внутри котла-утилизатора.

Типичная блок-схема рекуперации энергии от руднотермической печи приведена на рисунке 6.36.

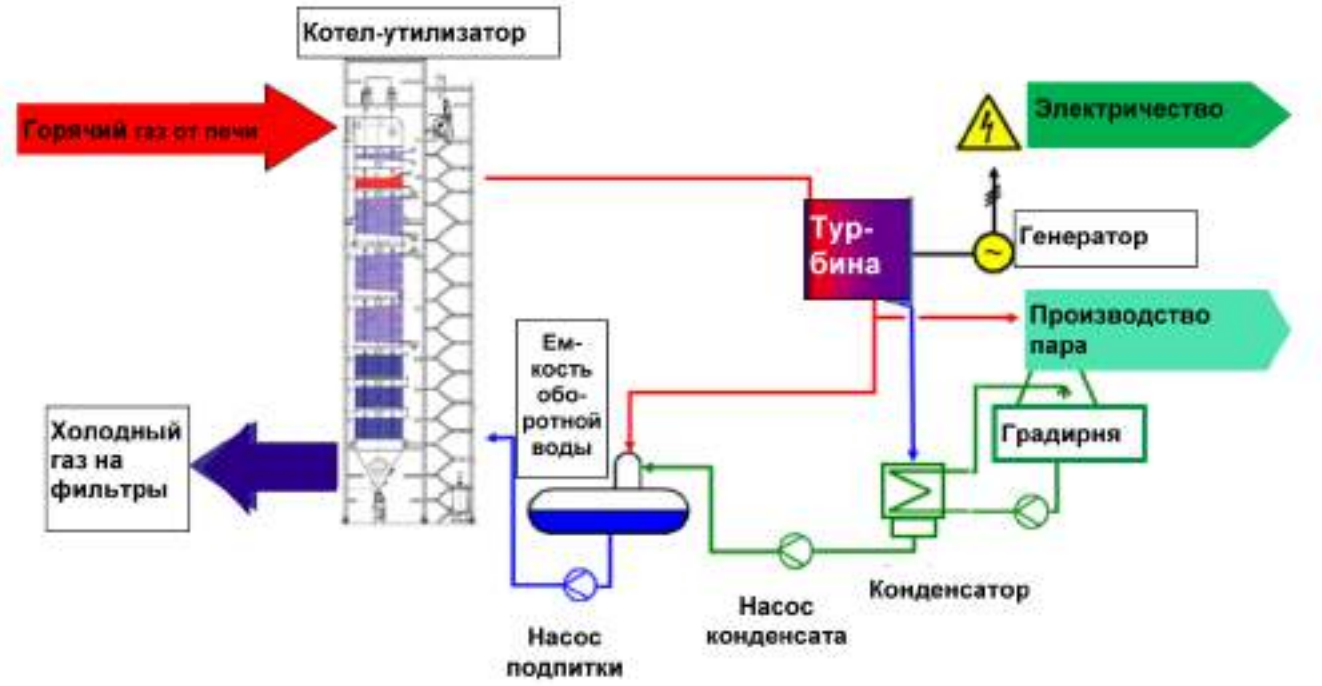


Рисунок 6.36 – Типичная блок-схема рекуперации энергии при выплавке ферросплава в руднотермической печи

Котел-утилизатор представляет собой башню, в верхнюю часть которой подают горячий газ от печи. Внутри башни находятся пакеты труб для экономайзера, испарителя и пароперегревателя. Охлажденный газ забирают снизу башни на газоочистку.

Верхняя часть корпуса котла состоит из водоохлаждаемых стен и относится к испарительной системе (пароперегреватель). Эта мера приводит к очень высокой гибкости системы в случае пиков температуры отходящих газов и т. д.

Производимый пар от пароперегревателя может быть использован для различного применения, например для выработки электроэнергии или для отопления.

Электроэнергия возвращается в сеть, пар направляется на нужды отопления. Это позволяет, например, при выплавке ферросилиция возвратить до 22 % электроэнергии, за счет этого – снизить себестоимость его выплавки.

6.6.3 Применение постоянного электрического тока для выплавки ферросплавов

Печи постоянного тока получают все большее распространение при выплавке ферросплавов. Мощность действующих печей достигает 60 МВт. Принципиальная схема печи постоянного тока представлена на рисунке 6.37.

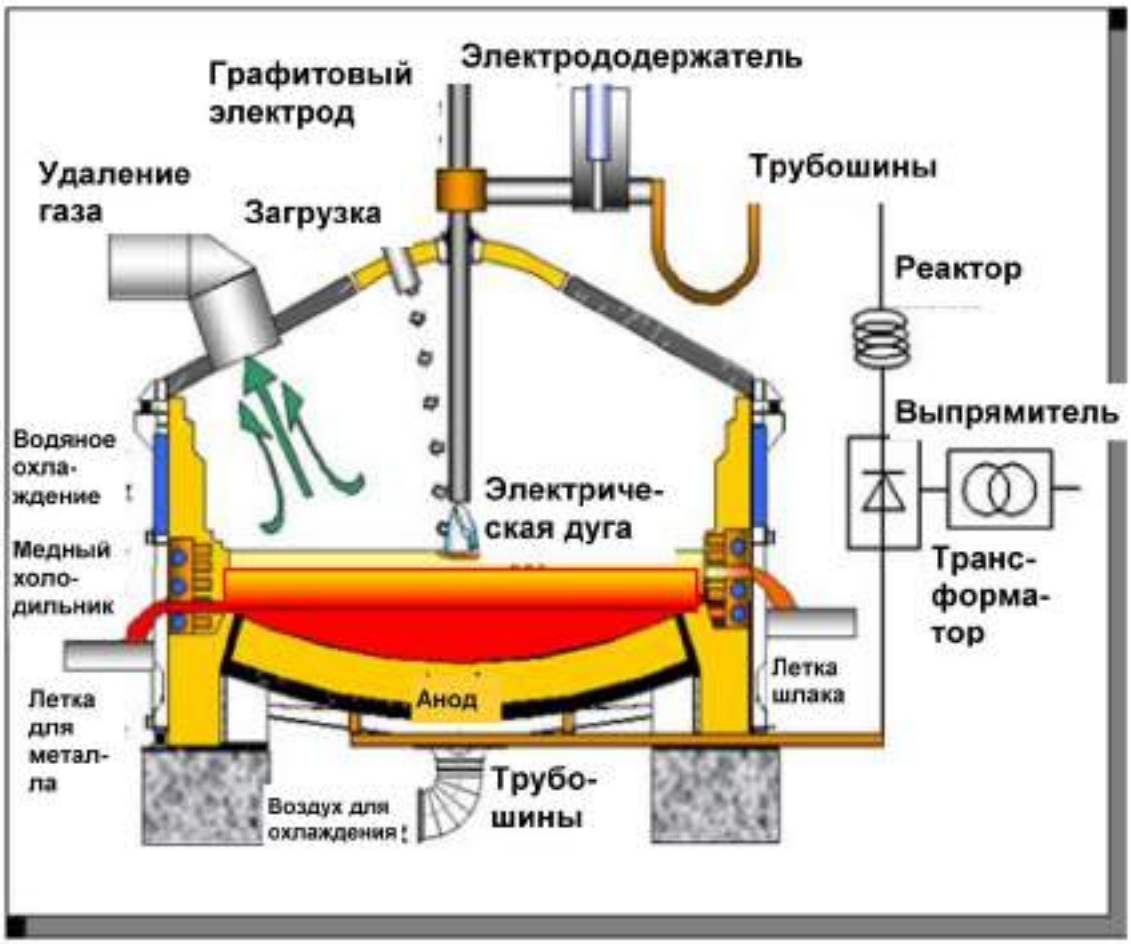


Рисунок 6.37 – Принципиальная схема печи постоянного тока

Трехфазный электрический ток для этой печи преобразуется в выпрямителе в постоянный электрический ток. Анодом (отрицательная фаза) служит токопроводящая подина печи. Катодом (положительная фаза) – подвижный графитовый электрод, который опускают в ванну печи сверху через герметизированный свод, так же, как это делается в сталеплавильных печах. Загрузку шихты производят через отверстия в своде печи. Выпуск металла и шлака производят через медные водоохлаждаемые летки, чаще всего – раздельные.

Горение дуги постоянного тока более устойчиво; более простое и точное управление посадкой электрода. За счет этого снижается расход электрической энергии на выплавку ферросплава. Печь позволяет использовать для плавки мелкие руды и концентраты без окускования, особенно при загрузке шихты через отверстие в центре электрода.

Конструкция печи постоянного тока позволяет минимизировать все неорганизованные выбросы и создает хорошие условия для использования тепла печных газов для производства тепловой и электроэнергии.

6.6.4 Снижение выхода мелочи при дроблении ферросилиция

В особом ряду проблем фракционирования стоит проблема мелочи – фракция 0–10 мм ввиду того, что при сложившейся структуре производственных заказов существуют трудности с ее реализацией.

Основными направлениями решения проблемы мелочи является:

- изменение технологической схемы дробления ферросилиция;
- разливка металла в тонкие слитки;
- рассев мелочи с получением промежуточных товарных фракций;
- переработка мелочи внутри предприятия.

На образование мелкой фракции влияет ряд производственных факторов, как-то:

- толщина отливаемого слитка (для «толстых» слитков (150 мм) наблюдается зональность с образованием области, обогащенной эвтектикой, которая и является источником формирования мелких фракций даже без механического воздействия за счет взаимодействия примесных элементов с атмосферной влагой);
- крупность материала для дробления (влияние величины среднего размера куска на выход мелочи обнаруживается лишь при величине зазора, сопоставимой со средним диаметром куска: в этом случае выход мелочи сокращается вдвое); что является обоснованием целесообразности многоступенчатого дробления (например, при 2-х стадийном дроблении выход мелочи металла сокращается на 3–4 % абс.);
- величина рабочего зазора дробилки (например, максимальный выход целевой фракции 10÷50 мм в размере 73,5 % сопровождается высоким уровнем выхода мелочи (до 23 %) в условиях «запредельного» режима (при величине зазора δ=56 мм);
- размер шага и высота профиля зуба дробящих тел (при уменьшении высоты гребня и шага, при равном зазоре дробилка с меньшей высотой зуба дает большую степень обжатия, и более высокий выход мелочи. При равном выходе средней фракции, дробилка с «мелким» профилем плит дает больший выход мелочи);
- траектория движения подвижной щеки (используемые в линиях фракционирования щековые дробилки имеют сложное качание щеки по круговой траектории, что обуславливает появление дополнительной вертикальной составляющей силы, действующей на массу засыпи и вызывающей дополнительное взаимоистирание кусков загруженного материала; для снижения эффекта роста мелочи за счет истирания рекомендуется использовать дробилки с простым маятниковым качанием подвижной щеки. При этом можно достигнуть снижения уровня мелочи – на 4,2 % абс.

6.6.5 Перспективные технологии производства оксидов ванадия и феррованадия

6.5.5.1 Производство триоксида ванадия

Производство триоксида ванадия, хотя и является более затратным, чем производство пентоксида ванадия, однако позволяет существенно экономить при производстве феррованадия. Потребление алюминия для восстановления ванадия из триоксида на ~40 % ниже, чем в случае с пентоксидом. Данная технология будет интересна в первую очередь для предприятий, способных заместить 100 % пентоксида триоксидом в случае экономической эффективности производства последнего.

Получение триоксиди ванадия происходит во вращающихся прокалочных печах. Процесс получения описывается следующей схемой:

$$NH_4VO_3 \xrightarrow{150\text{-}240C} (NH_4)_2\ V_6O_{16} \xrightarrow{320\text{-}350C} (NH_4)_2O^*\ 2(V_2O_4)^*\ 5(V_2O_5) \xrightarrow{380\text{-}500C}$$
$$2(V_2O_4)^*\ V_2O_5 \xrightarrow{500\text{-}900C} V_2O_3$$

6.6.5.2 Производство феррованадия на основе триоксида ванадия

Замена пентоксида ванадия триоксидом позволит экономить до 40 % восстановителя на тонну ванадия и увеличить производительность печей за счет снижения кратности шлака. Восстановление ванадия происходит по следующим стадиям:

$$1)\ 3V_2O_5 + 10Al \longrightarrow 6V + 5Al_2O_3$$
$$2)\ V_2O_3 + 2Al \longrightarrow 2V + Al_2O_3$$

6.6.5.3 Окислительный обжиг шихты при производстве оксидов ванадия

Обеспечивает повышение степени вскрытия ванадия до 95–96 %. Сегодня вскрытие ванадия в обжиговых печах ограничено. Это вызвано намеренным ограничением температуры обжига для недопущения окомкования материала. Освоение окислительного обжига окомкованной шихты позволит увеличить температуру, а, следовательно, и вскрытие шихты до уровня 95–96 %.

6.6.5.4 Использование тепла отходящих газов обжиговых печей и печей плавки пентоксида ванадия

Обеспечивает сокращение энергозатрат на производство продукции. Отходящие газы обжиговой печи имеют температуру 300–400°С, отходящие газы на печах плавки пентоксида ванадия – около 500–600°С. При этом на производстве существует постоянная потребность в тепле для следующих процессов:

1) сушка полупродуктов,
2) отопление,
3) нагрев воды.

Проекты по использованию тепла отходящих газов за счет установки теплообменников на трубопроводах газоочистки принимаются в рассмотрение, однако их экономическая эффективность в существующих условиях крайне низка.

6.6.5.5 Использование сливного шлака, образующегося при выплавке феррованадия, в качестве материала для рекультивации земель

В качестве материала для рекультивации техногенно нарушенных земель и материала для пересыпки твердых коммунальных отходов при их захоронении на полигонах шлак заменяет природные материалы.

Для использования в этих целях требуется разделение шлака на фракции, дробление, выборка металлических включений, площадка с искусственным водонепроницаемым покрытием для складирования готового материала или накопитель.

Заключительные положения и рекомендации

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство чугуна, стали и ферросплавов» подготовлен в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2019 г. № 866-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [1] и правилами определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 [5]. Состав ТРГ 26 «Производство чугуна, стали и ферросплавов» утвержден приказом Минпромторга России от 05 апреля 2021 г. № 1191 [7].

№ п/п	Организация
1	ООО УК «ПМХ»
2	АО «Северсталь Менеджмент»
3	ПАО «Северсталь»
4	ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»
5	АО «ОЭМК им. А.А. Угарова»
6	ПАО «ТМК»
7	АО «ЕВРАЗ Ванадий Тула»
8	ПАО «ММК»
9	ООО «УК "Мечел-Сталь"»
10	ООО «ЕвразХолдинг»
11	АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева»
12	ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»
13	ПАО «Мечел»
14	АО «Лебединский ГОК»
15	АО «ОМЗ»
16	АО «ОМК»
17	АО «Уральская Сталь»
18	ООО «НП "Ятаган"»
19	АО «ЕВВРАЗ ЗСМК»
20	АО «ЕВРАЗ НТМК»
21	Минэкономразвития России
22	ООО «ТФЗ»
23	«Русская Сталь»
24	АО «Москокс»
25	Минпромторг России
26	АО «НПК "Уралвагонзавод"»
27	ПАО «НЛМК»

При подготовке данного справочника НДТ в максимально возможной степени там, где это применимо, были учтены положения проекта второй редакции справочника Европейского союза по НДТ в производстве чугуна, стали и ферросплавов (Best

AvailableTechniques (BAT) Reference Document for the Iron and Steel Production, 2012 г.), а также Conclusions for the Iron and Steel Production.

Для проведения бенчмаркинга отрасли производства черных металлов (в составе металлургических пределов – агломерационного, производства кокса, выплавка чугуна в доменных печах, производство стали конвертерным и электросталеплавильным процессом, производство ферросплавов) и определения показателей экологической результативности, ресурсо- и энергоэффективности были подготовлены и направлены на предприятия (список рассылки включал 54 адреса) опросные анкеты. Рубрики и вопросы анкеты отвечали разделам, рекомендуемым для описания технологий стандартом [2], а также отражал специфику металлургического производства и воздействия на окружающую среду.

Технологические показатели НДТ определялись по результатам обработки данных, представленных предприятиями. Принималась во внимание также информация справочника ЕС (BREF Iron and Steel Production, 2012 г.), а также сведения из различных научных источников, в том числе интернет-ресурсы. Подобные подходы позволили определить не только перечень НДТ, но выявить и перспективные направления технологического развития.

Проведенный анализ представленных данных и информации, сопоставление результатов с европейскими практиками позволили дать рекомендации для дальнейшего развития справочника НДТ, разработки и поиска ресурсо- и энергоэффективных технологических процессов, создания процедур внедрения НДТ:

- причастность к НДТ – это однозначно путь к совершенствованию, причем не только за счет модернизации, но и за счет улучшения технологий (такие НДТ также отмечены в настоящем справочнике НДТ), процессов управления (с использованием, например, инструментов производственной системы), разработки оборудования и устройств, приспособлений, поощрения изобретательской деятельности;

- расширение обменов опытом (новыми техническими достижениями, решениями, идеями) внутри отрасли в целях распространения лучших практик (и взаимоисключения ошибок);

- необходимость на отраслевом (и в рамках компаний) развития новых инструментальных методов и методик экспресс-аналитики, в том числе автоматического контроля для эмиссий (в воздушную и водную среду) с возможным уточнением в дальнейшем перечня маркерных веществ;

- при нынешних возможностях компьютерной техники следует создавать, вести, актуализировать электронную базу данных по обширному списку показателей, например, реализованные эффективные проекты и мероприятия с их конкретными технико-экономическими параметрами и ресурсно-экологическими характеристиками, что позволит откорректировать технологические показатели на статистическом объеме информации;

- требуется развивать законодательную базу, до настоящего времени не в полной мере подготовленную для формирования однозначных процедур нормирования воздействия на основе технологических показателей (показателей НДТ) и проведения производственного экологического контроля с использованием средств автоматического контроля, учета выбросов (сбросов загрязняющих веществ и передачи информации в государственный реесстр объектов негативного воздействия на окружающую среду.

Приложение А
(обязательное)

Перечень маркерных веществ и технологических показателей

Таблица А.1 – Маркерные вещества для контроля выбросов в атмосферный воздух

Производство агломерата
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство кокса
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство чугуна
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство стали в конвертерах
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство стали в электродуговых печах
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство ферросилиция углетермическим методом в руднотермических печах
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство феррохрома углеродистого углетермическим методом в руднотермических печах
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид

Окончание таблицы А.1

Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство ферросиликомарганца углетермическим методом в руднотермических печах
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство ферросплавов* алюмотермическим методом
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Взвешенные вещества[1]
*Феррохром НУ, хром, ферротитан, ферробор, лигатура ниобиевая
Производство ферромолибдена алюмотермическим методом
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Серы диоксид
Взвешенные вещества[1]
Производство феррованадия алюмотермическим методом
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Взвешенные вещества[1]
Производство феррованадия силикотермическим методом
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Взвешенные вещества[1]
Производство оксидов ванадия из шлаков дуплекс-процесса
Азота диоксид
Азота оксид
Углерода оксид
Взвешенные вещества[1]
[1] К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов».

Таблица А.2 – Маркерные вещества контроля сбросов в водные объекты

Базовые вещества для контроля:
Взвешенные вещества
Железо
Нефтепродукты
Выборочно, в зависимости от специфики производства:
Марганец
Цинк
Ванадий
Никель
Хром трехвалентный
Выборочно в зависимости от типа сточных вод:
Аммоний-ион
Сульфат-ион (сульфаты)

Таблица А.3 – Технологические показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, соответствующие НДТ

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
Производство агломерата (прием сырья, размораживание, складирование, усреднение, подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию (измельчение, смешивание, грануляция), спекание шихты на конвейерных машинах, охлаждение и дробление агломерата, горячее и холодное грохочение, сортировка, отсев мелочи и отгрузка годного агломерата, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤0,4 ≤0,75 (ванадиевый концентрат)
	Азота оксид	кг/т	≤0,15
	Углерода оксид	кг/т	≤14,0 ≤16,0 (ванадиевый концентрат)
	Серы диоксид	кг/т	≤3,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤1,2
Производство кокса (подготовка углей к коксованию (размораживание, погрузочно-разгрузочные работы, складирование, дробление, дозировка, транспортирование), технологические процессы производства кокса	Азота диоксид	кг/т	≤0,8
	Азота оксид	кг/т	≤0,4
	Углерода оксид	кг/т	≤5,5
	Серы диоксид	кг/т	≤1,5

Продолжение таблицы А.3

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
(загрузка камер коксования угольной шихтой, трамбование шихты, нагрев угольной шихты в коксовых печах, отвод и охлаждения прямого коксового газа из камер коксования, выдача готового кокса из печей, тушение кокса, сортировка кокса на фракции, транспортирование и отгрузка потребителям), очистка коксового газа, биохимическая очистка сточных вод)	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,7
Производство чугуна (прием и хранение сырья, дозирование, отсев мелочи, загрузка печи, подготовка дутья, выплавка чугуна, разливка товарного чугуна на разливочных машинах, обработка доменного шлака, очистка доменного газа и утилизация его химической энергии, утилизация избыточного давления доменного газа, транспортировка жидкого чугуна в сталеплавильный цех, установки водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤0,1
	Азота оксид	кг/т	≤0,02
	Углерода оксид	кг/т	≤4,0
	Серы диоксид	кг/т	≤0,2
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,5
Производство стали в конвертерах (прием жидкого чугуна, усреднение жидкого чугуна в стационарном миксере, перелив из чугуновозных ковшей или чугуновозных ковшей миксерного типа в чугунозаливочные ковши, подготовка твердой металлической шихты и шлакообразующих материалов, десульфурация чугуна, прием и подготовка ферросплавов, выплавка стали, выпуск расплава из конвертера в сталеразливочный ковш, присадка ферросплавов, раскислителей и других добавок, внепечная обработка расплава, подготовка сталеразливочных и промежуточных ковшей, разливка стали на МНЛЗ или в изложницы (слитки), обработка непрерывнолитых заготовок и слитков, переработка и утилизация шлаков сталеплавильного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤0,2
	Азота оксид	кг/т	≤0,05
	Углерода оксид	кг/т	≤5,0
	Серы диоксид	кг/т	≤0,05
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,35
Производство стали в электродуговых печах (подготовка шихтовых материалов, подготовка печи, завалка шихты, залив чугуна (если применимо), плавка, обезуглероживание, выпуск, раскисление, легирование, внепечная обработка, разливка стали на МНЛЗ, подготовка сталеразливочных ковшей, обработка электросталеплавильного шлака и пыли, очистка отходящего газа сталеплавильных печей, установки водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤0,35 ≤0,6 (жидкий чугун >40 %)
	Азота оксид	кг/т	≤0,2
	Углерода оксид	кг/т	≤3,0 ≤4,0 (металлиз. окатыши, ГБЖ >80%) ≤4,5 (жидкий чугун >40 %)
	Серы диоксид	кг/т	≤0,3

Продолжение таблицы А.3

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,5 ≤0,8 (жидкий чугун >40 %)
Производство ферросилиция углетермическим методом в руднотермических печах (подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤10,0
	Азота оксид	кг/т	≤5,0
	Углерода оксид	кг/т	≤13,0
	Серы диоксид	кг/т	≤5,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤7,5
Производство феррохрома углеродистого углетермическим методом в руднотермических печах (подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤3,1
	Азота оксид	кг/т	≤0,505
	Углерода оксид (для феррохрома с содержанием углерода менее 8%)	кг/т	≤1,0
	Углерода оксид (для феррохрома с содержанием углерода 8% и более)	кг/т	≤13,0
	Серы диоксид	кг/т	≤0,2
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤3,0
Производство ферросиликомарганца углетермическим методом в руднотермических печах (подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤1,5
	Азота оксид	кг/т	≤0,3
	Углерода оксид	кг/т	≤6,0
	Серы диоксид	кг/т	≤0,1
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,5

Продолжение таблицы А.3

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
Производство ферросплавов** алюмотермическим методом электропечным способом в печь-горне (подготовка шихтовых материалов, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь-горн, проплавление оксидной части шихты под электрическими дугами, восстановительная внепечная плавка в печи-горне, дробление, сортировка, упаковка феррохрома, обработка попутного продукта плавленного глиноземистого, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤1,3
	Азота оксид	кг/т	≤0,02
	Углерода оксид	кг/т	≤1,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤5,5
Производство ферромолибдена алюмотермическим методом (подготовка шихтовых материалов, подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤3,0
	Азота оксид	кг/т	≤0,5
	Углерода оксид	кг/т	≤100,0
	Серы диоксид	кг/т	≤85,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤1,5
Производство феррованадия алюмотермическим методом электропечным способом (дозирование и перемешивание шихты (мелкая и хрупкая шихта (40 % <5 мм, 100 % <100 мм), засыпка в бадью, подача и периодическая досыпка шихты в печь, засыпка рафинировочной шихты, выплавка металла, охлаждение слитка металла, зачистка слитка, предварительное дробление, дробление до товарной фракции, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤11
	Азота оксид	кг/т	≤2,0
	Углерода оксид	кг/т	≤3,5
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤7,0
Производство феррованадия силикотермическим методом (подготовка шихтовых материалов, подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в рафинировочной печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤3,0
	Азота оксид	кг/т	≤0,5
	Углерода оксид	кг/т	≤7,5
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤6,1
Производство оксидов ванадия из шлаков дуплекс-процесса	Азота диоксид	кг/т	≤3,0
	Азота оксид	кг/т	≤0,6

Окончание таблицы А.3

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
(измельчение шлака, смешение молотого шлака с реакционной добавкой, помол шихты, окислительный обжиг шихты во вращающейся печи, охлаждение и измельчение обожженной шихты (огарка), выщелачивание огарка водой/сернокислотное выщелачивание, осаждение ванадия из раствора, прокаливание поливанадата аммония в восстановительной атмосфере с получением триоксида ванадия, а в окислительной атмосфере – пентоксида ванадия, фильтрация пульп, термогидролиз, выплавлние пентоксида ванадия в циклонных печах, плавление поливанадатов магния-марганца в подовой печи, охлаждение струи расплава на водоохлаждаемом вращающемся столе, переплавка порошкообразного пентоксида ванадия, очистка маточных растворов, установки газо- и водоочистки)	Углерода оксид	кг/т	≤1,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤3,5
[1] К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов». * В соответствии с перечнем загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 г. № 1316-р. ** Ферротитан, ферробор, феррохром НУ, хром, ниобиевая лигатура.			

Таблица А.4 – Технологические показатели для сбросов сточных вод металлургических предприятий в водные объекты

№пп	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Величина	Примечание
1	Взвешенные вещества	мг/дм^3	≤35,0	
2	Железо	мг/дм^3	≤0,45	
3	Нефтепродукты (нефть)	мг/дм^3	≤1,0	
4	Марганец	мг/дм^3	≤0,4	Контроль № 4, 5, 6, 7, 8 выборочно в зависимости от специфики производства
5	Цинк	мг/дм^3	≤0,15	
6	Ванадий	мг/дм^3	≤0,02	
7	Никель	мг/дм^3	≤0,1	
8	Хром трехвалентный	мг/дм^3	≤0,05	
9	Аммоний-ион	мг/дм^3	≤1,0	Контроль № 9,10 выборочно в зависимости от типа сточных вод
10	Сульфат-ион (сульфаты)	мг/дм^3	≤250,0	

Примечания.

1 Для промливневых (и промышленных) сточных вод контролируются пп. 1–3 и выборочно пп. 4–8.

2 Для ливневых сточных вод контролируются пп. 1, 3.

3 Для промливневых (и промышленных) сточных вод, в составе которых отводится поток с высоким солесодержанием, контролируются пп. 1–3, выборочно пп. 4–8 и п. 10.

4 Для промливневых (и промышленных) сточных вод, в составе которых отводятся хоз-фекальные стоки, контролируются пп.1–3, выборочно пп. 4–8 и п. 9.

5 Принципиально набор маркерных веществ для контроля не должен превышать 5-6 наименований.

Приложение Б
(обязательное)

Наилучшие доступные технологии производства чугуна, стали и ферросплавов

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
Общего назначения	НДТ 5.1.1	Система экологического менеджмента
	НДТ 5.1.2	Система энергетического менеджмента
	НДТ 5.1.3	Технологии, направленные на предотвращение загрязнения водного бассейна и минимизацию водопотребления, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з
	НДТ 5.1.4	Технологии, направленные на снижение воздействия физических факторов (шума), в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к, л, м, н, о, п, р, с, т, у
Агломерация	НДТ 5.2.1	Технология производства агломерата методом спекания на конвейерных машинах различной площади за счет фильтрации воздуха, обеспечивающего горение твердого топлива, распределенного в слое, с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических приемов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.2.2 – НДТ 5.2.7
	НДТ 5.2.2	Технологии, направленные на улучшение общих показателей производства агломерата, обеспечивающие сокращение потерь сырья, образование эмиссий в атмосферу и отходов, в том числе технологии и технические решения 5.2.2.1 (а, б, в), 5.2.2.2 (а, б, в, г), 5.2.2.3 (а, б, в, г, д, е, ж)
	НДТ 5.2.3	Внедрение систем автоматизированного контроля и управления, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д. е, ж, з, и
	НДТ 5.2.4	Технологии, направленные на снижение удельных расходов сырья, топлива при производстве агломерата, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.2.5	Повышение эффективности использования энергии, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.2.6	Технологии, направленные на снижение негативного воздействия на атмосферный воздух в составе: 5.2.6.1 (а, б), 5.2.6.2, 5.2.6.3 (а, б)

Продолжение таблицы

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
	НДТ 5.2.7	Технологии утилизации отходов, в том числе технологии и технические решения а, б, в
Производство кокса	НДТ 5.3.1	Технология производства кокса в коксовых печах путем термической обработки угольной шихты без доступа воздуха, последующего охлаждения и сортировки коксового пирога и очистки коксового газа с применением ресурсо- и энергоэффективных процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.3.2 – НДТ 5.3.13
	НДТ 5.3.2	Снижение выбросов при подготовке угля к коксованию, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.3.3	Бездымная загрузка печей, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г
	НДТ 5.3.4	Технология трамбования шихты
	НДТ 5.3.5	Уменьшение выбросов от систем обогрева коксовых батарей, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.3.6	Технология коксования с минимальными газовыделениями, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.3.7	Технологии беспылевой выдачи кокса
	НДТ 5.3.8	Снижение выбросов при тушении кокса, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г
	НДТ 5.3.9	Уменьшение выбросов при сортировке и транспортировке кокса, в том числе технологии и технические решения а, б, в
	НДТ 5.3.10	Охлаждение и очистка коксового газа от смолы, аммиака, бензольных углеводородов, в том числе, технологии и технические решения а, б, в, г
	НДТ 5.3.11	Снижение выбросов от емкостного оборудования при охлаждении и очистке коксового газа, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е
	НДТ 5.3.12	Использование очищенных сточных вод в производстве, в том числе технологии и техническтие решения а, б, в, г, д, е
	НДТ 5.3.13	Технология утилизации отходов, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г

Продолжение таблицы

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
Производство чугуна	НДТ 5.4.1	Технология производства чугуна в доменных печах различного объема, работающих на комбинированном дутье, с использованием металлургического кокса и применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.4.2 – НДТ 5.4.6
	НДТ 5.4.2	Технологии, направленные на улучшение общих показателей производства чугуна, обеспечивающие снижение потерь ресурсов, образование эмиссий и отходов, в составе 5.4.2.1 (а, б, в, г, д); 5.4.2.2 (а, б, в, г, д, е, ж, з); 5.4.2.3; 5.4.2.4, 5.4.2.5
	НДТ 5.4.3	Внедрение систем автоматизированного контроля и управления, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж,з
	НДТ 5.4.4	Технологии, направленные на снижение удельного расхода топлива при производстве чугуна, в составе :5.4.4.1; 5.4.4.2; 5.4.4.3; 5.4.4.4; а также в том числе технологий и технических решений а, б
	НДТ 5.4.5	Повышение эффективности использования энергии при производстве чугуна в составе технологий 5.4.5.1; 5.4.5.2; 5.4.5.3; 5.4.5.4; 5.4.5.5
	НДТ 5.4.6	Технологии, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха, за счет применения установки для улавливания, очистки и утилизации доменного газа из межконусного пространства доменной печи, в составе 5.4.6.1; 5.4.6.2
Производство стали в конвертерах	НДТ 5.5.1	Технология производства стали в конвертерах методом продувки расплава чугуна техническим кислородом и наведением покровного шлака с целью удаления из расплава металла углерода и вредных примесей с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.5.2 – НДТ 5.5.6
	НДТ 5.5.2	Технология выплавки стали в конвертере методом продувки расплава чугуна техническим кислородом, направленная на обеспечение надлежащего содержания углерода в стали (и соответственно образование пыли и оксида углерода), в составе 5.5.2.1 (а, б, в, г, д); 5.5.2.2 (а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к); 5.5.2.3

Продолжение таблицы

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
	НДТ 5.5.3	Технологии, направленные на улучшение общих показателей выплавки стали, обеспечивающие стабильность процесса, получение качественных характеристик готовой стали, сокращение расхода и потерь сырья, снижение образования эмиссий в атмосферу и отходов, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з, и
	НДТ 5.5.4	Внедрение систем автоматизированного контроля и управления плавкой стали в конвертере, в том числе для увеличения производительности конвертера и минимизации эмиссий и отходов, в составе технологий 5.5.4.1; 5.5.4.2; 5.5.4.3
	НДТ 5.5.5	Технологии, направление на повышение ресурсо- и энергоэффективности конвертерного производства, в составе: 5.5.5.1; 5.5.5.2
	НДТ 5.5.6	Технологии, направленные на снижение негативного воздействия на атмосферный воздух, за счет применения эффективного пылегазоочистного оборудования, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д,
Производство стали в электродуговых печах	НДТ 5.6.1	Технология производства стали в электродуговых печах различной мощности с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических приемов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.6.2 – НДТ 5.6.7
	НДТ 5.6.2	Технология выплавки стали в электродуговых печах с удельной мощностью источника питания 0, 8–1,0 МВА/т и активной продувкой кислородом, обеспечивающая снижение потребления электрической энергии, уменьшение угара металла, повышение качества металла, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.6.3	Технологии, направленные на улучшение общих показателей и условий работы при производстве стали в электродуговых печах, обеспечивающие снижение потерь ресурсов, образование эмиссий и отходов, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з
	НДТ 5.6.4	Технологии, направленные на снижение удельных расходов сырья, и энергии при производстве стали в электродуговых печах, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г

Окончание таблицы

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
	НДТ 5.6.5	Автоматизация системы управления процессом плавки в электродуговых печах за счёт внедрения АСУ ТП плавкой и качеством металла
	НДТ 5.6.6	Повышение эффективности использования энергии при производстве стали в электродуговых печах, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к
	НДТ 5.6.7	Технологии, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з
Производство ферросплавов	НДТ 5.7.1	Производство ферросплавов углетермическим методом в руднотермических печах, в том числе технологии и технические решения 1), 2), 3), 4), 5), 6). 7), 8), 9), 10), 11), 12)
	НДТ 5.7.2	Производство ферросплавов силикотермическим методом, в том числе технологии и технические решения 1), 2), 3), 4), 5)
	НДТ 5.7.3	Производство ферросплавов алюмотермическим методом в том числе технологии и технические решения 1), 2), 3), 4), 5), 6). 7)
	НДТ 5.7.4	Снижение образования отходов при производстве ферросплавов в том числе технологии и технические решения 1), 2), 3), 4), 5), 6). 7), 8), 9)
	НДТ 5.7.5	Производство оксидов ванадия из шлаков дуплекс-процесса, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е
	НДТ 5.7.6	Производство феррованадия, в том числе технологии и технические решения а, б, в
	НДТ 5.7.7	Технологии рациональной утилизации отходов при производстве феррованадия, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г

Приложение В
(обязательное)

Ресурсная и энергетическая эффективность

Повышение энергоэффективности экономики в Российской Федерации отнесено к приоритетам высокого уровня: принципы, цели, требования и правила в области энергопотребления и энергосбережения регулируются на законодательном уровне [186]. Направления развития металлургической отрасли в области энергосбережения определены в [22].

В.1 Краткая характеристика отрасли с позиций ресурсо- и энергопотребления

Металлургические технологии сопряжены с высокотемпературными процессами подготовки шихты, выплавки, обработки материалов с получением высоконагретых продуктов, огненно-жидких расплавов металла и шлака, образованием нагретых отходящих газов и неизбежными тепловыми потерями, что обуславливает существенное потребление топлива и электрической энергии.

В металлургических переделах потребление тепловой энергии имеет место в процессах отопления коксовых батарей, работе зажигательных горнов агломерационных машин, нагреве дутья для доменных печей, подогреве шихтовых материалов для выплавки стали в электропечах и конвертерным процессом.

Основные расходы электроэнергии в металлургии вызваны работой дробильного, смесительного, транспортирующего и иного оборудования при подготовке шихты для агломерации и коксования, функционированием газоочистного оборудования и дымососов на всех металлургических переделах, воздуходувок для подачи дутья в доменную печь, работой обслуживающих агрегатов и устройств, работой печей с электродуговым нагревом при выплавке стали (агрегатов ковшевой металлургии), при производстве стали в электродуговых печах, в производстве ферросплавов.

В структуре топливопотребления интегрированного металлургического предприятия [187] лидирующее положение занимает производство чугуна: его доля в топливном балансе составляет 48,6 % (см. рисунок В.1).

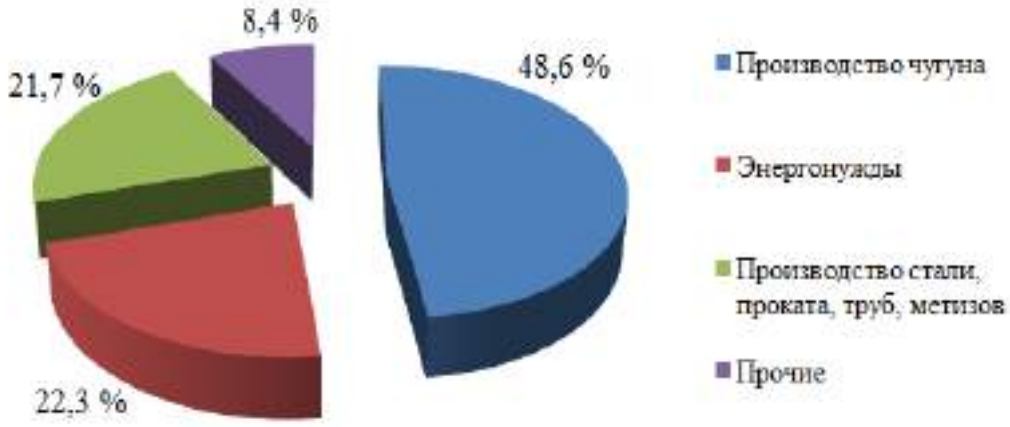


Рисунок В.1 – Направления использования топлива в черной металлургии России [187]

В отношении энергопотребления первенство принадлежит горнорудному производству (добыча и обогащение железной руды, включая производство концентрата и окатышей) – с долей в 18,0 % (рисунок В.2).



Рисунок В.2 – Структура расхода электроэнергии в черной металлургии [187]

Отдельные металлургические переделы выступают донорами вторичных энергетических ресурсов, характеристика которых дана в таблице В.1.

Таблица В.1 – Вторичные энергетические ресурсы металлургического предприятия

Передел	Вид ресурса	Выход ресурса, $м^3/т$*	Характеристика ресурса		Примечание
			состав, %	калорийность**	
Производство кокса	Коксовый газ	400–450	60H_2;30 CH_4; 10 CO	16000	В энергобаланс предприятия
Производство чугуна	Доменный газ	До 2000	27 CO; 10H_2	4000	В энергобаланс предприятия
Производство стали	Конвертерный газ	60–80	до 90 CO	9000	Не используется
Производство ферросплавов	Ферросплавный газ	300–1350	70–90 CO	9000	Используется не в полном объеме
* Выход определяется на тонну товарной продукции передела. ** Калорийность – в $ГДж/м^3$ энергоресурса.					

Ожидается [22], что в металлургической отрасли за счет внедрения энергосберегающих технологий и мероприятий в 2030 г. по сравнению с 2015 г. удельные расходы топлива снизятся: всего по отрасли – на 30 %, в том числе кокса – на 35 %, природного газа – на 35 %.

Удельный расход электроэнергии снизится на 16,4 %. Вместе с тем, увеличения доли электросталеплавильного производства в общем балансе выплавки стали, ориентация на выплавку высококачественных марок стали (требующих дополнительных технологий внепечной обработки) приведет к увеличению абсолютного объема потребления электроэнергии в 2030 г. по сравнению с 2015 г. на 5,3 %.

В.2 Основные технологические процессы, связанные с использованием ресурсов и энергии

В.2.1 Целевые показатели энерго-ресурсоэффективности

Таблица В.2 представляет информацию по данным анкетирования (на основе средних удельных показателей) по потреблению ресурсов, топлива и электрической энергии в технологических процессах производства агломерата, кокса, чугуна, стали, ферросплавов.

Таблица В.2 – Целевые показатели энерго-ресурсоэффективности

Показатель ресурсной и/или энергетической эффективности (материальные ресурсы, энергопотребление, продукт / полупродукт, отходы, вторичные ресурсы и т. д.)	Единица измерения	Значение
Производство агломерата		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤50
Коксовая мелочь	кг/т	≤50
% повторного использования воды*	%	95
Производство кокса		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤70
Степень использования коксового газа (в собственном производстве и при отпуске на сторону, кроме сжигания на факелах)	%	100
% повторного использования воды*	%	95
Производство чугуна		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤25
Кокс	кг/т	≤400,0
ПУТ	кг/т	≤150,0
Природный газ	$м^3$/т	≤150,0
Степень использования доменного газа (в собственном производстве и при отпуске на сторону, кроме сжигания на факелах)	%	100
% повторного использования воды*	%	95
Степень использования доменного шлака в хозяйственном обороте	%	100
Производство стали в кислородных конвертерах		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤70,0
Кислород	$м^3$/т	≤80,0
Степень использования конвертерного газа (в собственном производстве, кроме сжигания на факелах)	%	100
% повторного использования воды*	%	95
Степень использования сталеплавильного шлака в хозяйственном обороте	%	80
Производство стали в электродуговых печах		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤800,0
Кислород	$м^3$/т	≤80,0
% повторного использования воды*	%	95

Окончание таблицы В.2

Показатель ресурсной и/или энергетической эффективности (материальные ресурсы, энергопотребление, продукт / полупродукт, отходы, вторичные ресурсы и т. д.)	Единица измерения	Значение
Степень использования электросталеплавильного шлака в хозяйственном обороте	%	80
Производство ферросплавов		
Ферросилиций		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤8500,0
Уголь	кг/т	≤1200,0
Кокс	кг/т	≤400,0
Ферромолибден		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤390,0
Уголь	кг/т	≤1600,0
Оксиды ванадия из шлака дуплекс-процесса		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤4000,0
Феррованадий		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤6500,0
Природный газ	$м^3$/т	≤2000,0
Хром		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤2000
Феррохром н/у*		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤2000,0
Феррохром у**		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤4200,0
Уголь	кг/т	≤120,0
Кокс	кг/т	≤350,0
Ферросиликохром		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤6000,0
Уголь	кг/т	≤440,0
Кокс	кг/т	≤240,0
Ферросиликомарганец		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤6000
Уголь	кг/т	≤700
Кокс	кг/т	≤20
Ферробор		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤1000,0
Ферротитан		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤750,0
Лигатура никельниобиевая		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤750,0
* % повторного использования воды определяется в целом для предприятия, а не отдельно по переделам (для предприятий полного металлургического цикла) ** Феррохром низкоуглеродистый. *** Феррохром углеродистый.		

В.2.2 Типовые мероприятия по энерго- и ресурсосбережению в отрасли

Формирование программ повышения энергоэффективности предприятиями отрасли и их успешная реализация обеспечивают прогресс в части снижения потребления энергетических ресурсов. Основные (наиболее масштабные) мероприятия отрасли в области энергосбережения показаны в таблице В.3.

Таблица В.3 – Основные мероприятия по энерго- и ресурсосбережению в отрасли

№ п/п	Мероприятие	Эффективность	Примечание
0.1	Модернизация систем освещения с использованием энергоэффективного светотехнического оборудования	Сокращение потребления энергии на освещение на 70 %	Замена ртутных газоразрядных ламп на металлогалогенные светильники, а также источники света, способные работать в условиях повышенной температуры
0.2	Внедрение систем энергетического менеджмента		
1.1	Рециркуляция отходящих агломерационных газов	Сокращение энергозатрат до 25 %	В зависимости от объема рециркуляции
2.1	Локальные установки беспылевой выдачи кокса	Расход аспирируемого воздуха – 40 тыс. $м^3$/ч, мощность вентилятора – не более 50 кВт, уменьшение расхода электроэнергии примерно в 8 раз	Щелевой улавливающий зонт с локальной системой очистки на двересъемной машине
2.2	Технология трамбования шихты	Снижение потребления качественных коксующихся углей, повышение производительности коксовых печей на 7–15 %, повышение выхода доменного кокса на 3–4 %	Новое оборудование для загрузки угольной шихты
2.3	Строительство установки сухого тушения кокса (УСТК)	Снижает энергозатраты на 40 кг у.т./т кокса	
2.4	Утилизация газов холодных свечей УСТК путем передачи их в газопровод доменного газа	Снижение валовых выбросов вредных веществ (до 30 %), утилизация избыточного циркуляционного газа в качестве топлива, снижение потерь кокса при его охлаждении	Применимо только на интегрированных заводах

Продолжение таблицы В.3

№ п/п	Мероприятие	Эффективность	Примечание
3.1	Вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи	Экономия кокса до 30 %, природного газа – до 50 %	
3.2	Применение бесконусных засыпных аппаратов для загрузки шихты в доменную печь	Снижение энергозатрат на 15 кг у.т./т чугуна	
4.1	Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок	Снижение расходного коэффициента металлопродукции на 15–25 %	
4.2	Строительство системы оборотного водоснабжения, блока очистных сооружений МНЛЗ-6 и комплекса внепечной обработки стали	Исключение потребления технической воды в объеме 41500 тыс. $м^3$/год	Оборотная система водоснабжения (радиальный отстойник, шламовая насосная станция, насосно-фильтровальная станция, вентиляторная градирня)
4.3	Строительство комплекса по обезвоживанию конвертерных шламов	Снижение водоотведения до 2,6 млн $м^3$/год; сокращение сбросов фторидов на 60 т/год, цинка – на 40 т/год, марганца – на 8,5 т/год	Два сгустителя шламов, три пресс-фильтра, водоводы, насосная станция
4.4	Снижение расхода природного газа, за счет снижения удельного расхода изложниц	Снижение расхода природного газа на 2,98 %	
4.5	Увеличение выработки пара котлами-охладителями конвертерного цеха	Увеличение выработки пара на 22,6 %	
4.6	Установка утилизации конвертерного пара	Экономия природного газа за счет утилизации низкопотенциального тепла пара, вырабатываемого на котлах ОК	Ожидаемая экономия природного газа 19610 тыс. $м^3$/год
5.2	Разработка и строительство утилизационной тепловой электростанции мощностью 25 МВт	Собственная генерация 219 млн кВт*ч электроэнергии в год	Модернизация дымового тракта электросталеплавильной печи и строительство утилизационной ТЭЦ
5.3	Оптимизация энерготехнологического и шлакового режима ДСП. Снижение выдержки металла в сталеразливочном ковше с 110 до 108 мин.	Экономический эффект – 1,4 млн руб.	Электросталеплавильная печь ДСП-120

Окончание таблицы В.3

№ п/п	Мероприятие	Эффективность	Примечание
5.4	Оптимизация работы градирен		
5.5	Изменение системы отопления стендов сушки и разогрева стальковшей	25 %	2 стенда сушки и разогрева стальковшей
5.6	Внедрение автоматизированной информационно-измерительной системы технического учета электроэнергии	1 %	
5.7	Ввод в действие устройств компенсации реактивной мощности на УПМ	1,8 %	
6.1	Установка утилизации тепла отходящих газов печей производства ферросплавов	Снижение потребления электроэнергии на 5–10 %	

В.2.3 Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности, и энергоэффективное оборудование (отраслевой аспект)

В таблице В.4 проиллюстрированы технические решения, направленные на повышение энерго-ресурсоэффективности, и энергоэффективное оборудование.

Таблица В.4 – Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности, и энергоэффективное оборудование

Технология	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Характеристика	Примечание
Агломерация				
1.1	Комплекс оборудования для утилизации отходящего тепла агломерационных машин и охладителей агломерата	330.28.92.40.140 330.25.20.12.110	Рециркуляция отходящих газов: улавливающие зонты, циклон, теплообменник, турбина	Сбор нагретого до 500–550 °С воздуха, очистка в циклонном аппарате, подача на теплообменники для выработки пара и электро-энергии либо в качестве воздуха горения в горн, либо в аглослой
1.2	Агрегаты, машины и механизмы производства агломерата и окатышей, охладители	330.28.92.40.140	Комплекс оборудования для производства агломерата с энергоэффективными решениями, удельный расход энергоресурсов не более 52,3 кг у.т./т	Автоматизация технологических операций, применение устройств регулирования нагрузки электродвигателей, утилизация вторичного тепла, внедрение современных аспирационных систем
1.3	Зажигательный горн	330.28.92.40.140	Нагрев верхнего слоя агло-шихты для воспламенения топлива и начала спекания методом просасывания	Нагрев верхнего слоя шихты
1.4	Охладитель агломерата	330.28.92.40.140	Производительность 150–400 т/час	Охлаждение агломерационного спека с 700°С до 100°С
1.5	Дымососы и вентиляторы мелкие одностороннего всасывания с диаметром рабочего колеса до 1,3 м	330.25.30.12.110	Снижение потребления энергоресурсов на 10–20 %	Применение современных энергоэф-фективных типов оборудования с меньшими удельными затратами на транспортировку воздуха или других газообразных сред
1.6	Электрофильтр	330.28.25.14.120	Производительность 2800 тыс. $м^3$/час, эффективность очистки 99,85 %, концентрация пыли на выходе не более 50 мг/$м^3$	Очистка отходящих газов на участке разгрузки агломерата

Продолжение таблицы В.4

Технология	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Характеристика	Примечание
Производство кокса				
2.1	Установка сухого тушения кокса (УСТК)	330.25.30.12.110 330.28.22.18.270		Выработка вторичных энергоресурсов, производство, утилизация тепловой энергии
2.2	Генерация электрической и тепловой энергии при использовании коксового газа. Градирня	220.25.11.23.140		Охлаждение воды оборотного цикла
2.3	Генерация электрической и тепловой энергии. Котлоагрегат (котел)	330.25.30.11.110		Котлы, работающие на коксовом газе
2.4	Генерация электрической и тепловой энергии. Турбогенератор (турбина)	330.28.11.21.110		Производство электроэнергии при использовании коксового газа
2.5	Генерация электрической и тепловой энергии. Подогреватель (холодильник, теплообменник)	330.25.30.12.110	Подогреватели ПН 130-6-10, ПН 200-16-7-1, ПН 425-230-25-4, ПСВ 315-14-23, ПСВ 500-14-23	Производство электроэнергии при использовании коксового газа
Производство чугуна				
3.1	Комплекс оборудования доменной печи	220.42.99.11.130	Расход суммарного топлива не более 625,9 кг у.т./т	Внедрение современных процессов и технологий высокой энергетической эффективности, в том числе вдувания пыле-угольного топлива, расхода кокса и природного газа, повышение производительности доменной печи за счёт установки автоматических систем управления и других мероприятий

Продолжение таблицы В.4

Технология	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Характеристика	Примечание
3.2	Блок воздухонагревателей доменной печи	330.28.25.12.190	Расход условного топлива на нагрев дутья не более 72 кг у.т./тыс. $м^3$ дутья	Блок воздухонагревателей предназначен для эффективной утилизации вторичных энергоресурсов за счет нагрева дутья для доменных печей до температуры 1200–1250 °С с использованием смеси ВЭР (доменный, коксовый) и природного газа, а также с утилизацией тепла дымовых газов для нагрева топлива и воздуха горения
3.3	Комплекс оборудования для вдувания пылеугольного топлива в доменные печи	210.00.11.10.450 330.28.13 330.26.30.11.130	Расход ПУТ 150–200 кг/т чугуна	Технология ПУТ позволяет: - снизить расход металлургического кокса на производство чугуна на 20–25 %; - снизить на 20–25 % эксплуатационные расходы - воздействие на окружающую среду при производстве кокса; - снизить расход природного газа на 70–80 %
3.4	Газовые утилизационные бескомпрессорные турбины (ГУБТ)		Мощность турбин ГУБТ составляет 10–20 МВт	Утилизация энергии избыточного давления доменного газа
Производство стали в конвертерах				

Продолжение таблицы В.4

Технология	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Характеристика	Примечание
4.1	Комплекс оборудования конвертеров сталеплавильных и машины для их обслуживания	330.28.22.18.270	Удельный расход энергоресурсов не более 40 кг у.т./т	Применение современных энергоэффективных технических решений по транспортировке шихтовых материалов, автоматизированных электроприводов, систем автоматического управления процессом выплавки стали позволяет снизить энергозатраты на 30 %
4.2	Установки непрерывной разливки стали	330.28.22.18.270	Удельный расход энергоресурсов не более 11 кг у.т./т	Современные решения в отношении регулируемых приводов транспорта слитка, оборудования по качанию кристаллизатора, систем первичного и вторичного охлаждения слитка, систем газовой резки и автоматизация работы установки позволяет снизить затраты энергоресурсов на 10–15 %
4.3	Комплекс оборудования по сбору, хранению и транспортировке конвертерного газа	330.28.22.18.270 220.41.20.20.750 220.25.29.11.110		Удельный выход конвертерного газа 60–80 $м^3$/т стали
4.4	Оборудование котельное	330.25.30.12.110	КПД на уровне 92–96 % против 60–85 %	За счет применения современных конструктивных решений (горелочная система, возврат тепла дымовых газов, автоматизация и т. д.)

Продолжение таблицы В.4

Технология	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Характеристика	Примечание
Производство стали в ЭДП				
5.1	Электропечи дуговые сталеплавильные	330.28.21.13.129	Удельный расход энергоресурсов (электроэнергия, природный газ, кислород) не более 73 кг у.т./т	Применение современных энергоэффективных технологий, в том числе за счёт дополнительного вдувания углеродсодержащего сырья, газа и кислорода позволит снизить энергозатраты на 30–35 %
5.2	Электропечи и устройства новых видов нагрева – нагревательные и плавильные		Удельный расход энергоресурсов (электроэнергии, газообразного топлива) не более 73 кг у.т./т	Применение современных энергоэффективных типов оборудования, автоматизации режимов нагрева, современных теплоизоляционных материалов
5.3	Установки непрерывной разливки стали		Удельный расход энергоресурсов (электроэнергия, природный газ, кислород, техническая вода) не более 11,7 кг у.т./т	Применение современных решений по оборудованию
5.4	Установки, предназначенные для утилизации тепла отходящих газов электросталеплавильных печей	330.28.21.13.112	Снижение расхода энергоресурсов на плавку до 25 %	Применение теплообменного оборудования для утилизации тепла высокотемпературных отходящих газов электросталеплавильных печей для получения пара, горячей воды или нагрева воздуха

Продолжение таблицы В.4

Технология	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Характеристика	Примечание
Производство ферросплавов				
6.1	Электропечи и устройства нагрева (печь трубчатая, печь обжиговая, печь обжига)	330.28.92.40.140 330.28.21.13.129		При производстве ферромолибдена, феррованадия
6.2	Установка утилизации тепла отходящих газов печей производства ферросплавов	330.28.22.18.270	Снижение потребления электроэнергии на 5–10 %	Рукавный фильтр, системы автоматизации процесса ведения плавки, системы утилизации тепла отходящих технологических газов
6.3	Котел-утилизатор	330.25.30.11.110	Получение пара за счет использования теплоты уходящих газов технологических агрегатов	При производстве ферросилиция
6.4	Центробежный дымосос-1	330.28.25.20.119		При производстве ферросилиция
6.5	Вентиляторы промышленные	330.28.25.20.119	Коэффициент полезного действия – не менее 75 при производительности до 5000 $м^3$/час; не менее 85 при производительности 5000 $м^3$/час и более	
6.6	Установки компенсации реактивной мощности на печах плавильного цеха	330.28.99.3	Увеличение коэффициента мощности до 0,98; повышение напряжения высокой стороны до 10,5 кВ; высвобождение дополнительной активной мощности без увеличения полной	При производстве феррохрома

Продолжение таблицы В.4

Технология	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Характеристика	Примечание
6.7	Турбина паровая (установка паросиловая)	330.28.11.21.110	Мощность – 1–6 МВт. Номинальное давление свежего пара – 3,9 Мпа. Номинальная температура свежего пара – до 440°С. Расход пара – 8–60 т/ч	Преобразование энергии пара котла-утилизатора в электроэнергию
6.8	Градирня	330.28.12.1	Расход воды – 100–1000 $м^3$/ч. Площадь орошения – 6–64 $м^2$. Габаритные размеры – 3,3–8 х 2,9–8 х 5,2–10,6 м. Масса – 2,7–26 т. Перепад температур – 10 °С. Мощность мотора – 15–55 кВт. Тип – БМГ-100–1000	Охлаждение оборотной воды в системе водоохлаждения.
6.9	Трансформаторы трехфазные двухобмоточные двухобмоточные и трехобмоточные масляные класса напряжения 110 и 220 кВ для металлургии	330.28.99.3	Номинальная мощность – 10–160 МВА. Номинальное напряжение первичной обмотки – 115–230 кВ. Напряжение вторичной обмотки – 6–38 кВ. Габаритные размеры – 6,3–10 х 3,7–7 х 6–7,9 м. Масса – 41–122 т. Тип – ТДТНМ,ТДНМ, ТРДНМ, ТДЦНМ	Преобразование электрического тока электрических сетей напряжением 110–220 кВ в электрический ток напряжением 6-38 кВ заводских сетей
6.10	Трансформаторы преобразовательные трехфазные для питания электротермических установок	330.28.99.3	Номинальная мощность – 1–29 МВА. Номинальное напряжение первичной обмотки – 6–11 кВ. Напряжение вторичной обмотки – 40–460 В. Габаритные размеры – 3–4,2 х 1,8–3,5 х 3,5–4,8 м. Масса – 8–56 т. Тип – ЭТМП, ЭТМПР, ЭТМПКР, ЭТДЦНКР	Преобразование электрического тока напряжением 6–11 кВ в электрический ток напряжением 40–460 В

Окончание таблицы В.4

Технология	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Характеристика	Примечание
6.11	Трансформаторы однофазные для питания руднотермических электропечей	330.28.99.3	Номинальная мощность – 0,6–29 МВА. Номинальное напряжение первичной обмотки – 6–110 кВ. Напряжение вторичной обмотки – 120–980 В. Габаритные размеры – 2,2–7 х 2,3–3,1 х 2,6–6,3 м. Масса – 12–78 т. Тип – ЭОЦН, ЭОДЦН, ЭОДЦНКР, ЭОДЦНР, ЭОМПКС, ЭОЦНР	Преобразование электрического тока напряжением 6–110 кВ в электрический ток напряжением 120–980 В
6.12	Конденсаторы для электротермических установок продольной компенсации	330.28.99.3	Напряжение – 0,66–2,1 кВ. Мощность – 80–150 квар. Емкость – 10–585 мкФ. Масса – 53 кг. Тип – КЭКП, КСП	Компенсация реактивной мощности печных трансформаторов

Приложение Г
(справочное)

Перечень оборудования для реализации наилучших доступныхтехнологий

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
Агломерация				
1.1	Гараж размораживания	330.28.92.40.140	Закрытое помещение на 6–30 вагонов, оборудованное газовыми топками получения горячего воздуха для обогрева стенок и днищ вагонов	Размораживание смёрзшихся грузов в зимнее время
1.2	Вагоноопрокидыватель	330.28.22.18.140	Вагоноопрокидыватель роторный или передвижной	Выгрузка поступающих грузов
1.3	Рудно-грейферные краны	330.28.22.14.121	Грейферные краны: козловые, портальные, мостовые	Разгрузка вагонов на склад сырья в усреднительный штабель, забор сырья
1.4	Штабелеукладчик, усреднитель	330.28.92.40.140	Усреднительный комплекс для формирования штабеля и забора усреднённой шихты с конвейерами и другим специальным оборудованием	Формирование штабеля, усреднение и забор сырья

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
1.5	Конвейер ленточный резиновый	330.28.92.40.140	Ленточный, резиновый с поддерживающими валками	Транспортировка сыпучих грузов
1.6	Конвейер пластинчатый металлический	330.28.92.40.140	Конвейер пластинчатый секционный металлический	Транспортировка горячего возврата
1.7	Дробилка флюсов	330.28.92.40.120	Молотковые, роторные, валковые дробилки, стержневые мельницы	Дробление и измельчение флюсов
1.8	Дробилка топлива	330.28.92.40.120	Дробилка четырёхвалковая	Дробление и измельчение твёрдого топлива
1.9	Смесительные барабаны с оборудованием для увлажнения и нагрева шихты	330.28.92.40.139	Скорость вращения 8 об/мин	Тщательное смешивание компонентов шихты и увлажнение для окомкования перед спеканием. Нагрев шихты до температуры 65 ОС острым паром или факелом газовой горелки
1.10	Барабан-окомкователь	330.28.92.40.140	Скорость вращения 6 об/мин	Окомкование аглошихты
1.11	Челноковый распределитель шихты	330.28.92.40.140	Равномерная укладка окомкованной шихты по ширине паллеты	Распределение шихты по ширине паллет агломашины

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
1.12	Барабанный питатель с отражательным листом	330.28.92.40.140	Укладка шихты на паллеты на заданную высоту слоя	Укладка аглошихты на паллеты
1.13	Агрегаты, машины и механизмы для производства агломерата, охладители	330.28.92.40.140	Комплекс оборудования для производства агломерата с энергоэффективными решениями	Машиностроительное оборудование для агломерационных фабрик
1.14	Агломерационная конвейерная агломашина	330.28.92.40.140	Машины типа АКМ с площадью спекания, $м^2$: 30, 50, 75, 84, 252, 312	Спекание агломерата методом просасывания воздуха через слой окомкованной газопроницаемой шихты с горящим твёрдым топливом внутри слоя
1.15	Зажигательный горн	330.28.92.40.140	Нагрев верхнего слоя аглошихты для воспламенения топлива и начала спекания методом просасывания	
1.16	Дробилка агломерата	330.28.92.40.120	Дробление спечённого пирога агломерата, сошедшего с аглоленты	

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
1.17	Грохот агломерата	330.28.92.40.140	Выделение мелкого горячего возврата перед подачей в охладитель. Сортировка годного агломерата для выделения постели и отсева мелочи из товарного агломерата	Отсев мелочи менее 5 мм в возврат
1.18	Охладитель агломерата	330.28.92.40.140	Производительность – 150–400 т/час	Охлаждение готового агломерата перед отгрузкой
1.19	Эксгаустер	330.28.92.40.140	Создание разрежения в вакуум-камерах под паллетами агломашин и по всему газоотводящему тракту	Эвакуация газов от агломашины и выброс в атмосферу после очистки от пыли и вредных газов
1.20	Водооборотный цикл. Водяные насосы	330.28.92.40.140	Уборка шламов циклонов газоочистки, сбор пыли от гидросмыва помещений, очистка и осветление оборотной воды, сгущение шламов	Перекачивание технологических жидкостей.
1.21	Отстойники, сгустители шлама, вакуум-фильтры, сушильные барабаны	330.28.92.40.110	Сгущение и обезвоживание шламов на вакуум-фильтрах, сушка обезвоженных шламов в сушильных печах	Обезвоживание шламов

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
1.22	Электрофильтр	330.28.25.14.120	Производительность – 2800 тыс. $м^3$/час, эффективность очистки – 99,85 %, концентрация пыли на выходе – не более 50 мг/$м^3$	Очистка отходящих газов на участке разгрузки агломерата
1.23	Система смачивания и установка силоса ЦАС-2	330.28.92.40.140	Уменьшение пыления материалов	ЦАС-2 –центральная аспирационная система для улавливания и очистки воздуха охладителей агломерата
1.24	Комплекс оборудования для утилизации отходящего тепла агломерационных машин и охладителей агломерата	330.28.92.40.140	Рециркуляция отходящих газов, теплообменники	Утилизация тепла отходящих горячих газов и воздуха
	Производство кокса			
2.1	Аспирационные системы в составе укрытий, воздуховодов, вентиляторов и пылеуловителей	330.28.25.14.120	Эффективность очистки от пыли – 92–96 %	Подготовка угольной шихты
2.2	Установка утилизации фусов (короб)	210.00.11.10.450 330.28.91.1	Возврат отходов 3 класса опасности коксохимического производства в качестве добавки к сырью	-“-
2.3	Закрытый склад угля	210.00.11.10.520	Хранение угля и подготовка шихты для коксования	-“-

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
2.4	Насосная шламовых вод	210.00.11.10.710	Транспортировка технологических вод оборотного цикла	-“-
2.5	Очистные сооружения шламовых вод	210.00.11.10.792	Очистка технологических вод оборотного цикла	-“-
2.6	Воздухосборник	220.25.29.12.191	Обеспечение работы пароинжекции при загрузке коксовых печей	Коксование
2.7	Система пароинжекции для бездымной загрузки	220.41.20.20.901	Бездымная загрузка коксовых печей; пар под избыточным давлением 8–9 атм.	-“-
2.8	Система гидроинжекции для бездымной загрузки	330.28.12.1	Давление – 352 Па; объем воды, подаваемой на орошение – 60 $м^3$/час	-“-
2.9	Установка беспылевой выдачи кокса	330.28.22.18.180 210.00.11.10.911 210.00.11.10.450	Улавливание пылевых выбросов при выдаче кокса из коксовых печей в составе зонта, дымососа, коллектора запыленного воздуха и пылеуловителя	-“-
2.10	Закрытый склад валового кокса	210.00.11.10.520	Хранение готовой продукции до отгрузки потребителю	-“-
2.11	Установка сухого тушения кокса	330.28.91.1	Охлаждение кокса циркулирующим инертным газом	-“-

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
2.12	Камера тушения	330.28.22.18.270	Камера тушения установки сухого тушения кокса с загрузочным и разгрузочным устройствами	-“-
2.13	Котел-утилизатор УСТК	330.25.30.11.110	Производительность по пару – 36,8 т/час	-“-
2.14	Деаэрационная питательная установка	330.25.30.12.110 210.00.11.10.911	Производительность – 400 т/час	-“-
2.15	Аспирационная система приточно-вытяжной вентиляции на бункерах погрузки кокса	220.41.20.20.300 330.28.25.14.120	Удаление пыли из производственных помещений	Отгрузка кокса
2.16	Аспирационные системы мокрой очистки в составе вентиляторов и очистных аппаратов типа СИОТ-5, СИОТ-6, СИОТ-8, ПМ-35А, КМП-3.2, КМП-6.3	330.28.25.14.120	Эффективность очистки выбросов – 92–96 %	-“-
2.17	Дымососы и вентиляторы мелкие одностороннего всасывания с диаметром рабочего колеса до 1,3 м	330.25.30.12.110	Удельный расход энергоресурсов — не более 52,3 кг у.т./т	-“-
2.18	Вентиляторы промышленные	330.28.25.20.119	Коэффициент полезного действия – не менее 75 при производительности до 5000 м^3/час; не менее 85 при производительности 5000 м^3/час и более	-“-

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
2.19	Рукавный фильтр с импульсной регенерацией	330.28.25.14.120	Эффективность очистки выбросов – 99 %	-“-
2.20	Отделение конденсации и охлаждения коксового газа	210.00.11.10.450	Первичное охлаждение коксового газа с выделением каменноугольной смолы	Охлаждение (и очистка) коксового газа (и утилизация его химической энергии)
2.21	Аппарат воздушного охлаждения коксового газа АВОГ	330.28.25.13.119	Поверхность теплообмена – 8020 м^2	-“-
2.22	Аппараты теплообменные (холодильники, подогреватели, решоферы)	330.28.25.13.110 330.28.25.11.110	Поверхность теплообмена – 3000 м^2	-“-
2.23	Электрофильтр	330.28.22.18.270	Очистка коксового газа от смолы	-“-
2.24	Нагнетатель коксового газа	330.28.13.28	Производительность – 1270 м^3/мин	-“-
2.25	Установка охлаждения пека с эстакадой	330.28.25.11.110	Охлаждение пека	-“-
2.26	Первичные отстойники Вторичные отстойники	220.42.21.13	Подготовка воды к очистке	Биохимическая очистка сточных вод
2.27	Градирня	220.25.11.23.140	Производительность по воздуху – 50 000 м^3/час	-“-
2.28	Установка мгновенного вскипания	330.28.91.1 330.28.25.14.129 220.41.20.20.300	Поверхность теплообмена – более 425 м^2	-“-

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
2.29	Турбовоздуходувка (газодувка, воздуходувка)	330.28.13.28	Производительность – 18000 $м^3$/час	-“-
2.30	Усреднитель	220.42.21.13	Усреднение состава воды	-“-
2.31	Аэротенки I ступени		Биохимическая очистка воды от фенолов	-“-
2.32	Аэротенки II ступени		Биохимическая очистка воды от роданидов	-“-
2.33	Аммиачно-сульфатное отделение	210.00.11.10.450	Улавливание аммиака из коксового газа, получение побочной продукции – сульфата аммония	Получение химических продуктов (попутно с очисткой коксового газа)
2.34	Сатуратор	330.28.91.11.140	Улавливание аммиака	-“-
2.35	Центрифуга	330.28.29.12.190	Отделение сульфата аммония	-“-
2.36	Сушилка сульфата аммония	330.28.21.13.110	Производительность – 5 т/час	-“-
2.37	Конвейер-охладитель	330.28.22.18.390	Охлаждение сульфата	-“-
2.38	Установка утилизации химических отходов	210.00.11.10.450	Утилизация отходов коксохимического производства в производственный процесс	-“-
2.39	Санитарный скруббер для улавливания и эвакуации паров вредных испарений	330.28.25.14.124	Очистка выбросов из воздушников емкостей	-“-
2.40	Установка термокаталитическая	330.28.25.14.129	Эффективность очистки от бенз(а)пирена – 90 %	-“-
2.41	Реактор	330.28.91.1	Обработка отходов в целях возврата в производство	-“-

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
2.42	Коллекторная система	220.41.20.20.767 220.41.20.20.763	Система сбора выбросов емкостей и хранилищ с последующей транспортировкой в прямой коксовый газ	-“-
2.43	Градирня	220.25.11.23.140	Охлаждение воды оборотного цикла	Генерация электрической и тепловой энергии
2.44	Котлоагрегат (котел)	330.25.30.11.110	Котлы, работающие на коксовом газе	-“-
2.45	Турбогенератор (турбина)	330.28.11.21.110	Производство электроэнергии	-“-
2.46	Подогреватель (холодильник, теплообменник)	330.25.30.12.110	Подогреватели ПН 130-6-10, ПН 200-16-7-1, ПН 425-230-25-4, ПСВ 315-14-23, ПСВ 500-14-23	-“-
	Производство чугуна			
3.1	Вагоноопрокидыватель	330.28.22.18.140	Вагоноопрокидыватель роторный или передвижной	Выгрузка поступающих грузов
3.2	Грейферные краны	330.28.22.14.121	Грейферные краны: козловые, портальные, мостовые	Разгрузка вагонов на склад сырья в усреднительный штабель, забор сырья для заполнения шихтовых бункеров

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
3.3	Трансферкар	330.28.22.18.140	Перегрузочный вагон	Заполнение компонентами шихты бункеров доменных печей
3.4	Бункеры, весовые дозаторы, весовые воронки, ленточный конвейер	330.28.22.18.270	Бункеры, весовые дозаторы, ленточные сборные конвейеры для шихты	Дозировка компонентов доменной шихты на сборный конвейер или в скип в нужном соотношении
3.5	Краны-перегружатели, трансферкары, электромеханические вагон-весы, грохоты, конвейеры, бункеры	330.28.22.14.120 330.28.22.14.140	Транспортировка, дозирование и загрузка шихты в доменную печь	
3.6	Машина для вскрытия чугунной лётки	330.28.22.18.270	Электрическая или гидравлическая модификация	Вскрытие чугунной лётки для выпуска продуктов плавки
3.7	Машина для закрытия чугунной лётки («пушка»)	330.28.22.18.270	Электрическая или гидравлическая модификация	Закрытие чугунной лётки после окончания выпуска
3.8	Чугуновозный ковш	330.28.22.18.270	Вместимость ковша – 70–100 т чугуна	Транспортировка жидкого чугуна в сталеплавильный цех ж.д. транспортом
3.9	Чугуновозный ковш миксерного типа	330.28.22.18.270	Вместимость ковша – 300–500 т чугуна	Транспортировка жидкого чугуна в сталеплавильный цех ж.д. транспортом

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
3.10	Шлаковый ковш	330.28.22.18.270	Вместимость шлакового ковша – 16 м^3	Транспортировка жидкого шлака на переработку ж.д. транспортом
3.11	Припечная гранустановка	330.28.22.18.270	Грануляция, обезвоживание и подсушка шлака вблизи доменной печи	Грануляция жидкого шлака по ходу выпуска
3.12	Гранустановка отдельно стоящая	330.28.22.18.270	Грануляция шлака, сливаемого из шлаковых чаш на шлакоперерабатывающей установке	Грануляция шлака
3.13	Комплекс оборудования по переработке шлака	330.28.92.40.129 330.28.22.18.270	Шлакоперерабатывающая установка (ШПУ), дробильно-сортировочная установка (ДСУ), насосы, экскаваторы, конвейеры	Переработка шлака, ШПУ – год пуска 1965
3.14	Пылеуловитель-циклон	330.28.92.40.110	Очистка аспирационного воздуха от крупной пыли	Очистка аспирационного воздуха
3.15	Пылеуловитель	330.28.92.40.140	Сухая очистка доменного газа	Рукавный фильтр
3.16	Газоочистка доменной печи мокрого типа	220.41.20.20.750	Скруббер и трубы Вентури. Установка скруббера объемом 1407 м^3 и труб Вентури ТВР 940/740-0,25 в составе газоочистки доменного газа	(ДП № 1, год пуска – 2007, стоимость – 149 млн руб.)

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
3.17	Водооборотный цикл. Водяные насосы, отстойники, сгустители шлама	330.28.92.40.110 220.41.20.20.750	Сбор пыли от гидросмыва помещений, уборка шламов циклонов газоочистки. Перекачивание технологических жидкостей. Сбор и очистка грязной воды, предварительное сгущение шламов	Очистка и осветление оборотной воды
3.18	Сгустители шлама, шламовые насосы, вакуум-фильтры, сушильные барабаны	330.28.92.40.110 330.28.22.18.270	Обезвоживание шламов на вакуум-фильтрах, сушка обезвоженных шламов в сушильных печах	Сгущение твёрдой фазы. Обезвоживание и сушка шламов
3.19	Доменная печь	220.42.99.11.130	Полезный объем, м^3/год пуска: 260 /1895; 1007, 1033, 1370, 2002 / 1955–1993 1007, 1033 м^3, 2700, 5580 / 2005–2010	Нагрев и восстановление железорудного сырья с получением чугуна, шлака и доменного газа
3.20	Разливочные машины, маневровые устройства	330.28.22.18.180 330.28.22.18.270	Разливка из чугуновозных ковшей товарного жидкого чугуна в чушки	Год пуска Р/М 1,2 – 1954, Р/М 3 – 1973
3.21	Блок воздухонагревателей доменной печи	220.25.11.23.139	Удельный расход условного топлива на 1 тыс. м^3 дутья до 72–80 кг у.т./ тыс. м^3	Год пуска – 2011

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
3.22	Блок воздухонагревателей доменной печи	220.25.11.23.139	Расхода условного топлива на нагрев дутья – не более 72 кг у.т./тыс. м^3 дутья	Блок воздухонагревателей с указанными характеристиками предназначен для эффективной утилизации вторичных энергоресурсов за счет нагрева дутья для доменных печей до температуры 1200–1250 °С с использованием смеси попутных металлургических газов (доменный, коксовый) и природного газа, а также с утилизацией тепла дымовых газов для нагрева топлива и воздуха горения
3.23	Турбокомпрессор (турбина Т-30-90-1, компрессор К-7000-41-1)	330.28.13.25 330.28.13.28	Производительность по дутью – 7000 нм^3/мин, давление воздуха – 5,3 ата	Ст. № 5, год пуска 1973
3.24	Турбокомпрессор (турбина ВКВ-22-90-10, компрессор К-5500-41-1)	330.28.13.25 330.28.13.28	Производительность по дутью – 5500 нм^3/мин, давление воздуха – 5,3 ата	Ст. № 4, год пуска 1971

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
3.25	Комплекс оборудования для вдувания пылеугольного топлива в доменные печи	330.28.22.18.270	Современный уровень технологии вдувания ПУТ позволяет обеспечить стабильный уровень вдувания ПУТ в количестве 150–200 кг/т чугуна. Применение технологии вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи позволяет: - снизить расход металлургического кокса на производство чугуна на 20–25 %; - снизить на 20–25 % эксплуатационные расходы и воздействие на окружающую среду при производстве кокса: затраты на энергоресурсы, на закупку дорогостоящих коксующихся углей (имеющие конечные запасы в месторождениях); - снизить расход природного газа на производство чугуна на 70–80 %	Реализовано для доменных печей № 4, 5 и доменных печей № 6, 7

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
3.26	Газовые утилизационные бескомпрессорные турбины (ГУБТ)	330.28.22.18.270	Использование повышенного давления колошниковых газов для выработки электроэнергии	Мощность – 12, 15, 25 МВт
	Производство стали в конвертерах			
4.1	Миксер стационарный		Усреднение чугуна	
4.2	Миксер передвижной		Усреднение чугуна, транспортирование чугуна	
4.3	Установка десульфурации чугуна		Стационарный стенд с системой бункеров для подачи сыпучих и газообразных материалов в чугунозаливочный ковш и системой скачивания шлака	
4.4	Чугунозаливочный ковш		Емкость, футерованная огнеупорными материалами, для заливки жидкого чугуна в конвертер	
4.5	Сталеразливочный ковш	330.28.22.18.270	Цилиндрическая емкость, футерованная огнеупорными материалами, для приема жидкой стали	
4.6	Установка доводки металла		Стационарный стенд с системой подачи инертного газа и бункеров с сыпучими материалами для обработкистали	

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
4.7	Агрегат «ковш-печь»	330.28.21.13.119 330.28.22.18.270	Стационарный стенд с системой электродов и бункеров с сыпучими материалами для обработки стали	
4.8	Установки вакуумирования стали	330.28.22.18.270	Агрегат с системой обработки стали вакуумом	
4.9	Комплекс оборудования конвертеров сталеплавильных и машины для их обслуживания	330.28.22.18.270 330.28.21.13.129	Удельный расход энергоресурсов – не более 40 кг у.т./т	Применение современных энергоэффективных технических решений по транспортировке шихтовых материалов, автоматизированных электроприводов, систем автоматического управления процессом выплавки стали позволяет снизить энергозатраты на 30 %

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
4.10	Установки непрерывной разливки стали (машины непрерывного литья заготовок или МНЛЗ)	330.28.22.18.270	Удельный расход энергоресурсов – не более 11 кг у.т./т	Современные решения в отношении регулируемых приводов транспорта слитка, оборудования по качанию кристаллизатора, систем первичного и вторичного охлаждения слитка, систем газовой резки и автоматизация работы установки позволяет снизить затраты энергоресурсов на 10–15 %
4.11	Изложницы		Комплекс оборудования включающий разливочный мостовой кран, маслостанцию управления шиберным затвором стальковша, передвижной тележкой осмотра изложниц	
4.12	Комплекс оборудования по сбору, хранению и транспортировке конвертерного газа	330.28.22.18.270 220.41.20.20.750 220.25.29.11.110		Удельный выход конвертерного газа – 60–80 м^3/т стали

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
4.13	Оборудование котельное	330.25.30.12.110	КПД на уровне 92–96 % против 60–85 %	За счет применения современных конструктивных решений (горелочная система, возврат тепла дымовых газов, автоматизация и т. д.)
	Производство стали в электропечах			
5.1	Магнитно-грейферные краны	330.28.22.14.121	Грейферные краны: козловые, мостовые	Разгрузка вагонов на склад сырья, забор сырья
5.2	Магнитный кран на шлаковом дворе	330.28.22.14.121	Кран мостового типа	Отмагничивание металла из шлака
5.3	Экскаватор	330.28.92.27.119	Погрузка шлаковой продукции в ж.д. или автотранспорт	Отгрузка шлака
5.4	Автошлаковоз	330.28.22.18.270	На резиновом ходу	Транспортировка шлаковых чаш
5.5	Электромостовые краны	330.28.22.14.121	Кран мостового типа	Перемещение грузов
5.6	Дробилки флюсов (и кусковых материалов)	330.28.92.40.125 330.28.92.40.123	Молотковые, валковые дробилки,	Дробление и измельчение флюсов и кусковых материалов
5.7	Дробилка топлива	330.28.92.40.120	Дробилка четырёхвалковая	Дробление и измельчение твёрдого топлива – кокса, угля

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
5.8	Дробилка щёковая	330.28.92.40.121	Модель С-644, производительность – 19 м^3/ч	Предварительное дробление крупных кусков материала до 40–100 мм
5.9	Дробилка молотковая	330.28.92.40.125	Модель СМ-431, производительность – 6–30 т/ч	Среднее дробление материала до 10 мм
5.10	Дробилка двухвалковая	330.28.92.40.129	Модель ДВГ-2М, производительность – 3–12 м^3/ч	Тонкое дробление материала до 2–14 мм
5.11	Дробилка четырёхвалковая	330.28.92.40.129	Производительность – 6–30 м^3/ч	Тонкое дробление материала до 0,5–5 мм
5.12	Машины-грохоты	330.28.92.40.110	Производительность – 1–15 т/ч	Рассев материалов по фракциям
5.13	Оборудование аспирации	330.28.92.40	Аспирация мест с дробильно-измельчительным оборудованием	Аспирация
5.14	Тележки погрузочно-разгрузочные	330.30.20.31.122	Приём и доставка материалов	Перемещение грузов
5.15	Электропогрузчики	310.30.99.10.000	Перемещение грузов	Перемещение грузов
5.16	Автопогрузчики	330.28.22.15.120	Перемещение грузов	Перемещение грузов
5.17	Бункеры, питатели, весовые дозаторы	220.25.11.23.139 330.28.29.3	Хранение и дозирование компонентов шихтовых материалов	Хранение и дозирование компонентов

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
5.18	Конвейеры	330.28.22.18	Ленточный конвейер	Транспортировка сыпучих грузов
5.19	Сушильные, прокалочные печи, барабаны,	330.28.99.31.120 330.28.21.13.111	Сушка и прокалка материалов и ферросплавов перед подачей в печь на плавку для предотвращения насыщения жидкой стали водородом	Сушка и прокалка материалов и ферросплавов перед подачей в печь на плавку
5.20	Завалочные саморазгружающиеся бадьи	330.28.22.18.270	Навешивается на кран	Завалка металлошихты в ДСП
5.21	Машина для загрузки шлакообразующих в печь	330.28.22.18.270	Загрузка материалов в печь	Загрузка материалов в печь
5.22	Мульдозавалочная машина напольная	330.28.22.14.120	Напольного типа	Загрузка материалов в печь
5.23	Мульдозавалочная машина крановая	330.28.22.14.120	Кранового типа	Загрузка материалов в печь
5.24	Мостовой разливочный кран разливочного пролёта	330.28.22.14.121	Транспортировка сталеразливочного ковша со сталевоза на разливочный стенд и обратно	Транспортировка сталеразливочного ковша

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
5.25	Электропечи дуговые сталеплавильные	220.42.99.11.190 330.28.21.13.112	Удельный расход энергоресурсов (электроэнергия, природный газ, кислород) – не более 73 кг у.т./т. Вместимость печи / мощность трансформатора / год пуска, соответственно, т/МВ*А/год: 160 / 140 / н.св. 160 / н.св. / 2013 160 / 110 / н. св. 150 / 110 / 1990 135 / 100 / 2005 135 / 110 / 2008 120 / н. св. / 2011 н. св. / 120 / 2010 115 / 95 / 2017	Применение современных энергоэффективных технологий, в том числе за счёт дополнительного вдувания углеродсодержащего сырья, газа и кислорода позволит снизить энергозатраты на 30–35 %
5.26	Дуговая сталеплавильная печь шахтного типа	220.42.99.11.190	Вместимость печи – 150 т	Год пуска: соответственно ШП № 1,2 – 1999 г., 2005 г.

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
5.27	Агрегат (установка) «ковш-печь» (АКП или УКП)	330.28.21.13.119 330.28.22.18.270	Стационарный стенд с системой электродов и бункеров с сыпучими материалами для обработки стали, различается по числу позиций для обработки ковша, объему обрабатываемого ковша, мощности трансформатора. Объемы обрабатываемого ковша, т: 110, 120, 130, 135, 150. Мощность трансформатора: 18, 20 МВ*А	Внепечная обработка жидкой стали
5.28	Установки вакуумирования стали	330.28.22.18.270	Агрегаты с системой обработки стали вакуумом, различаются типом, числом вакуумных камер, массой обрабатываемого металла	Новое оборудование, годы пуска – 2005–2013 гг.
5.29	Сталевоз	330.28.22.18.270	Перемещение сталеразливочного ковша из печного в разливочный пролёт	Перемещение сталеразливочного ковша
5.30	Сталеразливочный ковш	330.28.22.18.270	Цилиндрическая емкость, футерованная огнеупорными материалами для приема жидкой стали	Приём и перемещение выплавленной стали

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
5.31	Машина «Орбита»	330.28.22.18.270	Машина портального типа с пескомётным механизмом подачи огнеупорной массы	Футеровка сталеразливочных ковшей
5.32	Шлаковая чаша	330.28.22.18.270	Стальная ёмкость объёмом 16 $м^3$	Приём и транспортировка шлака
5.33	Установки непрерывной разливки стали (машины непрерывного литья заготовок или МНЛЗ)	330.28.22.18.270	Комплекс оборудования, включающий подъемно-поворотный стенд, промежуточный ковш, кристаллизатор, зону вторичного охлаждения, тянуще-правильный агрегат, резаки, рольганг для получения сортовой или слябовой заготовки. Различают по числу ручьев (от 3-х до 8 ручьев для сортовой заготовки и до 2-х ручьев для слябовой заготовки), скорости машины (от 0,5 до 6,0 м/мин)	Применение современных решений по оборудованию. Удельный расход энергоресурсов (электроэнергия, природный газ, кислород, техническая вода) не более 11,7 кг у.т./т Новое оборудование, годы пуска 1984–2013 гг.

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
5.34	Машина непрерывного литья заготовки с системой электромагнитного перемешивания металла	330.28.21.13.111	Тип: 4-х ручьевая криволинейного типа с базовым радиусом 14 м и разгибом непрерывно-литого слитка в 3-х точках. Оснащена системой электромагнитного перемешивания металла	Предназначена для отливки заготовки диаметром 150 мм, 156 мм, 196 мм, 228 мм, 260 мм.
5.35	Оборудование слябовой МНЛЗ (система вторичного охлаждения слитка, участок для наплавки роликов, подъемный рольганг)	330.28.91.11.149	Максимальный расход воды на вторичное охлаждение слитка при скорости разливки 1,6 м/мин, длительности разливки плавки 39 мин и среднем весе плавки 110 т – 1,24 $м^3$/т; расход воздуха на вторичное охлаждение слитка – 24,8 $м^3$/т; расход технической воды на охлаждение транспортной линии – 1,56 $м^3$/т	
5.36	Установка подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор МНЛЗ № 2	330.28.25.11.110	Установочная мощность – 6 кВт; скорость подачи ШОС – (от 230 до 2000) г/мин	Стоимость 5,24 млн руб
5.37	Стенды сушки сталеразливочных ковшей	330.28.22.18.270	Сушка в вертикальном и горизонтальном положении	Стоимость 35,79 млн руб

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
5.38	Стенды разогрева сталеразливочного ковша	330.28.22.18.270 330.28.25.14.129	Топливо – природный газ, мощность горелки – 1,8 Гкал/час, расход газа на горелку – 220 нм^3/ч	Температура разогрева 1100°С
5.39	Стенд выжигания скардовин	330.28.22.18.270	Обработка ковшей	
5.40	Оборудование системы газоочистки дуговой электросталеплавильной печи	330.28.25.14.120 330.28.25.14.129	Газопылеулавливающая установка, расход дымовых газов – 1000–2400 тыс. м^3/ч; запыленность перед фильтрами – 1,5–2 г/м^3; запыленность после фильтров – до 10 мг/м^3	Рукавный фильтр, фильтрующий материал - рукава из полиэфирных волокон, импульсная продувка сжатым воздухом
5.41	Газоочистная установка (ГОУ) ковша-печи и вакууматора	330.28.25.14.120	Объем неочищенного газа до входа в фильтр – 110000 м^3/ч; температура очищаемого газа – 100 °С	Рукавный фильтр
5.42	Пресс-ножницы РС 1600-АС	330.28.41.32.110	Номинальное усилие резания – 1600 тс. Наибольшие размеры разрезаемого металла (при G=45 кгс/м^2): плоский лист (толщина*ширина) – 120*900 мм; круг (диаметр) – 260 мм; квадрат (сторона) – 230 мм. Число резов – 2,5–3,5 резов/мин. Производительность при длине реза 55 мм – 40т/ч	

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
5.43	Линия дробления шлака	330.28.92.40.129	Продукция переработки – щебень шлаковый фракций 0–20 мм и 20–70 мм. Производительность линии – 30 т/ч	
5.44	Погрузчик DRESSTA 560E EXITRA (5 шт.)	330.28.22.15.120		
5.45	Электропечи и устройства новых видов нагрева – нагревательные и плавильные	330.28.21.13.129	Применение современных энергоэффективных типов оборудования, автоматизации режимов нагрева, современных теплоизоляционных материалов. Удельный расход энергоресурсов (электроэнергии, газообразного топлива) не более 73 кг у.т./т	Экономия энергии
5.46	Установки, предназначенные для утилизации тепла отходящих газов электросталеплавильных печей	330.28.25.12.190	Применение теплообменного оборудования для утилизации тепла высокотемпературных отходящих газов электросталеплавильных печей для получения пара, горячей воды или нагрева воздуха. Снижение расхода энергоресурсов на плавку до 25 %.	Экономия энергии

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
	Производство ферросплавов			
6.1	Дробилка щековая	330.28.92.10.121	Крупность дробленого материала – 150–500 мм. Производительность – 550 м^3/ч. Предел прочности – при сжатии до 300 МПа. Тип – СМД-111А. Крупность дробленого материала – 55–100 мм. Производительность – 250 м^3/ч. Предел прочности – при сжатии до 300 МПа. Тип – СМД 109А	Дробление руд Дробление ферросплавов
6.2	Дробилка валково-зубчатая 2-х валковая	330.28.92.10.123	Крупность дробленого материала – 25–125 мм. Производительность – 80–120 м^3/ч. Предел прочности – при сжатии до 300 МПа. Тип – ДДЗ–4, ДДЗ–6	Дробление угля
6.3	Дробилка 4-х валковая	330.28.92.10.123	Крупность дробленого материала – 10–40 мм. Производительность – 15–30 м^3/ч. Предел прочности – при сжатии до 200 МПа. Мощность эл. двигателя – 55 кВт. Тип – ДВД 350	Дробление кокса

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.4	Грохот инерционный 2-х дечный	330.28.92.40.110	Размер куска исходного материала – 100–200 мм. Производительность – 100–180 т/ч. Мощность электродвигателя – 11–15 кВт. Тип – ГИЛ–32, ГИС–32	Рассев руд Рассев угля и кокса Рассев ферросплавов
6.5	Барабан сушильный	330.28.92.40.140	Диаметр барабана – 0,75–3,2 м. Длина – 5,5–18 м. Мощность электродвигателя – 4–55 кВт. Тип – АБС 0,75 – АБС-3,2	Сушка, смешивание и подогрев шихты до 200–400 °С
6.6	Печь обжиговая	330.28.21.13.129	Диаметр барабана – 1,4–3,2 м. Длина – 33–50 м. Мощность электродвигателя – 18–125 кВт	Обжиг шихтовых материалов при температуре 700–1300 °С
6.7	Конвейеры ленточные	330.28.22.18	Ширина ленты – 400–1200 мм. Скорость ленты – 1,0–4,5 м/с. Суммарная мощность приводных электродвигателей – 0,5–500 кВт. Удельный расход электроэнергии на перемещение 1 т груза на 1 м – не более 0,0017 кВт*ч/т*м	Транспортировка сырьевых материалов.
6.8	Дозатор непрерывного действия	330.28.29.3	Ширина ленты – 500–1400 мм. Производительность – 1–200 т/ч. Предел погрешности – 1–1,%. Тип – М8401-1 – М8401-6	Смешивание сырьевых материалов в заданном соотношении

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.9	Рудно-термическая печь	330.28.21.13.113	Мощность активная – 8–80 МВт, установленная мощность печных трансформаторов – 9–110 МВА. Масса – 100–600 т. Напряжение с высокой стороны – 10–110 кВ. Ток электрода – 60–100 кА. Тип – РКО, РКЗ, РКГ, РКПЗ, РПЗ, РПГ	Выплавка ферросплавов углетермическим методом непрерывным процессом
6.10	Рафинировочная печь	330.28.21.13.113	Мощность активная – 2–10 МВт, установленная мощность печных трансформаторов – 2,5–12 МВА. Масса – 50–150 т. Напряжение с высокой стороны – 10 кВ. Ток электрода – 50–70 кА. Тип – РКО-2,5-10 Р	Выплавка ферросплавов силикотермическим методом периодическим процессом
6.11	Установка печь-горн	330.28.21.13.113	Мощность активная – 1–1,5 МВА. Напряжение с высокой стороны – 10 кВ. Ток электрода – 20–30 кА	Выплавка ферросплавов алюмотермическим методом периодическим процессом
6.12	Установка горн	330.28.91.1	Объем горна – 3–8 $м^3$. Масса – 5–10 т. Масса футеровки – 3–6 т	Выплавка ферросплавов алюмотермическим методом периодическим процессом

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.13	Машина для обслуживания леток руднотермических печей	330.28.22.18.270	Скорость перемещения машины – не более 21,4, м/мин. Усилие выдавливания огнеупорной массы – 300 кН. Габаритные размеры – 3770 х 1880 х 2170 мм. Масса машины с токоподводом и комплектом – 5610 кг. Тип – МЗЛФ1	Открывание и закрывание леток руднотермических печей
6.14	Ковш для ферросплава	330.28.91.11.120	Полезная емкость – 1–8 $м^3$. Габаритные размеры: высота – 1500–2000 мм; длина – 2000–2612 мм; ширина – 1900–2356 мм. Вес металла при нормальном заполнении – 8–30 т. Вес порожнего футерованного ковша (с засыпкой) – 5–12 т. Коэффициент запаса прочности цапф >8	Выпуск (слив) ферросплава
6.15	Шлаковня (шлаковый ковш)	330.28.91.11.120	Полезная емкость – 1–10 $м^3$. Вес шлака при нормальном заполнении – 3–30 т. Вес порожней шлаковни – 2–15 т. Коэффициент запаса прочности цапф >8	Выпуск (слив) шлака

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.16	Тележка выкатная	310.30.99.10.000	Грузоподъемность – 10–50 т. Мощность электропривода – 20–100 кВт	Передача ковша с ферросплавом и шлаковен со шлаком от печи в разливочный пролет
6.17	Разливочная машина	330.28.22.18.270	Длина разливочной ленты – 40–70 м. Количество лент – 1–2. Емкость ковшей для разливки – 3–8 $м^3$. Масса слитка – 15–25 кг	Разливка ферросплавов
6.18	Поддоны	330.28.91.11.130	Габаритные размеры – 300 х 900 х 1400 мм. Размеры углубления для слитка – 65 х 760 х 1260 мм. Масса – 0,9 т	Разливка ферросплавов
6.19	Короб технологический	330.28.91.1	Полезный объем – 1,5–2,5 $м^3$. Габаритные размеры – 600–800 х 1500–1800 х 2000–2200 мм. Масса – 0,9–1,2 т	Сбор горячих слитков ферросплавов
6.20	Тележка передаточная межцеховая	310.30.99.10.000	Грузоподъемность – 20–60 т. Мощность электропривода – 40–110 кВт	Передача ферросплавов из разливочного пролета в склад готовой продукции

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.21	Станция затаривания ферросплавов в мягкие контейнеры	330.28.22.18.320	Габаритные размеры – 2040 × 4450 × 1990 / 2990 мм, масса – 730 кг. Величина дозы – 500–1000 кг. Установленная мощность – 4 кВт. Производительность – до 20 биг-бегов/ч	Упаковка товарных партий ферросплавов в мягкие контейнеры
6.22	Станция загрузки ферросплавов в сухогрузные контейнеры	330.28.22.18.320	Габаритные размеры – 4000–4500 × 2500–3000 × 12000–14000 мм. Величина дозы – 22–28 т. Установленная мощность – 30 кВт. Производительность – до 4 контейнеров/ч	Загрузка ферросплава в сухогрузные контейнеры
6.23	Электромостовой кран	330.28.22.14.121	Грузоподъемность – 1,5/5–5/20 т. Длина фермы моста – 5–34 м. Установленная мощность – 20–80 кВт	Разгрузка и подача сырья на подготовку в складах шихтовых материалов Перемещение грузов в печном пролете и складе готовой продукции
6.24	Электромостовой литейный кран	330.28.22.14.121	Грузоподъемность – 5/20–10/50 т. Длина фермы моста – 22 м. Установленная мощность – 50–120 кВт	Перемещение грузов и жидкого металла и шлака в разливочном пролете

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.25	Фильтр рукавный для газоочисток печей	330.28.25.14.120	Производительность по газу – 100–500 тыс. нм^3/час, фильтрующий элемент – тканевые рукава. Диаметр рукава – 135 мм. Площадь фильтрации – 3200–8600 м^2. Остаточная запыленность – не более 10 мг/м^3 газа. Мощность электродвигателей дымососов – 0,5–2,0 МВт. Тип – ФРКН-3200-8600	Очистка печных газов открытых и полузакрытых руднотермических печей, рафинировочных печей, установок печь-горн
6.26	Газоочистная установка мокрого типа	330.28.25.14.124	Производительность – 50–100 тыс. нм^3/час. Остаточная запыленность – 10–20 мг/м^3 газа. Мощность электродвигателей дымососов – 0,25–0,4 МВт	Очистка печных азов закрытых и герметичных руднотермических печей
6.27	Фильтр рукавный для аспирационных установок	330.28.25.14.112	Производительность – 1,1–6 тыс. нм^3/час. Площадь фильтрования – 15–60 м^2. Масса – 0,9–2,5 т. Остаточная запыленность – не более 10 мг/м^3 газа. Тип – ФРКН-15-60ВУ	Очистка воздуха от пыли при подготовке шихтовых материалов, транспортировке, дозировке, загрузке шихты в печь, дробления и фракционирования ферросплава

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.28	Котел-утилизатор	330.25.30.11.110	Температура газа – до 700 °С. Производительность насыщенного пара – до 20 т/ч. Максимальная температура пара – до 450 °С. Мощность – до 15 МВт	Преобразование тепла отходящих газов в пар или горячую воду
6.29	Турбина паровая (установка паросиловая)	330.28.11.21.110	Мощность – 1–6 МВт. Номинальное давление свежего пара – 3,9 Мпа. Номинальная температура свежего пара – до 440°С. Расход пара – 8–60 т/ч	Преобразование энергии пара котла-утилизатора в электроэнергию
6.30	Градирня	330.28.12.1	Расход воды – 100–1000 $м^3$/ч. Площадь орошения – 6–64 $м^2$. Габаритные размеры – 3,3–8 х 2,9–8 х 5,2–10,6 м. Масса – 2,7–26 т. Перепад температур 10 °С. Мощность мотора – 15–55 кВт. Тип – БМГ-100–1000	Охлаждение оборотной воды в системе водоохлаждения
6.31	Трансформаторы трехфазные двухобмоточные двухобмоточные и трехобмоточные масляные класса напряжения 110 и 220 кВ для металлургии	330.28.99.3	Номинальная мощность – 10–160 МВА. Номинальное напряжение первичной обмотки – 115–230 кВ. Напряжение вторичной обмотки – 6–38 кВ. Габаритные размеры – 6,3–10 х 3,7–7 х 6–7,9 м. Масса – 41–122 т. Тип – ТДТНМ, ТДНМ, ТРДНМ, ТДЦНМ	Преобразование электрического тока электрических сетей напряжением 110–220 кВ в электрический ток напряжением 6–38 кВ заводских сетей

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.32	Трансформаторы преобразовательные трехфазные для питания электротермических установок.	330.28.99.3	Номинальная мощность – 1–29 МВА. Номинальное напряжение первичной обмотки – 6–11 кВ. Напряжение вторичной обмотки – 40–460 В. Габаритные размеры – 3–4,2 х 1,8–3,5 х 3,5–4,8 м. Масса – 8–56 т. Тип – ЭТМП, ЭТМПР, ЭТМПКР. ЭТДЦНКР	Преобразование электрического тока напряжением 6–11 кВ в электрический ток напряжением 40–460 В
6.33	Трансформаторы однофазные для питания руднотермических электропечей.	330.28.99.3	Номинальная мощность – 0,6–29 МВА. Номинальное напряжение первичной обмотки – 6–110 кВ. Напряжение вторичной обмотки – 120–980 В. Габаритные размеры – 2,2–7 х 2,3–3,1 х 2,6–6,3 м. Масса – 12–78 т. Тип – ЭОЦН, ЭОДЦН, ЭОДЦНКР, ЭОДЦНР, ЭОМПКС, ЭОЦНР	Преобразование электрического тока напряжением 6–110 кВ в электрический ток напряжением 120–980 В
6.34	Конденсаторы для электротермических установок продольной компенсации.	330.28.99.3	Напряжение – 0,6–2,1 кВ. Мощность – 80–150 квар. Емкость – 108–585 мкФ. Масса – 53 кг. Тип – КЭКП, КСП	Компенсация реактивной мощности печных трансформаторов
	Производство феррованадия			
6.35	Баки-емкости для сбора и хранения растворов	330.28.99.3; 330.28.93.17.290	Н/ж сталь, полипропилен, V = 2 – 50 $м^3$	Сбор и хранение технологических растворов в ГМУ

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.36	Бак-реактор с перемешивающим устройством для выщелачиванияWK-E-20-3,0-3,5-PP-01-Rw(E31-1)	330.28.99.3	Полипропилен, V > 15 м^3	Кислотное выщелачивание обожженной шихты в ГМУ
6.37	Вентиляторы-дымососы	330.28.25.20.119 330.28.25.20.190 330.25.30.12.110	Сталь, н/ж сталь, Q = 2550 – 196000 м^3/час, N = 1,1 – 400 кВт	Подача (удаление) воздуха или отработанных газов в (из) помещения и технологические агрегаты
6.38	Фильтры	330.28.29.1 330.26.51.53 330.28.92.40.110	Сталь, н/ж сталь, полипропилен, S = 25 – 200 м^2	Разделение пульп на твердую и жидкую фазы.
6.39	Краны мостовые электрические	330.28.22.14.121 330.28.22.14.120	Г/п = 5–50 т	Подъем и перемещение грузов
6.40	Агрегаты насосные	330.28.13.1 330.28.13.21 330.28.13.14 330.28.13.12 330.28.13.13	Сталь, н/ж сталь, чугун, Q = 14–540 м^3/час, N = 4–200 кВт	Перекачивание жидких технологических сред.
6.41	Сгустители-отстойники	330.28.92.40.110 220.41.20.20.300	V= 36 – 760 м^3, Soc = 12–300 м^2	Осаждение твердых взвешенных частиц (сгущение пульп)
6.42	Узел слива для склада серной кислоты	220.41.20.20.300	V = 680 т., Q = 40 м^3/час	Прием и хранение серной кислоты

Продолжение таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.43	Помольное оборудование	330.28.93.17.112 330.28.92.40.120 330.28.92.40.110	МШР-21-22, N = 200 кВт, Q = 3 – 40 т/час	Размол крупной фракции сырья
6.44	Дробильно-сортировочное оборудование	330.28.92.40.122 330.28.92.40.110 330.28.92.40.121 330.28.99.3 330.28.92.40.124 330.28.92.40.123	Q = 0,6–104 м^3/час, N = 11–75 кВт	Дробление крупной фракции сырья и готовой продукции
6.45	Смесители	330.28.92.40.139 330.28.93.13.149 330.28.91.1	Q = 9 м^3/час, N = 17 кВт	Смешение компонентов шихты
6.46	Питатели	330.28.29.3 330.28.92.30.190 330.28.29.31.110	Q = 25–50 м^3/час	Непрерывная/периодическая подача сырья, вспомогательных материалов или полуфабрикатов на переработку
6.47	Шлаковозы	330.28.99.3 330.28.93.17.290	V = 16,5 м^3	Слив, охлаждение и транспортировка электрометаллургических шлаков
6.48	Печи	330.28.21.13.119 330.28.22.18.180 330.28.21.13.112	Вращающиеся печи, печи сушки-плавки пятиокиси ванадия	Термическая обработка сырья и готовой продукции

Окончание таблицы

№№ пп	Наименование оборудования	Код ОКОФ	Существенные характеристики технологического оборудования (марка, тип, производительность, габариты, энергопотребление, иное)	Примечание (назначение, особенности, иное)
1	2	3	4	5
6.49	Пульт/станция управления	330.26.51.65 320.26.30 330.28.29.31.110 330.28.13.1	U = 220–380В, N = 7,5–40 кВт, n = 1–5 ед.	Управление электроприводами технологического оборудования
6.50	Компрессор	330.28.13.28	Q = 63 м^3/мин, P = 9 Bar, N = 400 кВт	Производство сжатого воздуха для технологических целей

Приложение Д
(обязательное)

Индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов

Введение

Достижение углеродной нейтральности при устойчивом росте экономики России – такие цели заявлены в стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (далее - Стратегия низкоуглеродного развития РФ) [188], подготовленной в рамках указа Президента РФ [189].

В соответствии со Стратегией низкоуглеродного развития РФ прогнозируется 2 сценария с разными подходами по адаптации российской экономики к глобальному энергопереходу:

1. Инерционный сценарий предусматривает реализацию уже принятых решений по достижению национальных целей и задач отраслевых документов стратегического планирования. Дополнительные меры, прямым или косвенным результатом которых является сокращение выбросов парниковых газов, этим сценарием не рассматриваются.
2. Целевой (интенсивный) сценарий предусматривает дополнительные меры по декарбонизации отраслей экономики и увеличению поглощающей способности управляемых экосистем. Этим сценарием глобальный энергопереход рассматривается как один из факторов обеспечения конкурентоспособности российской экономики в глобальном масштабе.

Реализация целевого (интенсивного) сценария приведет в 2050 году к сокращению нетто-выбросов парниковых газов на 60 процентов по сравнению с уровнем 2019 года и на 80 процентов по сравнению с уровнем 1990 года. Это позволит последовательно повышать амбициозность определяемых на национальном уровне вкладов Российской Федерации в реализацию Парижского соглашения (в случае обеспечения соответствия международным стандартам российской системы углеродного регулирования, критериев устойчивых проектов и уровня поглощающей способности управляемых экосистем).

Набор и значения индикаторов реализации Стратегии низкоуглеродного развития РФ ведется с использованием, в т. ч. показателей выбросов парниковых газов, выраженных в млн тонн эквивалента углекислого газа.

Показатели массы выбросов и поглощений парниковых газов в сценариях Стратегии низкоуглеродного развития РФ приведены в таблице Д.1.

Таблица Д.1 – Показатели массы выбросов и поглощений парниковых газов (млн тонн эквивалента углекислого газа)

Наименование показателей	Факт – 2019 год	План – 2030 год	План – 2050 год
Инерционный сценарий			
Выбросы парниковых газов	2119	2253	2521
Поглощения	-535	-535	-535
Нетто-выбросы	1584	1718	1986
Целевой (интенсивный) сценарий			
Выбросы парниковых газов	2119	2212	1830
Поглощения	-535	-539	-1200
Нетто-выбросы	1584	1673	630

В целях реализации Стратегии низкоуглеродного развития РФ [188] и поручений Правительства Российской Федерации [190] необходимо установить показатели удельных выбросов парниковых газов, которые послужат ориентирами достижения углеродной нейтральности в углеродоемких отраслях промышленности. Такие показатели могут быть определены по результатам проведения национального отраслевого бенчмаркинга.

Д.1 Краткая характеристика отрасли с точки зрения выбросов парниковых газов

Д.1.1 Энергоемкость производства стали

Черная металлургия является энергоемкой отраслью, в которой до 75 % совокупного потребления топливно-энергетических ресурсов обеспечивается за счет сжигания угля. В 2019 году потребление угля в черной металлургии в мире составило около 900 млн т у. т., что составляет порядка 15 % его совокупного мирового потребления.

Большая часть угля в черной металлургии потребляется в доменных печах в виде кокса. В ряде регионов мира в качестве альтернативного топлива для доменного способа производства в качестве топлива используется природный газ, нефтепродукты, угольная пыль и вторичные энергоресурсы, однако доля данных видов энергоресурсов в совокупном потреблении энергии предприятиями черной металлургии является незначительной.

Вторым по значимости топливно-энергетическим ресурсом, потребляемым в черной металлургии, является электроэнергия, совокупное потребление в отрасли по итогам 2019 года составляло 1230 ТВт·ч, порядка 25 % которого приходится на электродуговые печи.

Мировое потребление природного газа в черной металлургии составляло по итогам 2019 г. порядка 90 млрд м куб. (или 3,4 ЭДж), основными направлениями его использования в отрасли является производство тепла, а также восстановительных газов (в частности, порядка 5 млн т водорода, применяемого в технологическом процессе прямого восстановления железа).

На протяжении последних двух десятилетий, согласно оценкам IEA, энергоемкость производства продукции черной металлургии в мире снизилась незначительно, и в целом этот фактор был компенсирован значительным ростом

производства продукции отрасли, что повлекло устойчивый рост потребления топливно-энергетических ресурсов и эмиссии парниковых газов предприятиями индустрии.

Энергоемкость производства сильно зависит от соотношения используемого металлолома и железной руды. В частности, первичное производство стали характеризуется более высокой (до 8 раз) энергоемкостью по сравнению с применением металлолома в качестве сырья. В настоящее время порядка 80 % мирового производства стали приходится на первичные методы производства, что обуславливает высокую степень зависимости отрасли от потребления органического топлива, и, соответственно, высокий уровень эмиссии парниковых газов.

Анализ данных the World Steel Association[2] (далее – WSA) и the International Energy Agency[3] (далее – IEA) (таблица Д.2) свидетельствует о том, что среднемировое значение энергоемкости производства стали для доменно-конверторного способа, в зависимости от методики оценки, составляет 21,4-22,7 ГДж/т, электродугового способа при использовании металлолома – 2,1-5,2 ГДж/т, технологической цепочки «железо прямого восстановления – электродуговая печь» (далее – ПВЖ-ЭДП) (при использовании природного газа) – 17,1-21,8 ГДж/т.

В целом средняя энергоемкость производства стали для стран G20 оценивается в 19 ГДж (или 0,45 т н.э.) с учетом энергозатрат на финишные процессы, производство ферросплавов и другие вспомогательные процессы.

Таблица Д.2 – Средняя энергоемкость производства стали в мире в зависимости от способа производства, ГДж/т

Методология	Домна-конвертор	ЭДП (на металлоломе)	ПВЖ-ЭДП (на природном газе)
IEA	21,4	2,1	17,1
WSA	22,7	5,2	21,8

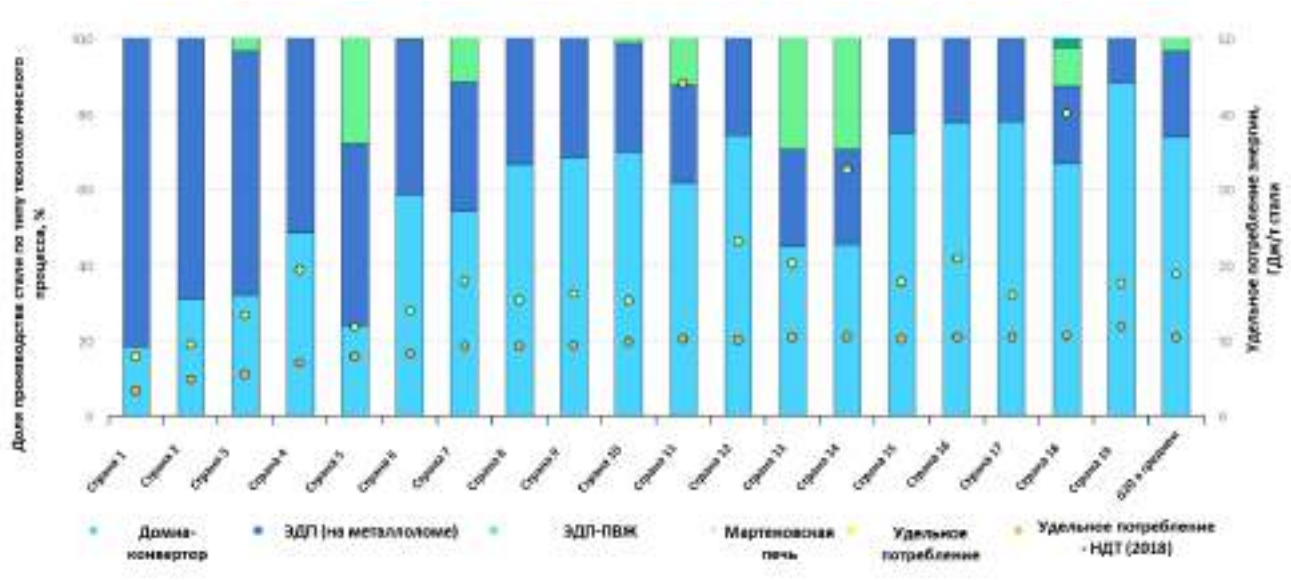
Источник: IEA, WSA [191]

На рисунке Д.1 рассмотрены данные по энергоемкости производства стали в странах G20 согласно данным IEA.

Как следует из представленных данных, доминирование доменно-конверторного способа производства стали в ключевых странах мира обуславливает сохраняющуюся высокую энергоемкость процессов черной металлургии. При этом рядом государств G20 осуществляется активных переход на использование технологической цепочки ПВЖ-ЭДП.

[2] The World Steel Association (всемирная ассоциация производителей стали), официальный сайт: https://worldsteel.org/

[3] The International Energy Agency (международное энергетическое агенство), официальный сайт: https://www.iea.org/



Источник: IEA [192]

Рисунок Д.1 — Энергоемкость производства стали в странах G20, ГДж/т

Д.1.2 Углеродоемкость производства стали

Следствием высокой энергоемкости производства стали в мире является значительный вклад отрасли в эмиссию парниковых газов промышленными источниками: совокупный объем прямых выбросов парниковых газов предприятиями черной металлургии по итогам 2019 г. составил 2,6 Гт прямых выбросов CO_2-экв., что составляет около 30 % общей эмиссии промышленными источниками. При этом общий углеродный след черной металлургии в мире в 2019 г. оценивался приблизительно в 3,7 Гт CO_2-экв., в том числе косвенные выбросы составляли в 1,1 Гт CO_2-экв.

Суммарный выброс парниковых газов в Российской Федерации по данным Национального доклада о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2019 гг. в 2019 г. [193] составил 2119,4 млн т CO_2-экв. (без учета сектора землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства), из них на долю отрасли черной металлургии приходится 140,3 млн т CO_2-экв. (или 6,6 % от общего выброса).

Вклад различных секторов промышленности в суммарный объем выбросов парниковых газов представлен на рисунке Д.2.

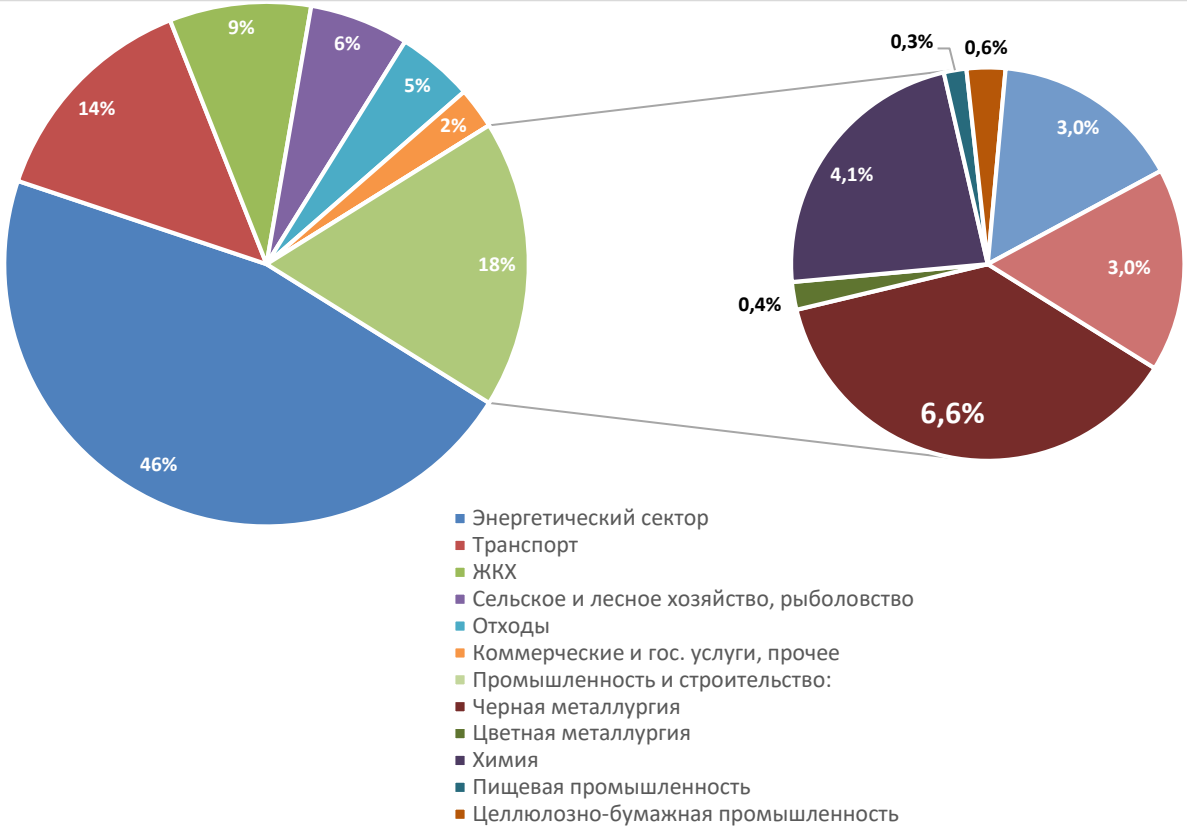


Рисунок Д.2 — Выбросы парниковых газов в Российской Федерации по секторам (% от общего выброса)

Д.2 Этапы проведения бенчмаркинга

Национальный бенчмаркинг для отрасли черной металлургии выполнен с учетом требований ГОСТ Р 113.00.11-2022 «Наилучшие доступные технологии. Порядок проведения бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов в отраслях промышленности» [194].

Основные этапы проведения бенчмаркинга:

- формирование экспертной группы[4];
- определение границ процессов для количественного определения выбросов парниковых газов и выбор методик(и) расчета выбросов парниковых газов;
- разработка анкеты для сбора данных, необходимых для расчета выбросов парниковых газов;
- сбор и обработка данных, необходимых для расчета удельных выбросов парниковых газов;
- расчет удельных выбросов парниковых газов;
- верификация результатов расчетов удельных выбросов парниковых газов;
- построение кривой бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов.

[4] Экспертная группа по проведению бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов сформирована и утверждена приказом Аналитического центра устойчивого развития промышленности Минпромторга России от 21.02.2022 г. № 106АЦ [195].

Результаты бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов являются основой для установления индикативных показателей удельных выбросов парниковых газов.

Д.3 Методология проведения бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов

Д.3.1 Определение границ производственных процессов для количественного определения выбросов парниковых газов и выбор методик(и) расчета выбросов ПГ

Количественная оценка выбросов парниковых газов выполнена для следующих производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии:

- добыча железной руды и производство железорудных концентратов;
- производство кокса;
- производство агломерата;
- производство железорудных окатышей;
- производство чугуна в доменной печи;
- производство железа прямого восстановления;
- производство стали в конвертерах;
- производство стали в электродуговых печах.
- горячий прокат и обработка (в т.ч. бесшовные трубы, катанка, сортовой прокат).

Границы расчета выбросов парниковых газов от производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии приведены в таблице Д.3.

Таблица Д.3 – Границы расчета выбросов парниковых газов от производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии

Наименование производственного процесса (передела)	**Описание границ**
Добыча руды и производство концентратов (справочно)	Добыча железных руд открытым способом (буровые работы, взрывные работы, пыление отвалов пустых пород и некондиционных руд извлечение руды из массива горных пород, погрузочно-разгрузочные работы, транспортирование горной массы, отвалообразование и складирование, первичное дробление, отгрузка продукции, установки газо- и водоочистки) Добыча железных руд подземным способом (буровые работы, взрывные работы, погрузочно-разгрузочные работы, транспортирование горной массы) Обогащение железных руд методом измельчения с последующим разделением полезного компонента и пустой породы (подготовительные процессы (дробление, измельчение, грохочение, классификация), обогащение (гравитационная, мокрая магнитная сепарация; флотация, электрическая сепарация, специальные методы обогащения), вспомогательные (обезвоживание (сгущение и фильтрование), сушка,

Продолжение таблицы Д.3

	пылеулавливание), транспортирование руды, концентрата и продуктов обогащения, погрузочно-разгрузочные работы, складирование; классификация, сгущение и транспортирование хвостов; установки газо- и водоочистки) Обогащение железных руд методом измельчения с последующим разделением полезного компонента и пустой породы методами сухой магнитной сепарации (подготовительные процессы (дробление, измельчение, грохочение, классификация), обогащение (гравитационная, сухая магнитная сепарация), вспомогательные (пылеулавливание), транспортирование руды и продуктов обогащения, погрузочно-разгрузочные работы, складирование; фракционирование, транспортирование сухих хвостов; установки газо- и водоочистки)). Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на: – водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства; – выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.
Производство кокса	Производство кокса (подготовка углей к коксованию (размораживание, погрузочно-разгрузочные работы, складирование, дробление, дозировка, транспортирование), технологические процессы производства кокса (загрузка камер коксования угольной шихтой, трамбование шихты, нагрев угольной шихты в коксовых печах, отвод и охлаждение прямого коксового газа из камер коксования, выдача готового кокса из печей, тушение кокса, сортировка кокса на фракции, транспортирование в границах передела, очистка коксового газа, биохимическая очистка сточных вод). Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на: – водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства; – выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.

Продолжение таблицы Д.3

Производство агломерата	Производство агломерата (прием сырья, размораживание, складирование, усреднение, подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию (измельчение, смешивание, грануляция), спекание шихты на конвейерных машинах, охлаждение и дробление агломерата, горячее и холодное грохочение, сортировка, отсев мелочи, установки газо- и водоочистки). Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на: – водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства; – выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.
Производство железорудных окатышей	Окускование железорудного сырья путем производства обожженных окисленных окатышей (подготовка шихты (дробление, измельчение смешивание), окомковывание, классификация, обжиг (сушка, нагрев, спекание, термический упрочняющий обжиг, рекуперация, охлаждение), погрузочно-разгрузочные работы, транспортирование, сортировка, складирование, установки газо- и водоочистки). Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на: – водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства; – выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.
Производство чугуна в доменной печи	Производство чугуна (прием и хранение сырья, дозирование, отсев мелочи, загрузка печи, подготовка дутья, выплавка чугуна, разливка товарного чугуна на разливочных машинах, обработка доменного шлака, очистка доменного газа и утилизация его химической энергии, утилизация избыточного давления доменного газа, транспортировка жидкого чугуна в сталеплавильный цех, установки газо- и водоочистки). Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на:

Продолжение таблицы Д.3

	– водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства; – выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.
Производство железа прямого восстановления	Производство железорудного сырья с высоким содержанием железа металлического по технологии прямого восстановления железа в шахтных печах металлизации (транспортировка исходного сырья, его классификация, покрытие перед восстановлением, восстановление, генерация восстановительного газа, окислительная пассивация восстановленных окатышей, горячее брикетирование восстановленных окатышей и охлаждение ГБЖ, погрузочно-разгрузочные работы, транспортирование в границах передела, установки газо- и водоочистки). Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на: – водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства; – выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.
Производство стали в конвертерной печи (включая внепечную обработку и разливку)	Производство стали в конвертерах (прием жидкого чугуна, усреднение жидкого чугуна в стационарном миксере, перелив из чугуновозных ковшей или чугуновозных ковшей миксерного типа в чугунозаливочные ковши, подготовка твердой металлической шихты и шлакообразующих материалов, десульфурация чугуна, прием и подготовка ферросплавов, выплавка стали, выпуск расплава из конвертера в сталеразливочный ковш, присадка ферросплавов, раскислителей и других добавок, внепечная обработка расплава, подготовка сталеразливочных и промежуточных ковшей, разливка стали на МНЛЗ или в изложницы (слитки), обработка непрерывнолитых заготовок и слитков, переработка и утилизация шлаков сталеплавильного производства, установки газо- и водоочистки). Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на: – водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства;

Продолжение таблицы Д.3

	– выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.
Производство стали в электродуговой печи (включая внепечную обработку и разливку) с использованием ПВЖ/ГБЖ Производство стали в электродуговой печи (включая внепечную обработку и разливку) с использованием жидкого чугуна Производство стали в электродуговой печи (включая внепечную обработку и разливку) с использованием лома	Производство стали в электродуговых печах (подготовка шихтовых материалов, подготовка печи, завалка шихты, залив чугуна (если применимо), плавка, обезуглероживание, выпуск, раскисление, легирование, внепечная обработка, разливка стали на МНЛЗ, подготовка сталеразливочных ковшей, обработка электросталеплавильного шлака и пыли, очистка отходящего газа сталеплавильных печей, установки газо- и водоочистки). Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на: – водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства; – выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.
Горячий прокат и обработка (в т.ч. бесшовные трубы, катанка, сортовой прокат) (справочно)	Производство горячекатаного плоского проката: - предварительная подготовка заготовки, нагрев заготовки, удаление окалины, прокат (горячая прокатка в реверсивных, полунепрерывных, непрерывных станах), охлаждение, финишная обработка (резка, термообработка, правка, травление, промывка, сушка), установки газо- и водоочистки. Производство горячедеформированных (горячекатаных и горячепрессованных) труб: - производство горячекатаных труб: нагрев заготовки, удаление окалины, прокат (прошивка заготовок, раскатка гильз, калибровка, правка, резка), высадка концов труб, термообработка, финишная обработка (нарезка резьб, снятие фаски, обработка торцов, гидроиспытание труб, нанесение консервационного покрытия, покраска труб), установки газо- и водоочистки; - производство горячепрессованных труб: подготовка заготовки (обточка, порезка, сверление, торцовка), (нагрев, удаление окалины, прошивка либо экспандирование заготовки, прессование гильз, химическая обработка труб, термообработка (нормализация, отпуск, отжиг), финишная обработка (резка,

Окончание таблицы Д.3

	снятие фаски, обработка торцов, правка), установки газо- и водоочистки Производство сортового проката (в том числе длинномерной продукции): - производство арматуры и катанки: нагрев блюмовой заготовки, прокат (получение арматуры и катанки), подготовка катанки (удаление окалины, травление), волочение (сухое или мокрое), термообработка (отжиг, патентирование, закалка), финишная обработка, установки газо- и водоочистки; - производство сортовой продукции: нагрев блюмовой заготовки, прокат (формование сортового профиля), охлаждение, термообработка, финишная обработка, установки газо- и водоочистки. Не включаются в границы выбросы парниковых газов от использования топлива и энергоресурсов (электроэнергии, тепловой энергии, технических газов) на: – водоподготовку и водоотведение за пределами данного производства; – выработку сжатого воздуха; – транспортировку и переработку твердых и жидких отходов за пределами данного производства; – ремонтные работы; – общецеховые нужды, не связанные непосредственно с технологическим процессом.

Д.3.2 Исходные данные для расчета выбросов парниковых газов

Бенчмаркинг удельных выбросов парниковых газов выполнен на основании данных 30 предприятий отрасли черной металлургии, являющихся крупнейшими производителями металлургической продукции в Российской Федерации и обеспечивающих порядка 98 % производства чугуна и 90 % стали и проката, предоставленных в ходе анкетирования с использованием унифицированного шаблона отраслевой анкеты для сбора данных. Данные предоставлены за период 2017 - 2020 гг.

Д.3.3 Методические подходы к количественной оценке выбросов парниковых газов

При проведении количественной оценки выбросов ПГ для отрасли черной металлургии учитываются выбросы CO_2, выбросы иных парниковых газов не учитываются, т.к. в соответствии с данными [193] их вклад в общую массу выбросов парниковых газов составляет менее 1 %.

Для расчета интенсивности выбросов CO_2 в целях определения бенчмарков производства продукции черной металлургии принята единая методика для всех видов продукции (концентрат, кокс, агломерат, окатыши, железо прямого восстановления (горячебрикетированное железо), чугун, электросталь, конвертерная сталь, горячекатаный прокат), разработанная в рамках работы экспертной группы по проведению бенчмаркинга удельных выбросов ПГ, состав которой утвержден приказом

Аналитического центра устойчивого развития промышленности Минпромторга России от 21.02.2022 г. № 106АЦ [195], на основании методических подходов, описанных в существующих национальных нормативно-методических документах, международных руководящих документах и документах стандартизации [196], [197], [198], [199], [200], [201], [202].

Методика учитывает прямые выбросы CO_2 от производственного процесса (передела), а также косвенные выбросы, связанные с производством электрической и тепловой энергии, технических газов и дутья, используемых в производственном процессе (на переделе).

Методика разработана для целей установления индикативных показателей выбросов парниковых газов отдельных производственных процессов (переделов) и позволяет провести сравнительный анализ (бенчмаркинг) производственных процессов (переделов) отрасли.

Выбросы определяются за один полный календарный год.

Расчет интенсивности выбросов CO_2 (бенчмарк) для производства продукции

Расчет удельных выбросов CO_2 для производства продукции выполняется по формуле (1):

$$I_{CO2} = E^{*}_{CO2,\text{прям.}} + E_{CO2,\text{электр.}} + E_{CO2,\text{тепл.}} + E_{CO2,\text{тех.газы}} + \Delta E_{CO2,\text{втор.газы}}, \qquad (1)$$

где:

I_{CO2} – интенсивность выбросов (бенчмарк) для производства определенного вида металлургической продукции, т CO_2/т продукции;

$E^{*}_{CO2,\text{прям.}}$ – удельные прямые выбросы в границах производственного процесса (передела) без учета вторичных топливных газов, т CO_2/т продукции;

$E_{CO2,\text{электр.}}$ – удельные выбросы, связанные с электроэнергией, т CO_2/т продукции;

$E_{CO2,\text{тепл.}}$ – удельные выбросы, связанные с тепловой энергией, т CO_2/т продукции;

$E_{CO2,\text{тех.газы}}$ – удельные выбросы, связанные с техническими газами и дутьем, т CO_2/т продукции;

$\Delta E_{CO2,\text{втор.газы}}$ – удельная поправка к прямым выбросам на вторичные топливные газы, т CO_2/т продукции.

Удельные выбросы CO_2 определяются как валовые выбросы CO_2, отнесенные к объему основной произведенной продукции для каждого производственного процесса (передела).

Расчет удельных прямых выбросов CO_2 в границах производственного процесса (передела) без учета вторичных топливных газов

Расчет удельных прямых выбросов CO_2 в границах производственного процесса (передела) без учета вторичных топливных газов выполняется по формуле (2):

$$E^{*}_{CO2,\text{прям.}} = \left[\sum\left(R_{\text{вх},i} \times C_{\text{вх},i}\right) - \sum\left(R_{\text{вых},j} \times C_{\text{вых},j}\right)\right] \times 3{,}664, \qquad (2)$$

где:

$R_{\text{вх},i}$ – удельный объем использования i-го углеродсодержащего ресурса в границах производственного процесса (передела) металлургической продукции (на входе в передел) за исключением вторичных топливных газов, ед. изм. (т, тыс. м^3 и др.)/т продукции;

$C_{\text{вх},i}$ – содержание углерода в i-м углеродсодержащем ресурсе, т С/ед. изм. (т, тыс. м^3 и др.);

$R_{\text{вых},j}$ – удельный объем производства (образования) j-го углеродсодержащего ресурса в границах производственного процесса (передела) (на выходе из передела) за исключением вторичных топливных газов, ед. изм. (т, тыс. м^3 и др.)/т продукции;

$C_{\text{вых},j}$ – содержание углерода в j-м углеродсодержащем ресурсе, т С/ед. изм. (т, тыс. м^3 и др.).

Вторичные топливные газы (доменный, коксовый, конвертерный) не учитываются здесь ни на входе, ни на выходе. Остальные значимые углеродсодержащие ресурсы, включая отходы, учитываются.

В формуле (2) должны учитываться объемы ресурсов, непосредственно использованные и произведенные (образовавшиеся) в технологических процессах, после внесения всех возможных поправок на изменение запасов на складах. Рекомендуемым источником информации о расходе ресурсов являются технические и балансовые отчеты производственных и энергетических цехов предприятия.

Содержание углерода рекомендуется принимать одинаковым для всех предприятий для следующих видов топлива/сырья: природный газ, мазут, дизельное топливо, сталь и т.п.

Содержание углерода принимается по данным предприятий или рассчитывается на основании данных о физико-химических характеристиках для следующих видов топлива, сырья и продукции: коксующегося угля, кокса (валового), угля энергетический, угля в шихте и т.п. Расчет выполняется по единым формулам для всех предприятий согласно [9] или иным методическим документам, например, методологии WSA [199], [200].

Расчет удельных выбросов CO_2, связанных с потреблением и выработкой электроэнергии

Расчет удельных выбросов CO_2, связанных с электроэнергией, выполняется по формуле (3):

$$E_{CO2,\text{электр.}} = (P_{\text{потр.}} - P_{\text{выр.}}) \times EF_{CO2,\text{электр.}}, \quad (3)$$

где:

$P_{\text{потр.}}$ – удельное потребление электроэнергии в границах производственного процесса (передела), МВт·ч/т продукции;

$P_{\text{выр.}}$ – удельная выработка электроэнергии в границах производственного процесса (передела), МВт·ч/т продукции;

$EF_{CO2,\text{электр.}}$ – коэффициент выброса для электроэнергии, т CO_2/МВт·ч.

Величины $P_{\text{потр.}}, P_{\text{выр.}}$ определяются по фактическим данным предприятия. Величины $P_{\text{потр.}}$ и $P_{\text{выр.}}$ при подстановке в формулу (3) не должны включать затраты электроэнергии на собственные нужды источника электроэнергии. Величина $P_{\text{потр.}}$ включает суммарное потребление электроэнергии, как поставленной со стороны для данного производства (передела), так и выработанной в границах производственного процесса (передела). Электроэнергия $P_{\text{выр.}}$ включает суммарную выработку электроэнергии, которая может быть потреблена как внутри, так и за границами рассматриваемого производственного процесса (передела).

Величина $EF_{CO2,\text{электр.}}$ принимается равной 0,504 т CO_2/МВт·ч для всех предприятий черной металлургии, что соответствует значению по умолчанию, принимаемому WSA при определении бенчмарков. Данное значение находится между средним значением для сетевой электроэнергии в РФ (около 0,34) и приблизительным значением для конденсационного режима заводских электростанций черной металлургии (0,55-0,6) применительно к природному газу или его эквиваленту с точки зрения выбросов CO_2. Также значение 0,504 примерно соответствует замыкающему конденсационному режиму регулирующих электростанций в энергосистеме (условно газовые станции).

Расчет удельных выбросов CO_2, связанных с потреблением и выработкой тепловой энергии

Расчет удельных выбросов CO_2, связанных с тепловой энергией, выполняется по формуле (4):

$$E_{CO2,\text{тепл.}} = (Q_{\text{потр.}} - Q_{\text{выр.}}) \times EF_{CO2,\text{тепл.}}, \qquad (4)$$

где: $Q_{\text{потр.}}$ – удельное потребление тепловой энергии (в паре и горячей воде) в границах производственного процесса (передела), Гкал/т продукции;

$Q_{\text{выр.}}$ – удельная выработка тепловой энергии (в паре и горячей воде) в границах производственного процесса (передела), Гкал/т продукции;

$EF_{CO2,\text{тепл.}}$ – коэффициент выброса для тепловой энергии, т CO_2/Гкал.

Тепловая энергия включает энергию, передаваемую с паром и горячей водой. Величины $Q_{\text{потр.}}, Q_{\text{выр.}}$ определяются определяются по фактическим данным предприятия. Величина $Q_{\text{потр.}}$ включает суммарное потребление тепловой энергии, как поставленной со стороны для данного производственного процесса (передела), так и выработанной в границах производственного процесса (передела). Тепловая энергия $Q_{\text{выр.}}$ включает суммарную выработку тепловой энергии, которая может быть потреблена как внутри, так и за границами рассматриваемого производственного процесса (передела).

Величина $EF_{\text{тепл.}}$ принимается равной 0,27 т CO_2/Гкал для всех предприятий черной металлургии. Данная величина рассчитана исходя из предположения, что тепловая энергия вырабатывается на основе природного газа (как замыкающего топлива) с эффективностью производства и передачи тепловой энергии, равной 85%.

Расчет удельных выбросов CO_2, связанных с техническими газами и дутьем

Расчет удельных выбросов CO_2, связанных с техническими газами и дутьем, выполняется по формуле (5):

$$E_{CO2,\text{тех.газы}} = \sum(G_i \times EF_{CO2,\text{тех.газ},i}) \ , \qquad (5)$$

где:

G_i – удельное потребление i-технического газа, доменного дутья в границах производства, тыс. м^3/т продукции;

$EF_{CO2,\text{тех.газ},i}$ – коэффициент выброса для i-технического газа, доменного дутья, т CO_2/тыс. м^3.

Технические газы включают кислород, азот, аргон, а также доменное дутье, используемые на технологические нужды в границах рассматриваемого производственного процесса (передела). Величины G_i определяются по фактическим данным предприятия без учета потерь при производстве и передаче. Расход газов приводится к стандартным условиям (20 °С, 101,325 кПа).

Величины $EF_{CO2,\text{тех.газ},i}$ для всех предприятий черной металлургии принимаются равными для кислорода 0,355 т CO_2/тыс. м^3; азота 0,103 т CO_2/тыс. м^3; аргона 0,103 т CO_2/тыс. м^3; доменного дутья 0,05 т CO_2/тыс. м^3. Для кислорода, азота и аргона приняты значения, рекомендованные WSA по умолчанию. Для доменного дутья принято значение принято на основании экспертной оценки, основанная на анализе эффективности производства дутья паро- и электровоздуходувками. Топливом считается природный газ.

Расчет удельной поправки к прямым выбросам CO_2 на вторичные топливные газы

Расчет удельной поправки к прямым выбросам CO_2 на вторичные топливные газы, выполняется по формуле (6):

$$\Delta E_{CO2,\text{втор.газы}} = \sum\left[\left(F_{\text{потр.},i} - F_{\text{выр.},i} + F_{\text{потери.},i}\right) \times \varepsilon_i\right] \times EF_{CO2,\text{прир.газ}}, \quad (6)$$

где:

$EF_{CO2,\text{прир.газ}}$ – коэффициент выброса CO_2 для природного газа, т CO_2/т у.т;

$F_{\text{потр.},i}$ – удельное потребление i-го вторичного топливного газа в границах производственного процесса (передела), т у.т./т продукции;

$F_{\text{выр.},i}$ – удельная выработка (образование) i-го вторичного топливного газа в границах производственного процесса (передела), т у.т./т продукции;

$F_{\text{потери.},i}$ – удельные потери i-го вторичного топливного газа в границах предприятия, включая сжигание на свечах, рассеивание и утечки, т у.т./т продукции;

ε_i – показатель эффективности сжигания i-го вторичного топливного газа в сравнении со сжиганием природного газа, доля.

Вторичные топливные газы включают доменный, коксовый, конвертерный газы.

Удельное потребление $F_{\text{потр.},i}$ – включает расход доменного, коксового и конвертерного газов в рассматриваемом производственном процессе (переделе). Удельная выработка (образование) i-го вторичного топливного газа $F_{\text{выр.},i}$ и удельные потери i-го вторичного топливного газа в границах предприятия $F_{\text{потери.},i}$ включаются в расчет по формуле (6) только для доменного газа в производстве доменного чугуна, коксового газа в производстве кокса, конвертерного газа в производстве конвертерной стали; для прочих производственных процессов (переделов), где указанные вторичные топливные газы не образуются, $F_{\text{выр.},i}$ и $F_{\text{потери.},i}$ принимаются равными нулю.

Если конвертерный (или любой другой вторичный топливный) газ не используется в качестве топлива, то при расчете по формуле (6) принимать во внимание данный газ не требуется (т.к. его вклад в поправку $\Delta E_{CO2,\text{втор.газы}}$ равен нулю).

Величины $F_{\text{выр.},i}$, $F_{\text{потр.},i}$, $F_{\text{потери.},i}$ определяются по фактическим данным предприятия. Потери $F_{\text{потери.},i}$ принимаются по разнице между выработкой вторичного топливного газа ($F_{\text{выр.},i}$) и его суммарным полезным использованием, включая собственные объекты и отпуск сторонним потребителям.

Величины ε_i принимаются равными: для доменного газа 0,92; коксового газа 0,99; конвертерного газа 0,95.

Расчет удельных выбросов парниковых газов с учетом потенциалов глобального потепления парниковых газов

Расчет удельных выбросов парниковых выбросов в т CO_2-эквивалента (CO_2-экв.) выполняется по формуле согласно методическим указаниям [196] по формуле (7):

$$E_{CO2\text{e,y}} = \sum_{i=1}^{n}(E_{i,y} \times GWP_i), \qquad (7),$$

где:

$E_{CO2e,y}$ – удельные выбросы парниковых газов в CO_2-эквиваленте за период у, т CO_2-экв./ т продукции;

$E_{i,y}$ - выбросы i-парникового газа за период у, т/т продукции;

GWP_i - потенциал глобального потепления i-парникового газа, т CO_2-экв./т;

n - количество видов выбрасываемых парниковых газов;

i - CO_2, CH_4, N_2O, CHF_3, CF_4, C_2F_6, SF_6.

Для производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии, при расчете удельных выбросов парниковых газов в CO_2-эквиваленте учитываются только выбросы CO_2.

Значения потенциалов глобального потепления (GWPi) приведены в распоряжении Правительства РФ от 22 октября 2021 г. № 2979-р [203]. Для CO_2 потенциал глобального потепления равен 1.

Д.3.4 Коэффициенты содержания углерода и выбросов парниковых газов

Расчет выполнен на основании данных об объемах производимой продукции, а также данных об объемах потребляемых материальных и энергетических ресурсов, предоставленных предприятиями отрасли при проведении анкетирования.

Коэффициенты содержания углерода в энергетических ресурсах приняты по данным предприятий, при отсутствии данных – на основании показателей, приведенных в национальных и международных методиках и стандартах. Для природного газа принят коэффициент содержания углерода по умолчанию – 0,52 т/тыс. м^3 (на основании усреднённых данных, полученных от предприятий).

Для неэнергетических ресурсов приняты коэффициенты по умолчанию – на основании данных национальных методических указаний [196], методик WSA [199], [200] и Eurofer[5] [201], [202], а также усреднённых данных, полученных от предприятий.

Учитываемые при проведении количественной оценки удельных выбросов CO_2 входные и выходные материально-энергетические ресурсы для производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии, а также рекомендуемые к использованию коэффициенты содержания углерода и выбросов парниковых газов в продукции, материальных и энергетических ресурсах приведены в таблице Д.4.

Таблица Д.4 – Коэффициенты содержания углерода и выбросов CO_2 в продукции, материальных и энергетических ресурсах

Ресурсы	Единицы измерения	Содержание углерода, т С/ед.	Коэффициент выбросов, т CO_2/ед.	Источник данных/Примечание
Добыча руды и производство концентрата				
Входной поток:				
Известь	т (сухой вес)	0,0065	0,0238	EN 19694-2, Annex C [201]
Дизельное топливо	т у. т.	0,5900	2,1618	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 1.1 [196]
Природный газ	тыс. м^3	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Мазут	т у. т.	0,6200	2,2717	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 1.1 [196]
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал		0,2700	Расчетная величина (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Выходной поток:				
Концентрат железорудный (всего)	т (сухой вес)	0,0005	0,0018	EN 19694-2, Annex C (fine iron ore) [201]

[5] Eurofer (европейская ассоциация производителей стали), официальный сайт: https://www.eurofer.eu/

Продолжение таблицы Д.4

Руда железная (товарная)	т	0,0100	0,0366	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Производство кокса				
Входной поток:				
Коксующиеся угли	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Природный газ	тыс. $м^3$	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Доменный газ	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Коксовый газ (на производство кокса)	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Кислород	тыс. $м^3$	-	0,3550	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Азот	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Аргон	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Выходной поток:				
Кокс (валовой, всех фракций)	т.(сухой вес)	-	-	Фактическое значение
Каменноугольная смола + Нафтален	т	0,9249	3,3890	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Бензол	т.	0,9230	3,3820	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Коксовый газ (выработано всего)	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Коксовый газ (потери)	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)

Продолжение таблицы Д.4

Производство агломерата				
Входной поток:				
Концентрат железорудный	т (сухой вес)	0,0005	0,0018	EN 19694-2, Annex C (fine iron ore) [201]
Другие железосодержащие материалы (окалина, отсевы и др.)	т (сухой вес)	0,0100	0,0366	По данным предприятий
Пыль газоочисток	т (сухой вес)	0,2500	0,9160	По данным предприятий
Известняк	т (сухой вес)	0,1200	0,4397	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Доломит	т (сухой вес)	0,1300	0,4763	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1[196]
Доломитовая известь	т (сухой вес)	0,0065	0,0238	EN 19694-2, Annex C [201]
Известь	т (сухой вес)	0,0065	0,0238	EN 19694-2, Annex C [201]
Оливин	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Коксовая мелочь (валовой, всех фракций)	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Антрацит	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Другие виды углей	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Природный газ	тыс. $м^3$	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Другие виды топлива	т у. т.	-	-	Принимается фактическое значение
Доменный газ	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Коксовый газ	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Кислород	тыс. $м^3$	-	0,3550	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Азот	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]

Продолжение таблицы Д.4

Аргон	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Выходной поток:				
Агломерат (бункерный)	т (сухой вес)	0,0003	0,0011	По данным предприятий
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Производство железорудных окатышей				
Входной поток:				
Концентрат железорудный	т (сухой вес)	0,0005	0,0018	EN 19694-2, Annex C (fine iron ore) [201]
Другие железосодержащие материалы (окалина, отсевы, колошниковая пыль и др.)	т (сухой вес)	0,0100	0,0366	По данным предприятий
Бентонит	т (сухой вес)	0,0050	0,0183	По данным предприятий
Известь	т (сухой вес)	0,0065	0,0238	EN 19694-2, Annex C [201]
Известняк	т (сухой вес)	0,1200	0,4397	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Другие Флюсы (ФМ-1, МАХГ, ФМИ, ФОМИ и др.)	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Природный газ	тыс. $м^3$	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Мазут	т у. т.	0,6200	2,2717	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 1.1 [196]
Другие виды топлива	т у. т.	-	-	Принимается фактическое значение
Доменный газ	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Коксовый газ	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч		0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал		0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)

Продолжение таблицы Д.4

Кислород	тыс. $м^3$		0,3550	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Азот	тыс. $м^3$		0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Аргон	тыс. $м^3$		0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Выходной поток:				
Окатыши	т (сухой вес)	0,0003	0,0011	По данным предприятий
Отсев окатышей	т (сухой вес)	0,0003	0,0011	По данным предприятий
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Производство чугуна в доменной печи				
Входной поток:				
Кусковая руда	т (сухой вес)	0,0100	0,0366	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Концентрат железорудный	т (сухой вес)	0,0005	0,0018	EN 19694-2, Annex C (fine iron ore) [201]
Агломерат	т (сухой вес)	0,0003	0,0011	По данным предприятий
Окатыши	т (сухой вес)	0,0003	0,0011	По данным предприятий
Другие железосодержащие материалы (окалина, отсевы, колошниковая пыль и др.)	т (сухой вес)	0,0100	0,0366	По данным предприятий
Лом	т	0,0025	0,0092	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Кокс (валовой, всех фракций)	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Антрацит	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Пылеуглеродное топливо (ПУТ)	т	-	-	Принимается фактическое значение

Продолжение таблицы Д.4

Другие виды углей	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Природный газ	тыс. $м^3$	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Доменный газ	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Коксовый газ	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Дутье	тыс. $м^3$	-	0,0500	По данным предприятий
Кислород	тыс. $м^3$	-	0,3550	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Азот	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Аргон	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Выходной поток:				
Чугун жидкий	т	-	-	Принимается фактическое значение
Доменный газ (выработано всего)	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Доменный газ (потери)	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Газовая пыль (колошниковая, газоочисток)	т (сухой вес)	0,2500	0,9160	По данным предприятий
Шлак	т (сухой вес)	0,0010	0,0037	По данным предприятий
Шлам газоочисток	т (сухой вес)	0,2500	0,9160	По данным предприятий
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)

Продолжение таблицы Д.4

Производство железа прямого восстановления				
Входной поток:				
Кусковая руда для прямого восстановления	т (сухой вес)	0,0100	0,0366	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Окатыши для прямого восстановления	т (сухой вес)	0,0003	0,0011	По данным предприятий
Природный газ	тыс. $м^3$	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода) (за исключением вторичной)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Кислород	тыс. $м^3$	-	0,3550	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Азот	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Аргон	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Выходной поток:				
Железо прямого восстановления	т	0,0170	0,0623	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Производство стали в конвертерах				
Входной поток:				
Чугун жидкий	т	-	-	Принимается фактическое значение
Чугун твердый (чушки)	т	-	-	Принимается фактическое значение
Лом	т	0,0025	0,0092	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Железо прямого восстановления	т	0,0170	0,0623	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]

Продолжение таблицы Д.4

Руда	т (сухой вес)	0,0100	0,0366	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Окалина	т (сухой вес)	-	0,0000	По данным предприятий
Известь	т (сухой вес)	0,0065	0,0238	EN 19694-2, Annex C [201]
Известняк	т (сухой вес)	0,1200	0,4397	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Доломит	т (сухой вес)	0,1300	0,4763	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Доломитовая известь	т (сухой вес)	-	0,0238	EN 19694-2, Annex C [201]
Другие Флюсы (ФМ-1, МАХГ, ФМИ, ФОМИ и др.)	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Ферросилиций	т	0,0010	0,0037	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Ферросиликомарганец	т	0,0050	0,0183	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Ферромарганец	т	0,0500	0,1832	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Феррохром	т	0,0100	0,0366	По данным предприятий
Другие ферросплавы (феррованадий, ферротитан и др.)	т	0,0120	0,0440	ГОСТ 27069-86 [204]
Уголь и другие углеродосодержащие	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Природный газ	тыс. $м^3$	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Графитовые электроды	т (сухой вес)	0,9990	3,6603	EN 19694-2, Annex C [201]
Доменный газ	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Коксовый газ	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Конвертерный газ	прив. тыс. $м^3$	0,1014	0,3716	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)

Продолжение таблицы Д.4

Кислород	тыс. м^3		0,3550	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Азот	тыс. м^3		0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Аргон	тыс. м^3	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [196]
Выходной поток:				
Литая сталь (слябы, слитки, блюм и др. заготовки)	т	0,0010	0,0037	Eurofer report template, Default units [202]
Лом (немерные заготовки, обрезь, угар, брак)	т	0,0010	0,0037	Eurofer report template, Default units [202]
Шлак конвертерный	т (сухой вес)	0,0010	0,0037	По данным пред-приятий
Пыль и шламы газоочистки конверторной печи	т (сухой вес)	0,0470	0,1722	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Конвертерный газ (выработано всего)	прив. тыс. м^3	0,1014	0,3716	Расчетное значение
Конвертерный газ (потери)	прив. тыс. м^3	0,1014	0,3716	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Производство стали в электродуговых печах				
Входной поток:				
Чугун жидкий	т	-	-	Принимается фактическое значение
Чугун твердый (чушки)	т	-	-	Принимается фактическое значение
Лом	т	0,0025	0,0092	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Железо прямого восстановления	т	0,0170	0,0623	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Руда	т (сухой вес)	0,0100	0,0366	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]

Продолжение таблицы Д.4

Известь	т (сухой вес)	0,0065	0,0238	EN 19694-2, Annex C [201]
Известняк	Т. (сухой вес)	0,1200	0,4397	Приказ МПР № 300, Прил. 2, Табл. 14.1 [196]
Другие Флюсы (ФМ-1, МАХГ, ФМИ, ФОМИ и др.)	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Окалина	т (сухой вес)	-	0,0000	По данным предприятий
Ферросилиций	т	0,0010	0,0037	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Ферросиликомарганец	т	0,0050	0,0183	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Ферромарганец	т	0,0500	0,1832	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Феррохром	т	0,0100	0,0366	По данным предприятий
Другие ферросплавы (феррованадий, ферротитан и др.)	т	0,0120	0,0440	ГОСТ 27069-86 [204]
Уголь и другие углеродосодержащие	т (сухой вес)	-	-	Принимается фактическое значение
Природный газ	тыс. $м^3$	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Электроды	т (сухой вес)	0,9990	3,6603	EN 19694-2 [201]
Доменный газ	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Коксовый газ	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Кислород	тыс. $м^3$	-	0,3550	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Аргон	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Азот	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Выходной поток:				

Продолжение таблицы Д.4

Литая сталь (слябы, слитки, блюм и др. заготовки)	т	0,0010	0,0037	Eurofer report template, Default units [202]
Шлак ЭСП производства	т (сухой вес)	0,0010	0,0037	По данным пред-приятий
Лом (немерные заготовки, обрезь, угар, брак)	т	0,0010	0,0037	Eurofer report template, Default units [202]
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Производство горячего проката				
Входной поток:				
Литая сталь (слябы, слитки, блюм и др. заготовки)	т	0,0010	0,0037	По данным предприятий
Природный газ	тыс. $м^3$	0,5200	1,9053	По данным предприятий
Коксовый газ	прив. тыс. $м^3$	0,2517	0,9221	Расчетное значение
Доменный газ	прив. тыс. $м^3$	0,0585	0,2142	Расчетное значение
Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)
Кислород	тыс. $м^3$	-	0,3550	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Азот	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Аргон	тыс. $м^3$	-	0,1030	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Выходной поток:				
Лом (обрезь, угар, брак)	т	0,0010	0,0037	Eurofer report template, Default units [202]
Горячекатаная сталь (в том числе бесшовные трубы, катанка, сортовой прокат)	т	0,0010	0,0037	Eurofer report template, Default units [202]

Окончание таблицы Д.4

Электроэнергия	МВт·ч	-	0,5040	WSA, CO_2 Data Collection, App. 3 [200]
Теплоэнергия (пар, сетевая вода)	Гкал	-	0,2700	Расчет (КПД 85%, топливо - природ. газ)

Д.3.5 Результаты расчетов удельных выбросов парниковых газов

Результаты расчета удельных выбросов парниковых газов производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии представлены в таблице Д.5.

Проведенные в ходе проведения бенчмаркинга расчеты удельных выбросов парниковых газов признаны достоверными по результатам оценки экспертной группы. Выявленные в ходе проведения расчетов отдельные искажения исходных данных были устранены, выпадающие из ряда данных верхние и нижние значения были исключены из расчетов.

Таблица Д.5 – Результаты расчетов удельных выбросов парниковых газов производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии

Производственный процесс (передел)	Удельные выбросы парниковых газов, т CO_2-экв./т продукции				
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее за период 2017-2020 гг.
Добыча и обогащение железных руд (производство железорудного концентрата) (справочно)	0,045	0,046	0,045	0,045	0,045
	0,043	0,046	0,047	0,047	0,046
	0,048	0,047	0,048	0,048	0,048
	0,061	0,059	0,060	0,062	0,060
	0,072	0,067	0,068	0,066	0,068
	0,071	0,072	0,073	0,070	0,071
	0,079	0,081	0,080	0,080	0,080
	-	-	-	0,082	0,082
	0,108	0,133	0,107	0,119	0,117
Производство кокса	0,262	0,266	0,255	0,301	0,271
	0,294	0,320	0,336	0,326	0,331
	0,377	0,371	0,347	0,335	0,358
	-	-	-	0,359	0,359
	0,284	0,362	0,406	0,465	0,379
	-	0,464	0,457	0,468	0,463

Продолжение таблицы Д.5

Производство агломерата	-	-	-	0,175	0,175
	0,189	0,188	0,177	0,197	0,188
	0,209	0,210	0,194	0,210	0,206
	0,207	0,236	0,207	0,224	0,219
	0,242	0,240	0,246	0,245	0,244
	0,263	0,254	0,255	0,244	0,254
	0,291	0,286	0,262	0,255	0,273
	-	-	-	0,298	0,298
Производство железорудных окатышей	0,033*	0,029*	0,029*	0,028*	0,030*
	0,048	0,046	0,044	0,043	0,045
	-	-	-	0,055	0,055
	0,056	0,056	0,056	0,055	0,056
	0,060	0,061	0,058	0,059	0,059
	0,062	0,062	0,066	0,067	0,065
Производство чугуна	1,247	1,250	1,238	1,220	1,239
	-	-	-	1,267	1,267
	1,267	1,272	1,268	1,275	1,271
	-	-	-	1,315	1,315
	1,360	1,349	1,331	1,373	1,353
	1,400	1,399	1,397	1,399	1,399
	1,622	1,379	1,356	1,642	1,500
Прямое восстановление железа	0,514	0,557	0,555	0,551	0,544
	0,564	0,559	0,559	0,562	0,561
Производство стали в конвертерах	-	-	-	0,203	0,203
	0,211	0,214	0,214	0,213	0,213
	0,231	0,221	0,223	0,226	0,225
	0,226	0,228	0,231	0,234	0,230
	0,241	0,243	0,243	0,245	0,243
	-	-	-	0,258	0,258
Производство стали в электродуговых печах	0,320	0,315	0,300	0,289	0,306
	0,303	0,298	0,312	0,331	0,311
	0,360	0,348	0,319	0,309	0,334
	0,369	0,375	0,367	0,350	0,365
	0,368	0,352	0,364	0,381	0,366
	0,383	0,368	0,363	0,354	0,367
	0,411	0,392	0,395	0,388	0,397
	0,409	0,392	0,432	0,377	0,403
	0,436	0,392	0,424	0,422	0,418
	0,389	0,459	0,449	0,453	0,437
	0,467	0,488	0,486	0,445	0,471
				0,485	0,485
	0,512	0,516	0,527	0,538	0,523

Окончание таблицы Д.5

	0,465	0,562	0,554	0,537	0,530
Горячий прокат и обработка (справочно)	0,078	0,080	0,086	0,075	0,080
	0,082	0,081	0,083	0,080	0,082
	-	-	0,081	0,099	0,090
	0,105	0,103	0,103	0,105	0,104
	0,110	0,102	0,103	0,106	0,105
	0,133	0,125	0,128	0,125	0,128
	0,127	0,126	0,128	0,132	0,128
	0,174	0,172	0,171	0,168	0,171
	0,175	0,176	0,172	0,170	0,173
	-	-	-	0,226	0,226
	-	-	-	0,264	0,264
	0,276	0,250	0,268	0,298	0,273
	0,273	0,288	0,315	0,322	0,300
	0,296	0,308	0,293	0,306	0,301
	0,320	0,331	0,330	0,364	0,336
	0,343	0,337	0,337	0,349	0,342
	0,348	0,368	0,394	0,375	0,371
	0,381	0,398	0,397	0,411	0,397
	0,430	0,430	0,432	0,435	0,432
	0,717	0,704	0,720	0,784	0,731

* Показатель для производства окатышей с низким содержанием флюсов, при установлении уровней индикативных показателей удельных выбросов парниковых газов не учитывается

Д.4 Индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов

Д.4.1 Критерии установления индикативных показателей удельных выбросов парниковых газов

Методика разработана для целей установления индикативных показателей удельных выбросов парниковых газов отдельных производственных процессов (переделов) и позволяет провести сравнительный анализ (бенчмаркинг) производственных процессов отрасли.

На основании полученных результатов отраслевого бенчмаркинга и построенных кривых бенчмаркинга для производственных процессов (переделов) отрасли установлены индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов двух уровней:

1. Верхний уровень индикативного показателя (ИП 1) – может использоваться в рамках правового регулирования отношений в области выбросов парниковых газов и определяется по формуле (8):

$$I_{ИП1} = I_{max} - (I_{max} - I_{min}) \times 0,15, \quad (8)$$

где:

I_{max} – максимальный удельный показатель выбросов CO_2-экв., т CO_2-экв./т продукции;

I_{min} – минимальный удельный показатель выбросов CO_2-экв., т CO_2-экв./т продукции;

2. Нижний уровень индикативного показателя (ИП 2) – может использоваться при принятии решений о государственной поддержке и определяется по формуле (9):

$$I_{ИП2} = I_{max} – (I_{max} – I_{min}) \times 0,60, \quad (9)$$

где:

I_{max} – максимальный удельный показатель выбросов CO_2-экв., т CO_2-экв./т продукции;

I_{min} – минимальный удельный показатель выбросов CO_2-экв., т CO_2-экв./т продукции.

Д.4.2 Индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов

Индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для различных производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии приведены в таблице Д.6 и на кривых бенчмаркинга на рисунках Д.3 – Д.8.

Индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для следующих производственных процессов будут установлены в соответствующих отраслевых информационно-технических справочниках по наилучшим доступным технологиям:

- добыча железной руды и производство железорудных концентратов – при проведении актуализации информационно-технического справочника по добыче и обогащение железных руд;

- горячий прокат и обработка (в т.ч. бесшовные трубы, катанка, сортовой прокат) – при проведении актуализации информационно-технического справочника по производству изделий дальнейшего передела черных металлов.

Таблица Д.6 – Индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для различных производственных процессов (переделов) отрасли черной металлургии

Производственный процесс (передел)	Индикативный показатель удельных выбросов парниковых газов, т CO_2-экв./ т продукции	
	Нижний уровень индикативного показателя (ИП 2)	Верхний уровень индикативного показателя (ИП 1)
Производство кокса	0,348	0,434
Производство агломерата	0,224	0,280

Окончание таблицы Д.6

Производство железорудных окатышей	0,053	0,062
Производство чугуна в доменных печах	1,343	1,460
Производство железа прямого восстановления* Прямое восстановление железа относится к ключевым технологиям декарбонизации черной металлургии, верхний уровень индикативного показателя удельных выбросов парниковых газов (ИП 1) для данной технологии не устанавливается	0,561	-
Производство стали в конвертерах	0,225	0,250
Производство стали в электродуговых печах	0,395	0,496
Производство стали в электродуговых печах (ПВЖ в шихте > 70 %)* Производство стали в электродуговых печах с использованием ПВЖ относится к ключевым технологиям декарбонизации черной металлургии, верхний уровень индикативного показателя удельных выбросов парниковых газов (ИП 1) для данной технологии не устанавливается	0,523	-

* Кривая бенчмаркинга для данных производственных процессов не строится в связи с единичными данными предприятий.

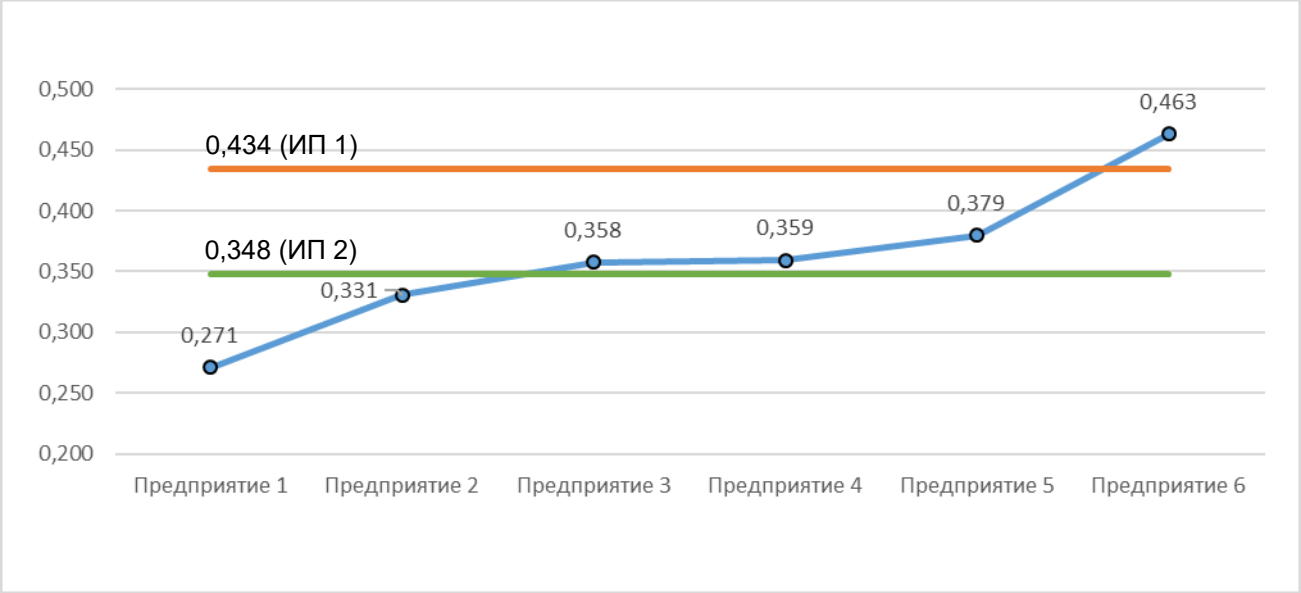


Рисунок Д.3 — Кривая бенчмаркинга и индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для производства кокса, т CO_2-экв./ т продукции

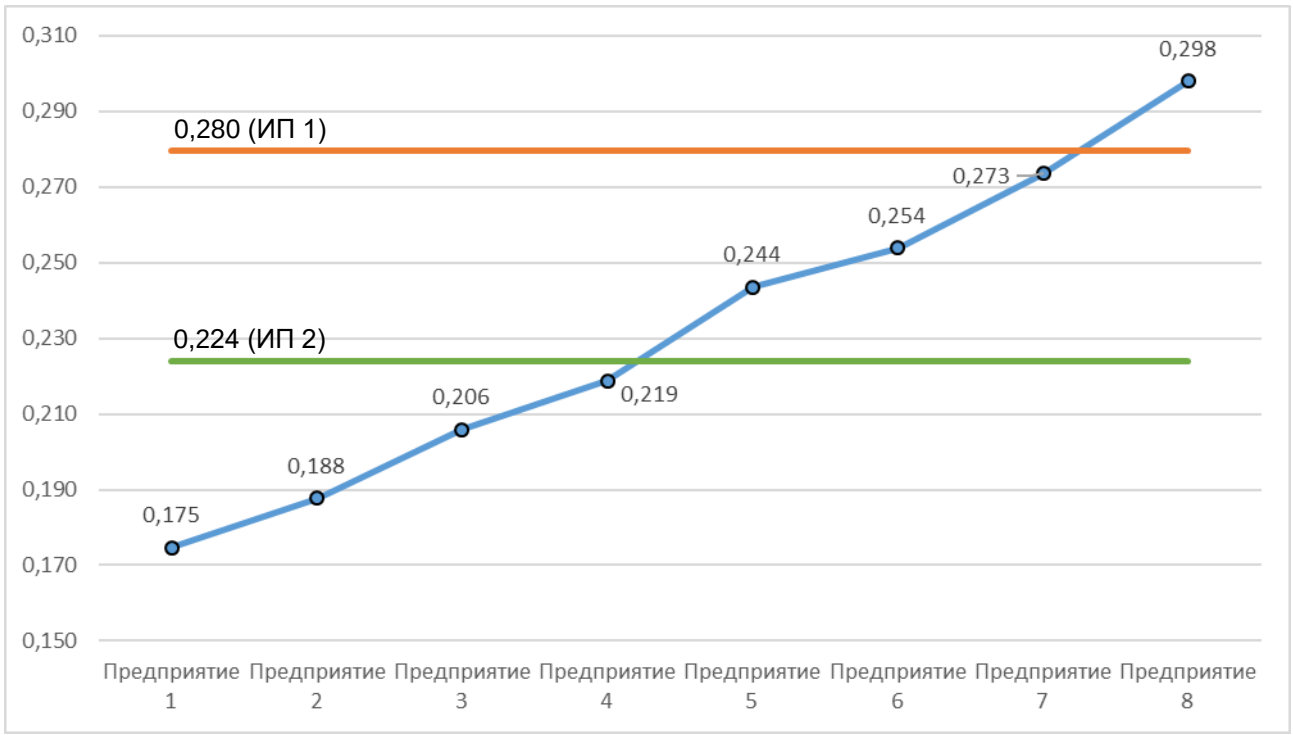


Рисунок Д.4 — Кривая бенчмаркинга и индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для производства агломерата, т CO_2-экв./ т продукции

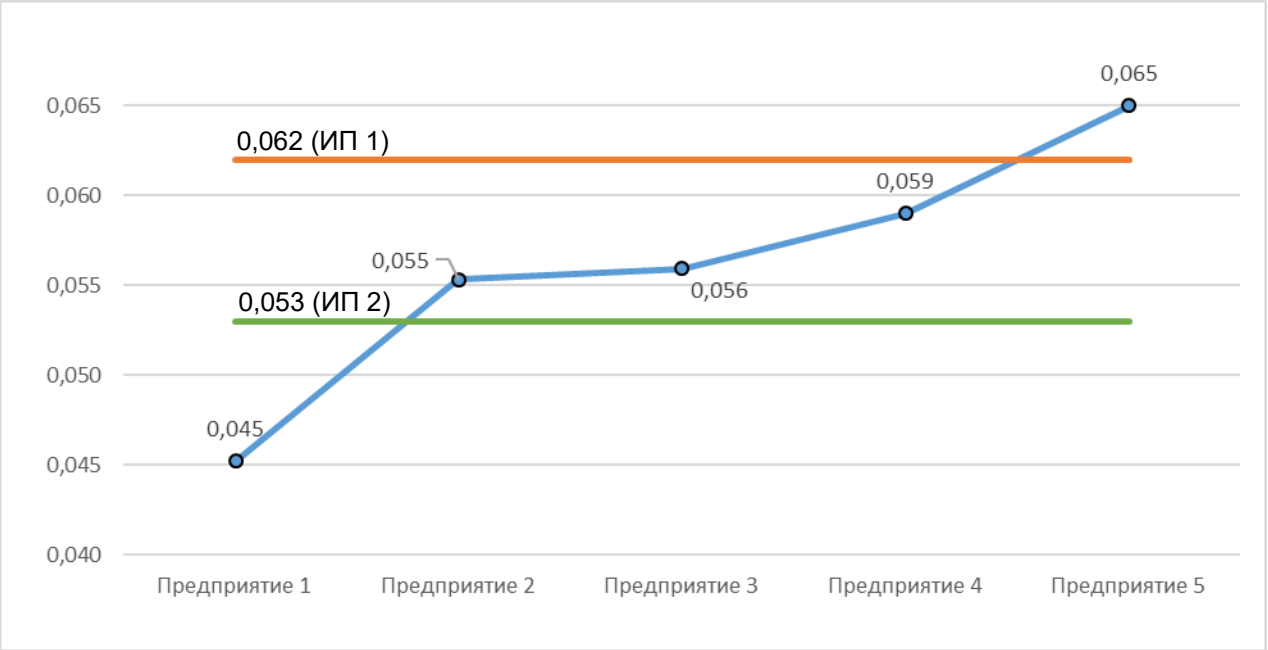


Рисунок Д.5 — Кривая бенчмаркинга и индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для производства окатышей, т CO_2-экв./ т продукции

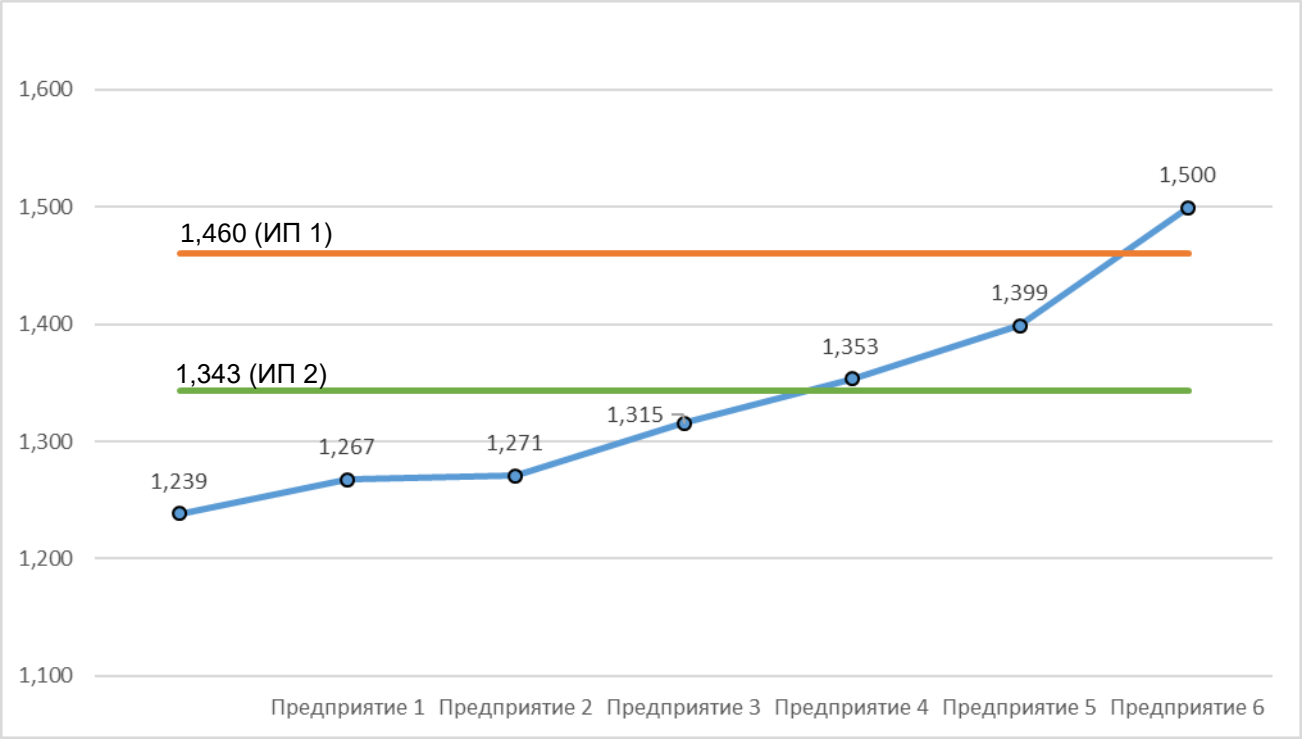


Рисунок Д.6 — Кривая бенчмаркинга и индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для производства чугуна в доменных печах, т CO_2-экв./ т продукции

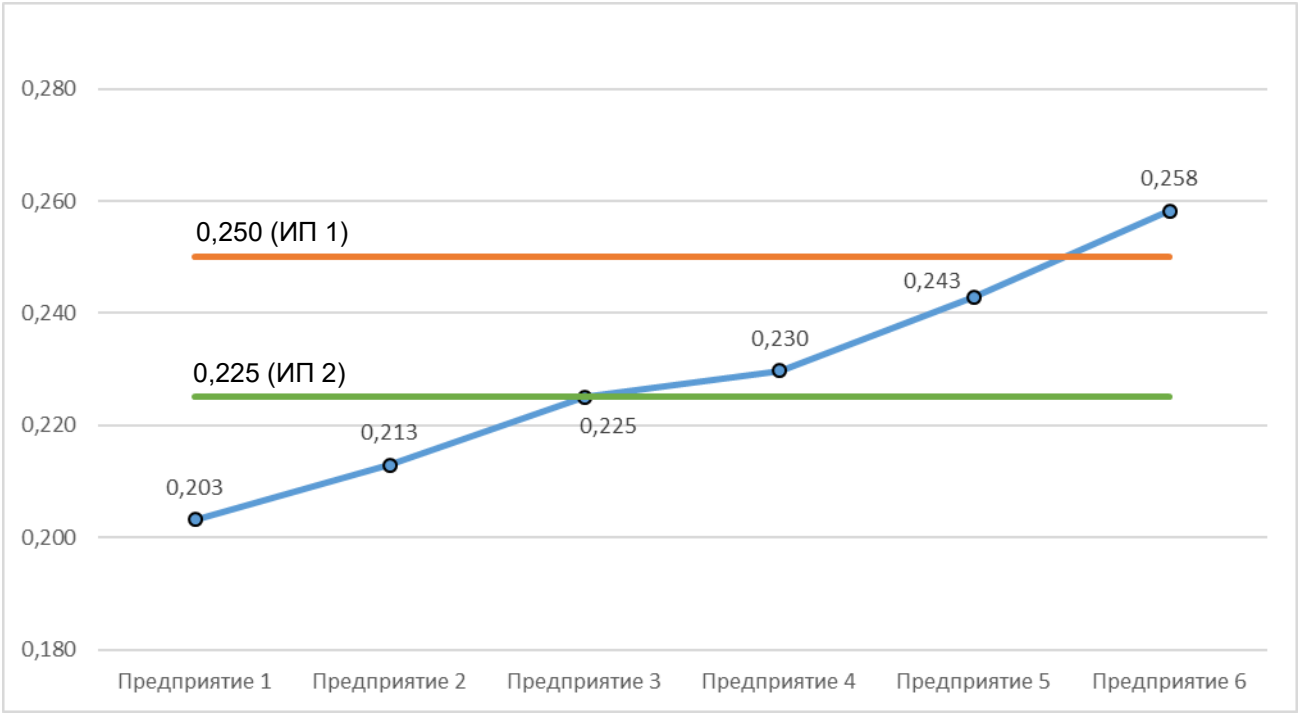


Рисунок Д.7 — Кривая бенчмаркинга и индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для производства стали в конвертерах, т CO_2-экв./ т продукции

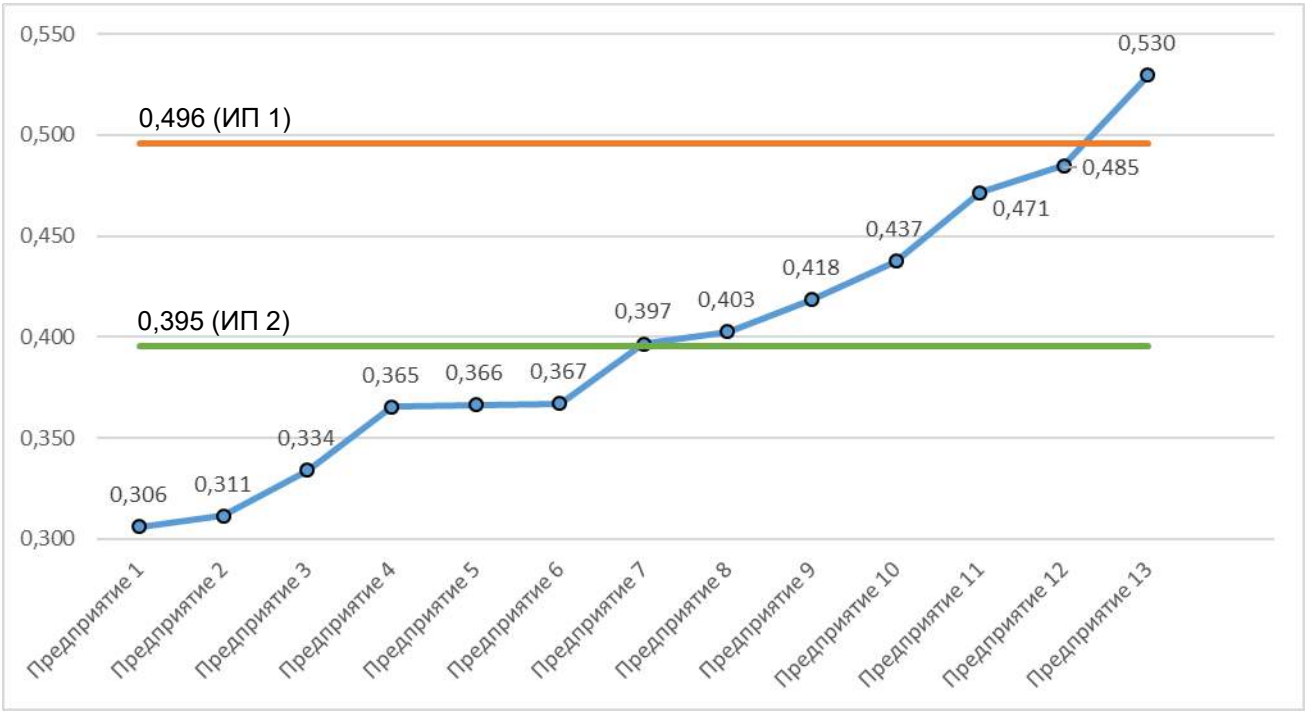


Рисунок Д.8 — Кривая бенчмаркинга и индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов для производства стали в электродуговых печах, т CO_2-экв./ т продукции

Д.5 Основные направления снижения выбросов парниковых газов в черной металлургии

Стратегия низкоуглеродного развития РФ предполагает реализацию следующих мер в промышленности (применимых для отрасли черной металлургии):

- улучшение качества железорудных материалов, физико-технических характеристик кокса, применение металлизированного сырья и горячих восстановительных газов;
- улучшение качества железорудных материалов, физико-технических характеристик кокса, применение металлизированного сырья и горячих восстановительных газов;
- повышение энергетической и ресурсной эффективности металлургической промышленности, увеличение доли производства электростали, доли производства железа прямого восстановления, замена природного газа на водород (требует исследования и создания необходимой инфраструктуры), максимизация использования оборотной воды;
- повышение эффективности использования исходного сырья и материалов; повышение энергоэффективности производства, в том числе энергоресурсов и тепла, использование вторичных ресурсов в производстве в рамках экономики замкнутого цикла; стимулирование технического прогресса в части увеличения срока эксплуатации устройств и изделий в целях снижения потребности в материальных и энергетических ресурсах для производства новых изделий, снижения объемов производственного брака;
- разработка и внедрение технологий улавливания, захоронения и дальнейшего использования углекислого газа и метана, а также создание соответствующей инфраструктуры, инжиниринга и производств необходимого оборудования, за счет чего обеспечивается снижение выбросов парниковых газов в атмосферу в объеме уловленного и использованного диоксида углерода и метана, в том числе сожженного.

Д.5.1 Удельные показатели выбросов парниковых газов для различных маршрутов по производству стали (справочная информация)

На основании полученных значений удельных выбросов парниковых газов для интегрированных предприятий определены удельные показатели для следующих маршрутов по производству стали:

1 маршрут (производство чугуна в доменных печах – производство стали в конвертерах), включающий следующие производственные процессы (переделы):

- добыча железной руды и производство железорудного концентрата;
- производство кокса;
- производство агломерата;
- производство окатышей;
- производство извести;
- производство чугуна в доменных печах;
- производство стали в конвертерах.

2 маршрут (прямое восстановление железа – производство стали в электродуговых печах), включающий следующие производственные процессы (переделы):

- добыча железной руды и производство железорудного концентрата;

- производство окатышей;
- производство извести;
- производство железа прямого восстановления;
- производство стали в электродуговых печах.

3 маршрут (лом - производство стали в электродуговых печах), включающий следующие производственные процессы (переделы):

- производство стали в электродуговых печах из лома.

4 маршрут (производство чугуна в доменных печах - производство стали в электродуговых печах), включающий следующие производственные процессы (переделы):

- добыча железной руды и производство железорудного концентрата;
- производство кокса;
- производство агломерата;
- производство окатышей;
- производство извести;
- производство чугуна в доменных печах;
- производство стали в электродуговых печах с использованием жидкого чугуна.

Количественная оценка удельных выбросов CO_2-экв. по каждому выбранному маршруту выполняется следующим образом:

- выбросы по каждому переделу приводятся к тонне сырой стали. Для этого удельные выбросы по переделам умножаются на коэффициенты использования ресурсов;
- коэффициенты использования ресурсов берутся из формы расхода ресурсов, заполняемой компаниями;
- приведенные к тонне сырой стали выбросы по переделам суммируются:

$$E_{CO2,j} = \sum E_{CO2,i} \times P_{i\,(1)} \qquad (9)$$

где:

$E_{CO2,j}$ – удельные выбросы CO_2 по j-му маршруту («цепочкам») по производству стали, т CO_2-экв./т стали;

$E_{CO2,i}$ – средний удельный выброс CO_2-экв. по i-му переделу, т CO_2-экв./т продукции передела;

P_i – удельный расход ресурса по i-му переделу на 1 тонну сырой произведенной стали.

Удельные показатели выбросов парниковых газов для различных маршрутов по производству стали представлены на рисунке Д.9.

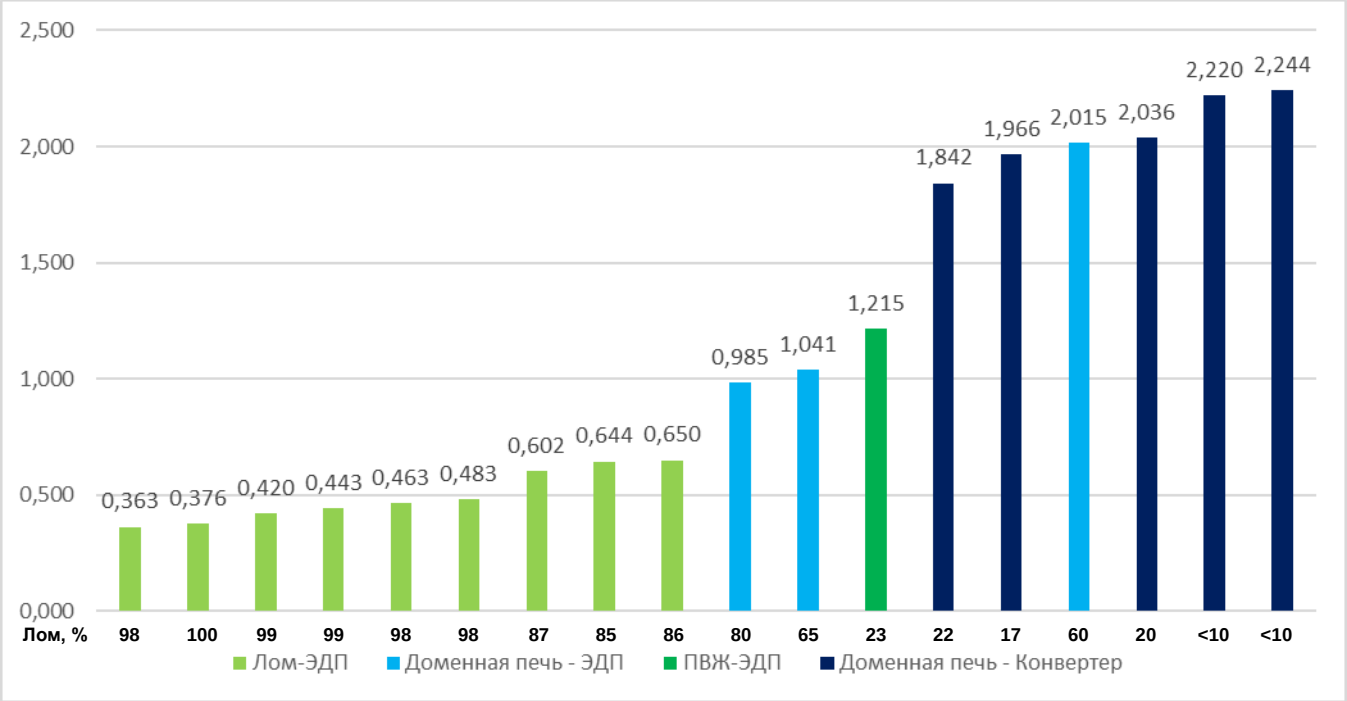


Рисунок Д.9 — Удельные показатели выбросов парниковых газов для различных маршрутов по производству стали, т CO_2-экв./ т стали

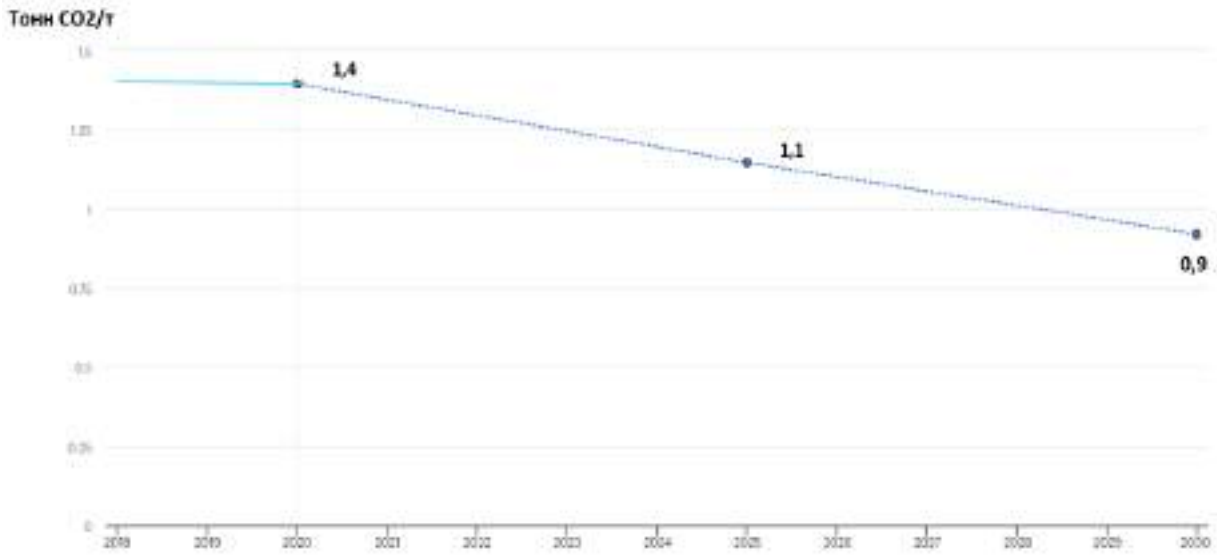
Приведенные значения по маршрутам производства стали являются ориентировочными и не могут использоваться для установления индикативных показателей удельных выбросов парниковых газов по отрасли, т.к. методические подходы, используемые для определения удельных выбросов парниковых газов, предназначены исключительно для сравнительного анализа эффективности различных производств.

Д.5.2 Прогнозные тенденции декарбонизации черной металлургии

Согласно оценкам IEA, ключевой вклад в снижение углеродоемкости продукции черной металлургии в мире в долгосрочной перспективе будут вносить следующие направления декарбонизации:

- внедрение решений в сфере повышения ресурсоэффективности;
- совершенствование существующих технологических процессов;
- электрификация отрасли;
- расширение применения водорода в технологических процессах черной металлургии;
- применение биотоплив и иных низкоуглеродных видов топлива для получения электрической и тепловой энергии;
- внедрение технологий улавливания и хранения углерода.

Анализ наиболее амбициозного сценария декарбонизации черной металлургии (сценарий углеродной нейтральности IEA) предполагает снижение углеродоемкости производства стали в мире с 1,4 т CO_2-экв./т. в 2020 г. до 0,9 т CO_2-экв./т. уже к 2030 г., или на 35,7 % (рисунок Д.10).

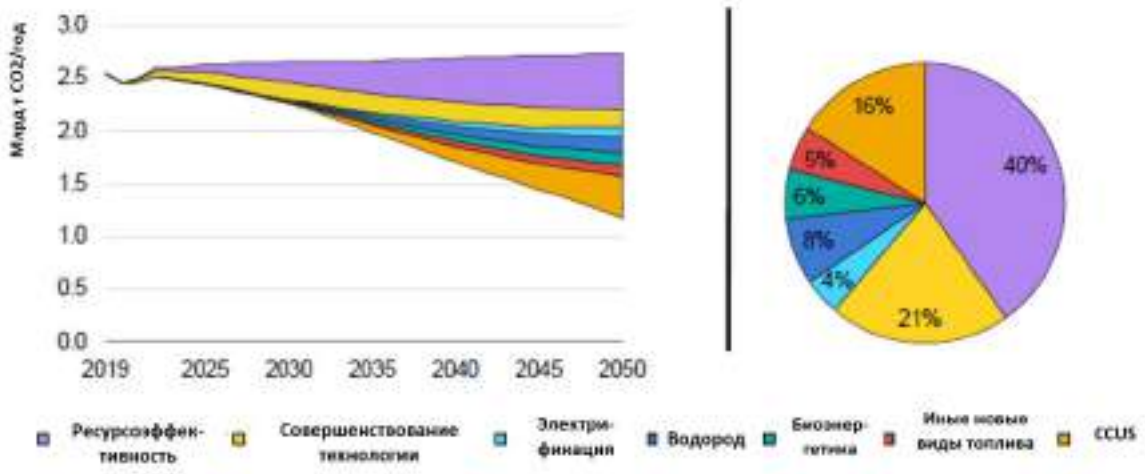


Источник: IEA [205]

Рисунок Д.10 — Текущая и прогнозируемая углеродоемкость производства стали согласно сценарию углеродной нейтральности IEA

Согласно сценарию углеродной нейтральности IEA, ключевой вклад в снижение углеродоемкости производства стали в горизонте до 2050 г. будет вносить повышение ресурсоэффективности (в первую очередь – увеличение доли металлолома в качестве сырья): на указанный фактор будет приходиться до 40 % совокупного снижения эмиссии парниковых газов предприятиями отрасли на период до 2050 г. (рисунок Д.11).

Совершенствование технологических процессов и внедрение технологий по улавливанию и хранению углерода обеспечат соответственно 21 % и 16 % сокращение эмиссии предприятиями черной металлургии на период до 2050 г. Иные направления декарбонизации обеспечат порядка 23 % совокупного сокращения эмиссии парниковых газов.



Источник: IEA [205]

Рисунок Д.11 — Прогноз снижения эмиссии парниковых газов в черной металлургии в разрезе направлений декарбонизации согласно сценарию углеродной нейтральности IEA

Д.5.3 Ключевые технологии декарбонизации черной металлургии

К основным технологиям, обеспечивающим декарбонизацию предприятий черной металлургии, активно прорабатываемым в настоящее время, следует отнести:

- модернизацию действующих производств с внедрением наилучших доступных технологий;
- внедрение технологии рециркуляции колошниковых газов и вдувание водорода;
- расширение использования электродугового способа производства стали;
- интеграция процессов прямого восстановления железа в действующие технологические цепочки;
- интеграцию в существующее производство схемы прямого восстановления железа с кислородным конвертором через плавильных агрегат;
- внедрение технологий улавливания и хранения углерода;
- использование «голубого» либо «зеленого»[6] водорода;
- использование электроэнергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками.

Указанные технологические решения находятся на различных этапах вывода на рынок.

Уровень готовности технологии к выводу на рынок целесообразно оценивать в соответствии с критерием TRL (Technology Readiness Level), разработанным IEA [192], [205].

В соответствии с указанной методологией, наибольшим уровнем готовности к внедрению на предприятиях черной металлургии характеризуются технологии, характеризующиеся значением параметра TRL на диапазоне 9-11.

[6] В соотвествии с опредлением IEA (МЭА): «голубой водород» - это водород, получаемый из ископаемых энергоносителей, но при его производстве используется технология улавливания и хранения сопровождающих его выбросов CO_2; «зеленый водород» - это водород, произведенный при использовании энергии, полученной исключительно из возобновляемых источников

Технологии со значением параметра TRL в диапазоне 5-8 характеризуются наличием на рынке действующих прототипов, а также демонстрационных объектов и могут рассматриваться как важные решения по декарбонизации черной металлургии в среднесрочной перспективе.

Технологии со значением параметра TRL 1-3 находятся на этапе концептуальных проработок, потенциал их внедрения следует оценивать в долгосрочной перспективе.

В таблице Д.7 приведен анализ основных направлений декарбонизации предприятий черной металлургии и готовность технологий декарбонизации к внедрению на рынке.

Таблица Д.7 – Основные направления декарбонизации предприятий черной металлургии и готовность технологий декарбонизации к внедрению на рынке

Шифр технологии	Краткая характеристика технологии	Уровень готовности технологии (Technology Readiness Level – TRL)
BAT BF-BOF	Модернизация производства домна-конвертор с учетом НДТ	8-10
BAT BF-BOF TGR	Внедрение рециркуляции колошниковых газов и вдувание водорода для снижения выбросов CO_2 в доменно-конверторном процессе производства стали	5-7
BF-EAF / BF-OHF	Производство с использованием домны и электродуговой печи / мартеновской печи	8-10
DRI-EAF (NG)	Интеграция процесса прямого восстановления железа на основе природного газа в электродуговой способ производства стали	8-10
DRI-Melt-BOF	Интеграция в существующее производство схемы прямого восстановления железа с кислородным конвертором через плавильных агрегат	5-7
BAT BF-BOF CCS	Использование технологии улавливания и хранения углерода для доменно-конверторного способа производства с эффективностью 50 %-75 %	7-8
BAT BF-BOF TGR CCS	Использование технологии улавливания и хранения углерода в технологической схеме рециркуляции колошниковых газов и вдувания водорода в доменно-конверторном процессе производства стали	5-6

Окончание таблицы Д.7

DRI-EAF CCS	Использование технологии улавливания и хранения углерода в технологической схеме прямого восстановления железа на основе природного газа	9
DRI-Melt-BOF CCS	Использование технологии улавливания и хранения углерода в технологической схеме, предусматривающей интеграцию в существующее производство прямого восстановления железа с кислородным конвертором через плавильных агрегат	5-7
DRI-EAF (100% H2 blue/green)	Использование «голубого»/«зеленого» водорода в процессе прямого восстановления железа	5-7
DRI-Melt-BOF (H2 blue/green)	Использование «голубого»/«зеленого» водорода в процессе, предусматривающем интеграцию в существующее производство схемы прямого восстановления железа с кислородным конвертором через плавильных агрегат	5-7
Scrap-EAF	Переработка лома в дуговой сталеплавильной печи	8-10
Низкоуглеродная электроэнергия	Использование электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников (гидроэнергетика, ветроэнергетика, фотовольтаика, биоэнергетика)	8-10

Источник: WSA, IEA [191], [192]

Д.5.4 Общая характеристика технологий улавливания и хранения углерода

Улавливание и хранение углерода (CCS) относится к набору технологий, которые могут играть важную и разнообразную роль в достижении глобальных целей в области энергетики и климата.

Технология CCS включает в себя улавливание CO_2 из крупных точечных источников, включая производство электроэнергии или промышленные объекты, которые используют либо ископаемое топливо, либо биомассу в качестве топлива. CO_2 также можно улавливать непосредственно из атмосферы. Если улавливаемый CO_2 не используется на месте, его компримируют и транспортируют по трубопроводу, морскому, железнодорожному или автомобильному транспорту для использования в различных целях или закачивают в глубокие геологические формации (включая истощенные нефтегазовые пласты или соляные пласты), которые улавливать CO_2 для постоянного хранения.

CO_2 можно использовать в качестве сырья для производства ряда продуктов и услуг.

Потенциальные области применения CO_2 включают прямое использование, при котором CO_2 не подвергается химическому изменению (неконверсия), и преобразование CO_2 в полезный продукт с помощью химических и биологических процессов (конверсия).

Ключевые разрабатываемые и применяемые технологии улавливания углерода приведены в таблице Д.8.

Таблица Д.8 – Ключевые разрабатываемые и применяемые технологии улавливания углерода

Технология улавливания углерода	Обзор технологии	Статус технологии
Химическая абсорбция	Представляет собой технологическую операцию, основанную на реакции между CO_2 и химическим растворителем (например, соединениями этаноламина). Химическая абсорбция с использованием растворителей на основе аминов является наиболее передовым методом улавливания CO_2.	Технология широко используется на протяжении десятилетий и в настоящее время применяется в ряде малых и крупных проектов по всему миру в области энергетике и промышленности электроэнергии. Технология применяется в черной металлургии.
Физическая сепарация	Метод основа на использовании адсорбции, абсорбции, криогенного разделения или дегидратации и сжатия. Для физической адсорбции используется твердая поверхность (например, активированный уголь, оксид алюминия, оксиды металлов или цеолиты), а для физической абсорбции используется жидкий растворитель (например, Selexol или Rectisol). После улавливания с помощью адсорбента CO_2 высвобождается при повышении температуры (адсорбция при переменном изменении температуры) или давления (адсорбция при переменном давлении или адсорбция при переменном вакууме).	В настоящее время технология используется в основном для переработки природного газа и производства этанола, метанола и водорода. В черной металлургии технология не применяется.
Кислородно-топливная сепарация	Технология основана на сжигании топлива с использованием почти чистого кислорода и последующем улавливанием выделяемого CO_2. Поскольку дымовой газ состоит почти исключительно из CO_2 и водяного пара, последний можно легко удалить с помощью	В настоящее время технология находится на стадии крупного прототипа/предварительной демонстрации. В черной металлургии технология в настоящее время не применяется.

Продолжение таблицы Д.8

	дегидратации, чтобы получить CO_2 высокой чистоты.	
Мембранная сепарация	Технология основана на применении полимерных или неорганических устройств (мембран) с высокой селективностью по CO_2, которые пропускают CO_2, но действуют как барьеры, удерживающие другие газы в газовом потоке.	Уровень готовности технологии варьируется в зависимости от топлива и области применения. В сфере переработке природного газа технология находится в основном на демонстрационной стадии. Мембраны для удаления CO_2 из синтез-газа и биогаза уже коммерчески доступны, а мембраны для очистки дымовых газов в настоящее время находятся в стадии разработки. В черной металлургии технология в настоящее время не применяется.
Регенеративный цикл кальция	Технология включает в себя улавливание CO_2 при высокой температуре с использованием двух основных реакторов. В первом реакторе известь (CaO) используется в качестве сорбента для улавливания CO_2 из газового потока с образованием карбоната кальция ($CaCO_3$). $CaCO_3$ впоследствии транспортируется во второй реактор, где он регенерируется, в результате чего получается известь и чистый поток CO_2. Затем известь возвращается в первый реактор.	В настоящее время технология находится на стадии пилотного (предкоммерческого) использования. В черной металлургии технология в настоящее время не применяется.
Химическое циклическое сжигание	Технологическая схема представляет собой двухреакторную технологию (аналогично технологии регенеративного цикла кальция). В первом реакторе мелкие частицы металла (например, железа или марганца) используются для связывания кислорода воздуха с образованием оксида металла, который затем транспортируется во второй реактор, где вступает в реакцию с топливом, производя энергию и концентрированный поток CO_2, регенерирующий восстановленную форму металла.	Технология была протестирована в ходе реализации около 35 пилотных проектов по сжиганию угля, газа, нефти и биомассы. В черной металлургии технология в настоящее время не применяется.

Окончание таблицы Д.8

	Затем металл возвращается в первый реактор.	
Энергетические циклы на суперкритических параметрах CO_2	Технология основана на применении энергетических циклах со сверхкритическими параметрами CO_2 в качестве рабочего тела (то есть параметры CO_2 выше критической температуры и давления). Турбины со сверхкритическими параметрами CO_2 обычно используют почти чистый кислород для сжигания топлива, чтобы получить дымовой газ, состоящий только из CO_2 и водяного пара.	В настоящее время в эксплуатации находятся два прототипа/демонстрационных проекта: NET Power's Allam cycle и the Trigen Clean Energy Systems (CES) cycle. В черной металлургии технология в настоящее время не применяется.

Источник: IEA [192]

Хранение CO_2 предполагает закачку уловленного вещества в глубокий подземный геологический резервуар из пористой породы, покрытый непроницаемым слоем горных пород, который герметизирует резервуар и предотвращает восходящую миграцию или «утечку» CO_2 в атмосферу.

Существует несколько типов резервуаров, подходящих для хранения CO_2, при этом наибольшую емкость имеют глубокие солевые формации и истощенные нефтегазовые резервуары.

Глубинные солончаки представляют собой слои пористых и проницаемых пород, насыщенных соленой водой (рассолом), которые широко распространены как в наземных, так и в морских осадочных бассейнах.

Истощенные нефтяные и газовые резервуары представляют собой пористые горные породы, в которых сырая нефть или газ находились в ловушке в течение миллионов лет, прежде чем они были извлечены, и которые могут аналогичным образом улавливать закачиваемый CO_2.

Когда CO_2 закачивается в пласт, он проходит через него, заполняя поровое пространство. Газ обычно сначала сжимают, чтобы увеличить его плотность, а резервуар, как правило, должен находиться на глубине более 800 метров, чтобы удерживать CO_2 в плотном жидкообразном состоянии. CO_2 постоянно удерживается в резервуаре с помощью нескольких механизмов:

- структурное улавливание;
- улавливание растворимости (CO_2 растворяется в рассоле);
- остаточное улавливание (CO_2 остается в порах между породами);
- улавливание минералов (CO_2 реагирует с породой-коллектором с образованием карбонатных минералов (минерализация).

Природа и тип механизмов улавливания для надежного и эффективного хранения CO_2, которые варьируются в пределах и на протяжении всего срока службы площадки в зависимости от геологических условий, хорошо изучены благодаря многолетнему опыту закачки CO_2 для повышения нефтеотдачи и специализированного хранения.

Хранение CO_2 в базальтах (магматических породах) с высокой концентрацией реакционноспособных химических веществ также возможно, но находится на ранней стадии разработки. Вводимый CO_2 вступает в реакцию с химическими компонентами с образованием устойчивых минералов, удерживающих CO_2.

Приложение Е
(обязательное)

Заключение по наилучшим доступным технологиям «Производство чугуна, стали и ферросплавов»

Область применения

Область применения настоящего заключения совпадает с областью применения информационно-технического справочника по НДТ для производства чугуна, стали и ферросплавов (ИТС 26-2022 «Производство чугуна стали и ферросплавов») и распространяется на следующие основные виды деятельности, определяемые в соответствии с общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД 2) ОК 029–2014 (КДЕС Ред. 2) и в соответствии с общероссийским классификатором по видам продукции (ОКПД 2) ОК 034–2014 (КПЕС 2008) (приняты и введены в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 января 2014 г. № 14 ст):

- агломерация железных руд;
- производство кокса и полукокса, бурого угля (лигнита) или торфа, угля ретортного;
- производство чугуна зеркального и передельного в чушках, болванках и прочих первичных формах;
- производство ферросплавов, включая: ферросилиций, силикокальций, силикомарганец, электроферромарганец, ферровольфрам, ферромолибден, феррованадий, пятиокись ванадия, ферониобий, ферротитан, ферробор, силикоцирконий, феррофосфор, ферроманганофосфор, феррохром, ферросиликохром, ферросиликомарганец, ферромарганец, ферросплавы и лигатуры;
- производство стали нелегированной в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикатов из нелегированной стали;
- производство стали нержавеющей в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикатов из нержавеющей стали;
- производство стали легированной прочей в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикатов из прочей легированной стали.

Настоящее заключение также распространяется на процессы, связанные с основными перечисленными выше видами деятельности, которые могут оказать влияние на объемы и состав эмиссий и/или масштабы загрязнения окружающей среды:

- процессы, использующие методы предотвращения и сокращения эмиссий загрязняющих веществ (выбросы в атмосферу и сбросы в водные объекты или канализацию), утилизации отходов;
- деятельность по плавке и/или рафинированию черных металлов из руды, чушек или лома с использованием методов электрометаллургии и прочих металлургических процессов;
- производство сплавов металлов, включая сплавы со специальными свойствами (например, сверхпрочные сплавы), путем добавления в исходный чистый металл прочих химических элементов.

Заключение не распространяется на:

- производство изделий дальнейшего передела черных металлов;
- генерацию электрической и тепловой энергии;
- водоотведение и очистку хозяйственно-бытовых стоков;
- деятельность, которая касается исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Вопросы охраны труда рассматриваются частично и только в тех случаях, когда оказывают влияние на виды деятельности, включенные в область применения настоящего заключения.

Дополнительные виды деятельности, осуществляемые в рамках металлургического производства, и соответствующие им справочники НДТ, приведены в таблице Е.1.

Таблица Е.1 – Дополнительные виды деятельности

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух	ИТС 22–2016 «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»
Очистка сточных вод	ИТС 8–2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» ИТС 10–2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов»
Хранение и обработка материалов	ИТС 46–2019 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)»
Обращение с отходами	ИТС 9–2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами» ИТС 15–2021 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)» ИТС 17–2021 «Размещение отходов производства и потребления»
Добыча и обогащение железных руд	ИТС 25–2021 «Добыча и обогащение железных руд»
Производство изделий дальнейшего передела черных металлов	ИТС 27–2021 «Производство изделий дальнейшего передела черных металлов»
Промышленные системы охлаждения	ИТС 20–2016 «Промышленные системы охлаждения»
Производство электрической и тепловой энергии	ИТС 38–2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии»
Повышение энергетической эффективности	ИТС 48–2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности»
Производственно-экологический контроль	ИТС 22.1–2021 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения»

Сфера распространения настоящего заключения приведена в таблице Е.2.

Таблица Е.2 – Сфера распространения Заключения

ОКПД 2	Наименование продукции по ОКПД 2	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
		Обогащение и агломерация железных руд	07.10.3
07.10.10.140	Агломерат железорудный		
		Агломерация угля, антрацита и бурого угля (лигнита), производство термоуглей	19.3
19.10.10	Кокс и полукокс из каменного угля, бурого угля (лигнита) или торфа, уголь ретортный		
		Производство металлургическое	24
24.10.11	Чугун зеркальный и передельный в чушках, болванках или в прочих первичных формах	Производство чугуна	24.10.11
24.10.12	Ферросплавы	Производство ферросплавов	24.10.12
24.10.12.110	Ферросилиций		
24.10.12.120	Силикокальций		
24.10.12.130	Силикомарганец		
24.10.12.140	Электроферромарганец		
24.10.12.150	Ферровольфрам		
24.10.12.160	Ферромолибден		
24.10.12.170	Феррованадий		
24.10.12.180	Пятиокись ванадия		
24.10.12.210	Ферониобий		
24.10.12.220	Ферротитан		
24.10.12.230	Ферробор		
24.10.12.240	Силикоцирконий		
24.10.12.250	Феррофосфор электротермический		
24.10.12.260	Ферроманганофосфор		
24.10.12.270	Феррохром		
24.10.12.280	Ферросиликохром		
24.10.12.310	Ферросиликомарганец		
24.10.12.320	Ферромарганец		
24.10.12.390	Ферросплавы и лигатуры прочие		
24.45.12	Лигатура никельниобиевая		
24.45.30	Хром металлический металлотермический	Производство хрома	24.45.7
		Производство стали в слитках	24.10.2

Окончание таблицы Е.2

ОКПД 2	Наименование продукции по ОКПД 2	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
24.10.21	Сталь нелегированная в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нелегированной стали		
24.10.22	Сталь нержавеющая в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нержавеющей стали		
24.10.23	Сталь легированная прочая в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из прочей легированной стали		

1 Наилучшие доступные технологии

Заключение содержит перечень кратких описаний НДТ, применяемых при производстве чугуна, стали и ферросплавов.

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [99] НДТ – это технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения. При этом к НДТ могут быть отнесены как технологические процессы, оборудование, технические способы, так и другие методы защиты окружающей среды.

Перечень методов, перечисленных в описаниях НДТ (таблица Е.3), не является предписывающим или исчерпывающим. Могут применяться и иные методы, обеспечивающие по меньшей мере такой же уровень охраны окружающей среды.

Технологические показатели приняты в виде удельных показателей и концентраций, что соответствует положениям нормативной правовой базы (таблица 4).

Наименования веществ приведены в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 08 июля 2015 г. № 1316-р [137].

Уровни выбросов в атмосферный воздух, приведены для стандартных / нормальных условий: сухой газ при температуре 0 °С и давлении 101,3 кПа.

Таблица Е.3 – Наилучшие доступные технологии производства чугуна, стали и ферросплавов

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
Общего назначения	НДТ 5.1.1	Система экологического менеджмента
	НДТ 5.1.2	Система энергетического менеджмента
	НДТ 5.1.3	Технологии, направленные на предотвращение загрязнения водного бассейна и минимизацию водопотребления, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з
	НДТ 5.1.4	Технологии, направленные на снижение воздействия физических факторов (шума), в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к, л, м, н, о, п, р, с, т, у
Агломерация	НДТ 5.2.1	Технология производства агломерата методом спекания на конвейерных машинах различной площади за счет фильтрации воздуха, обеспечивающего горение твердого топлива, распределенного в слое, с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических приемов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.2.2 – НДТ 5.2.7
	НДТ 5.2.2	Технологии, направленные на улучшение общих показателей производства агломерата, обеспечивающие сокращение потерь сырья, образование эмиссий в атмосферу и отходов, в том числе технологии и технические решения 5.2.2.1 (а, б, в), 5.2.2.2 (а, б, в, г), 5.2.2.3 (а, б, в, г, д, е, ж)
	НДТ 5.2.3	Внедрение систем автоматизированного контроля и управления, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д. е, ж, з, и
	НДТ 5.2.4	Технологии, направленные на снижение удельных расходов сырья, топлива при производстве агломерата, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.2.5	Повышение эффективности использования энергии, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.2.6	Технологии, направленные на снижение негативного воздействия на атмосферный воздух в составе: 5.2.6.1 (а, б), 5.2.6.2, 5.2.6.3 (а, б)
	НДТ 5.2.7	Технологии утилизации отходов, в том числе технологии и технические решения а, б, в
Производство кокса	НДТ 5.3.1	Технология производства кокса в коксовых печах путем термической обработки угольной шихты без доступа воздуха, последующего охлаждения и сортировки коксового пирога и очистки коксового газа с применением ресурсо- и энергоэффективных процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.3.2 – НДТ 5.3.13

Продолжение таблицы Е.3

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
	НДТ 5.3.2	Снижение выбросов при подготовке угля к коксованию, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.3.3	Бездымная загрузка печей, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г
	НДТ 5.3.4	Технология трамбования шихты
	НДТ 5.3.5	Уменьшение выбросов от систем обогрева коксовых батарей, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.3.6	Технология коксования с минимальными газовыделениями, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.3.7	Технологии беспылевой выдачи кокса
	НДТ 5.3.8	Снижение выбросов при тушении кокса, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г
	НДТ 5.3.9	Уменьшение выбросов при сортировке и транспортировке кокса, в том числе технологии и технические решения а, б, в
	НДТ 5.3.10	Охлаждение и очистка коксового газа от смолы, аммиака, бензольных углеводородов, в том числе , технологии и технические решения а, б, в, г
	НДТ 5.3.11	Снижение выбросов от емкостного оборудования при охлаждении и очистке коксового газа, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е
	НДТ 5.3.12	Использование очищенных сточных вод в производстве, в том числе технологии и техническтие решения а, б, в, г, д, е
	НДТ 5.3.13	Технология утилизации отходов, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г
Производство чугуна	НДТ 5.4.1	Технология производства чугуна в доменных печах различного объема, работающих на комбинированном дутье, с использованием металлургического кокса и применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.4.2 – НДТ 5.4.6
	НДТ 5.4.2	Технологии, направленные на улучшение общих показателей производства чугуна, обеспечивающие снижение потерь ресурсов, образование эмиссий и отходов, в составе 5.4.2.1 (а, б, в, г, д); 5.4.2.2 (а, б, в, г, д, е, ж, з); 5.4.2.3; 5.4.2.4, 5.4.2.5
	НДТ 5.4.3	Внедрение систем автоматизированного контроля и управления, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж,з
	НДТ 5.4.4	Технологии, направленные на снижение удельного расхода топлива при производстве чугуна, в составе :5.4.4.1; 5.4.4.2; 5.4.4.3; 5.4.4.4; а также в том числе технологий и технических решений а, б
	НДТ 5.4.5	Повышение эффективности использования энергии при производстве чугуна в составе технологий 5.4.5.1; 5.4.5.2; 5.4.5.3; 5.4.5.4; 5.4.5.5

Продолжение таблицы Е.3

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
	НДТ 5.4.6	Технологии, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха, за счет применения установки для улавливания, очистки и утилизации доменного газа из межконусного пространства доменной печи, в составе 5.4.6.1; 5.4.6.2
Производство стали в конвертерах	НДТ 5.5.1	Технология производства стали в конвертерах методом продувки расплава чугуна техническим кислородом и наведением покровного шлака с целью удаления из расплава металла углерода и вредных примесей с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.5.2 – НДТ 5.5.6
	НДТ 5.5.2	Технология выплавки стали в конвертере методом продувки расплава чугуна техническим кислородом, направленная на обеспечение надлежащего содержания углерода в стали (и соответственно образование пыли и оксида углерода), в составе 5.5.2.1 (а,, г, д); 5.5.2.2 (а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к); 5.5.2.3
	НДТ 5.5.3	Технологии, направленные на улучшение общих показателей выплавки стали, обеспечивающие стабильность процесса, получение качественных характеристик готовой стали, сокращение расхода и потерь сырья, снижение образования эмиссий в атмосферу и отходов, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з, и
	НДТ 5.5.4	Внедрение систем автоматизированного контроля и управления плавкой стали в конвертере, в том числе для увеличения производительности конвертера и минимизации эмиссий и отходов, в составе технологий 5.5.4.1; 5.5.4.2; 5.5.4.3
	НДТ 5.5.5	Технологии, направление на повышение ресурсо- и энергоэффективности конвертерного производства, в составе: 5.5.5.1; 5.5.5.2
	НДТ 5.5.6	Технологии, направленные на снижение негативного воздействия на атмосферный воздух, за счет применения эффективного пылегазоочистного оборудования, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д,
Производство стали в электродуговых печах	НДТ 5.6.1	Технология производства стали в электродуговых печах различной мощности с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических приемов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.6.2 – НДТ 5.6.7

Окончание таблицы Е.3

Технология	Номер НДТ	Наименование НДТ
	НДТ 5.6.2	Технология выплавки стали в электродуговых печах с удельной мощностью источника питания 0, 8–1,0 МВА/т и активной продувкой кислородом, обеспечивающая снижение потребления электрической энергии, уменьшение угара металла, повышение качества металла, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д
	НДТ 5.6.3	Технологии, направленные на улучшение общих показателей и условий работы при производстве стали в электродуговых печах, обеспечивающие снижение потерь ресурсов, образование эмиссий и отходов, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з
	НДТ 5.6.4	Технологии, направленные на снижение удельных расходов сырья, и энергии при производстве стали в электродуговых печах , в том числе технологии и технические решения а, б, в, г
	НДТ 5.6.5	Автоматизация системы управления процессом плавки в электродуговых печах за счёт внедрения АСУ ТП плавкой и качеством металла
	НДТ 5.6.6	Повышение эффективности использования энергии при производстве стали в электродуговых печах, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к,
	НДТ 5.6.7	Технологии, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е, ж, з
Производство ферросплавов	НДТ 5.7.1	Производство ферросплавов углетермическим методом в руднотермических печах, в том числе технологии и технические решения 1), 2), 3), 4), 5), 6). 7), 8), 9), 10), 11), 12)
	НДТ 5.7.2	Производство ферросплавов силикотермическим методом, в том числе технологии и технические решения 1), 2), 3), 4), 5)
	НДТ 5.7.3	Производство ферросплавов алюмотермическим методом в том числе технологии и технические решения 1), 2), 3), 4), 5), 6). 7)
	НДТ 5.7.4	Снижение образования отходов при производстве ферросплавов в том числе технологии и технические решения 1), 2), 3), 4), 5), 6). 7), 8), 9)
	НДТ 5.7.5	Производство оксидов ванадия из шлаков дуплекс-процесса, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г, д, е
	НДТ 5.7.6	Производство феррованадия, в том числе технологии и технические решения а, б, в
	НДТ 5.7.7	Технологии рациональной утилизации отходов при производстве феррованадия, в том числе технологии и технические решения а, б, в, г

2 Технологичесике показатели НДТ

Таблица Е.4 – Технологические показатели производства чугуна, стали и ферросплавов по выбросам в атмосферный воздух

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
Производство агломерата (прием сырья, размораживание, складирование, усреднение, подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию (измельчение, смешивание, грануляция), спекание шихты на конвейерных машинах, охлаждение и дробление агломерата, горячее и холодное грохочение, сортировка, отсев мелочи и отгрузка годного агломерата, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤0,4 ≤0,75 (ванадиевый концентрат)
	Азота оксид	кг/т	≤0,15
	Углерода оксид	кг/т	≤14,0 ≤16,0 (ванадиевый концентрат)
	Серы диоксид	кг/т	≤3,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤1,2
Производство кокса (подготовка углей к коксованию (размораживание, погрузочно-разгрузочные работы, складирование, дробление, дозировка, транспортирование), технологические процессы производства кокса (загрузка камер коксования угольной шихтой, трамбование шихты, нагрев угольной шихты в коксовых печах, отвод и охлаждения прямого коксового газа из камер коксования, выдача готового кокса из печей, тушение кокса, сортировка кокса на фракции, транспортирование и отгрузка потребителям), очистка коксового газа, биохимическая очистка сточных вод)	Азота диоксид	кг/т	≤0,8
	Азота оксид	кг/т	≤0,4
	Углерода оксид	кг/т	≤5,5
	Серы диоксид	кг/т	≤1,5
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,7
Производство чугуна (прием и хранение сырья, дозирование, отсев мелочи, загрузка печи, подготовка дутья, выплавка чугуна, разливка товарного чугуна на разливочных машинах, обработка доменного шлака, очистка доменного газа и утилизация его химической энергии, утилизация избыточного давления доменного газа, транспортировка жидкого чугуна в сталеплавильный цех, установки водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤0,1
	Азота оксид	кг/т	≤0,02
	Углерода оксид	кг/т	≤4,0
	Серы диоксид	кг/т	≤0,2
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,5

Продолжение таблицы Е.4

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
Производство стали в конвертерах (прием жидкого чугуна, усреднение жидкого чугуна в стационарном миксере, перелив из чугуновозных ковшей или чугуновозных ковшей миксерного типа в чугунозаливочные ковши, подготовка твердой металлической шихты и шлакообразующих материалов, десульфурация чугуна, прием и подготовка ферросплавов, выплавка стали, выпуск расплава из конвертера в сталеразливочный ковш, присадка ферросплавов, раскислителей и других добавок, внепечная обработка расплава, подготовка сталеразливочных и промежуточных ковшей, разливка стали на МНЛЗ или в изложницы (слитки), обработка непрерывнолитых заготовок и слитков, переработка и утилизация шлаков сталеплавильного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤0,2
	Азота оксид	кг/т	≤0,05
	Углерода оксид	кг/т	≤5,0
	Серы диоксид	кг/т	≤0,05
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,35
Производство стали в электродуговых печах (подготовка шихтовых материалов, подготовка печи, завалка шихты, залив чугуна (если применимо), плавка, обезуглероживание, выпуск, раскисление, легирование, внепечная обработка, разливка стали на МНЛЗ, подготовка сталеразливочных ковшей, обработка электросталеплавильного шлака и пыли, очистка отходящего газа сталеплавильных печей, установки водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤0,35 ≤0,6 (жидкий чугун >40 %)
	Азота оксид	кг/т	≤0,2
	Углерода оксид	кг/т	≤3,0 ≤4,0 (металлиз. окатыши, ГБЖ >80%) ≤4,5 (жидкий чугун >40 %)
	Серы диоксид	кг/т	≤0,3
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,5 ≤0,8 (жидкий чугун >40 %)
Производство ферросилиция углетермическим методом в руднотермических печах (подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤10,0
	Азота оксид	кг/т	≤5,0
	Углерода оксид	кг/т	≤13,0
	Серы диоксид	кг/т	≤5,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤7,5

Продолжение таблицы Е.4

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
Производство феррохрома углеродистого углетермическим методом в руднотермических печах (подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤3,1
	Азота оксид	кг/т	≤0,505
	Углерода оксид	кг/т	≤13,0
	Серы диоксид	кг/т	≤0,2
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤3,0
Производство ферросиликомарганца углетермическим методом в руднотермических печах (подготовка шихтовых материалов (усреднение состава шихты, сушка шихты, предварительный подогрев и прокалка шихты, обеспечение газопроницаемости шихты), подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в руднотермической печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤1,5
	Азота оксид	кг/т	≤0,3
	Углерода оксид	кг/т	≤6,0
	Серы диоксид	кг/т	≤0,1
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤0,5
Производство ферросплавов** алюмотермическим методом электропечным способом в печь-горне (подготовка шихтовых материалов, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь-горн, проплавление оксидной части шихты под электрическими дугами, восстановительная внепечная плавка в печи-горне, дробление, сортировка, упаковка феррохрома, обработка попутного продукта плавленного глиноземистого, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤1,3
	Азота оксид	кг/т	≤0,02
	Углерода оксид	кг/т	≤1,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤5,5
Производство ферромолибдена алюмотермическим методом (подготовка шихтовых материалов, подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤3,0
	Азота оксид	кг/т	≤0,5
	Углерода оксид	кг/т	≤100,0
	Серы диоксид	кг/т	≤85,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤1,5

Продолжение таблицы Е.4

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества*	Единица измерения	Величина
Производство феррованадия алюмотермическим методом электропечным способом (дозирование и перемешивание шихты (мелкая и хрупкая шихта (40 % <5 мм, 100 % <100 мм), засыпка в бадью, подача и периодическая досыпка шихты в печь, засыпка рафинировочной шихты, выплавка металла, охлаждение слитка металла, зачистка слитка, предварительное дробление, дробление до товарной фракции, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤11
	Азота оксид	кг/т	≤2,0
	Углерода оксид	кг/т	≤3,5
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤7,0
Производство феррованадия силикотермическим методом (подготовка шихтовых материалов, подготовка кусковых руд, подготовка восстановителя, подача и загрузка шихты в печь, восстановительная плавка в рафинировочной печи, дробление, сортировка, упаковка ферросплавов, обработка шлаков ферросплавного производства, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤3,0
	Азота оксид	кг/т	≤0,5
	Углерода оксид	кг/т	≤7,5
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤6,1
Производство оксидов ванадия из шлаков дуплекс-процесса (измельчение шлака, смешение молотого шлака с реакционной добавкой, помол шихты, окислительный обжиг шихты во вращающейся печи, охлаждение и измельчение обожженной шихты (огарка), выщелачивание огарка водой/сернокислотное выщелачивание, осаждение ванадия из раствора, прокаливание поливанадата аммония в восстановительной атмосфере с получением триоксида ванадия, а в окислительной атмосфере – пентоксида ванадия, фильтрация пульп, термогидролиз, выплавлние пентоксида ванадия в циклонных печах, плавление поливанадатов магния-марганца в подовой печи, охлаждение струи расплава на водоохлаждаемом вращающемся столе, переплавка порошкообразного пентоксида ванадия, очистка маточных растворов, установки газо- и водоочистки)	Азота диоксид	кг/т	≤3,0
	Азота оксид	кг/т	≤0,6
	Углерода оксид	кг/т	≤1,0
	Взвешенные вещества[1]	кг/т	≤3,5

[1] К взвешенным веществам относятся все твердые вещества в составе выброса, включая «Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20–70, а также более 70 процентов».

* В соответствии с перечнем загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 г. № 1316-р.

** Ферротитан, ферробор, феррохром НУ, хром, ниобиевая лигатура.

Таблица Е.5 – Технологические показатели для сбросов сточных вод металлургических предприятий в водные объекты при производстве чугуна, стали и ферросплавов

№пп	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Величина	Примечание
1	Взвешенные вещества	мг/дм^3	≤35,0	
2	Железо	мг/дм^3	≤0,45	
3	Нефтепродукты (нефть)	мг/дм^3	≤1,0	
4	Марганец	мг/дм^3	≤0,4	Контроль № 4, 5, 6, 7, 8 выборочно в зависимости от специфики производства
5	Цинк	мг/дм^3	≤0,15	
6	Ванадий	мг/дм^3	≤0,02	
7	Никель	мг/дм^3	≤0,1	
8	Хром трехвалентный	мг/дм^3	≤0,05	
9	Аммоний-ион	мг/дм^3	≤1,0	Контроль № 9,10 выборочно в зависимости от типа сточных вод
10	Сульфат-ион (сульфаты)	мг/дм^3	≤250,0	

Примечания.

1 Для промливневых (и промышленных) сточных вод контролируются пп. 1–3 и выборочно пп. 4–8.

2 Для ливневых сточных вод контролируются пп. 1, 3.

3 Для промливневых (и промышленных) сточных вод, в составе которых отводится поток с высоким солесодержанием, контролируются пп. 1–3, выборочно пп. 4–8 и п. 10.

4 Для промливневых (и промышленных) сточных вод, в составе которых отводятся хоз-фекальные стоки, контролируются пп. 1–3, выборочно пп. 4–8 и п. 9.

5 Принципиально набор маркерных веществ для контроля не должен превышать 5-6 наименований.

Таблица Е.6 – Целевые показатели энерго-ресурсоэффективности

Показатель ресурсной и/или энергетической эффективности (материальные ресурсы, энергопотребление, продукт/полупродукт, отходы, вторичные ресурсы и т. д.)	Единица измерения	Значение
Производство агломерата		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤50
Коксовая мелочь	кг/т	≤50
% повторного использования воды*	%	95
Производство кокса		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤70

Прродолжение таблицы Е.6

Показатель ресурсной и/или энергетической эффективности (материальные ресурсы, энергопотребление, продукт/полупродукт, отходы, вторичные ресурсы и т. д.)	Единица измерения	Значение
Степень использования коксового газа (в собственном производстве и при отпуске на сторону, кроме сжигания на факелах)	%	100
% повторного использования воды*	%	95
Производство чугуна		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤25
Кокс	кг/т	≤400,0
ПУТ	кг/т	≤150,0
Природный газ	$м^3$/т	≤150,0
Степень использования доменного газа (в собственном производстве и при отпуске на сторону, кроме сжигания на факелах)	%	100
% повторного использования воды*	%	95
Степень использования доменного шлака в хозяйственном обороте	%	100
Производство стали в кислородных конвертерах		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤70,0
Кислород	$м^3$/т	≤80,0
Степень использования конвертерного газа (в собственном производстве, кроме сжигания на факелах)	%	100
% повторного использования воды*	%	95
Степень использования сталеплавильного шлака в хозяйственном обороте	%	80
Производство стали в электродуговых печах		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤800,0
Кислород	$м^3$/т	≤80,0
% повторного использования воды*	%	95
Степень использования электросталеплавильного шлака в хозяйственном обороте	%	80
Производство ферросплавов		
Ферросилиций		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤8500,0
Уголь	кг/т	≤1200,0
Кокс	кг/т	≤400,0
Ферромолибден		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤390,0
Уголь	кг/т	≤1600,0
Оксиды ванадия из шлака дуплекс-процесса		

Окончание таблицы Е.6

Показатель ресурсной и/или энергетической эффективности (материальные ресурсы, энергопотребление, продукт/полупродукт, отходы, вторичные ресурсы и т. д.)	Единица измерения	Значение
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤4000,0
Феррованадий		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤6500,0
Природный газ	$м^3$/т	≤2000,0
Хром		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤2000
Феррохром н/у*		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤2000,0
Феррохром у**		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤4200,0
Уголь	кг/т	≤120,0
Кокс	кг/т	≤350,0
Ферросиликохром		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤6000,0
Уголь	кг/т	≤440,0
Кокс	кг/т	≤240,0
Ферросиликомарганец		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤6000
Уголь	кг/т	≤700
Кокс	кг/т	≤20
Ферробор		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤1000,0
Ферротитан		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤750,0
Лигатура никельниобиевая		
Электроэнергия	кВт·ч/т	≤750,0
* % повторного использования воды определяется в целом для предприятия, а не по отдельным переделам (для предприятий полного металлургического цикла) ** Феррохром низкоуглеродистый. *** Феррохром углеродистый.		

4 Производственный экологический контроль

Назначение процедуры производственного экологического контроля (ПЭК) в системе экологического управления состоит в подтверждении соответствия хозяйственной деятельности требованиям природоохранного законодательства и разрешенным уровням воздействия на окружающую среду (нормативам предельно-допустимых выбросов, допустимых сбросов, временно-разрешенных выбросов, сбросов, лимитов на размещение отходов).

В принципиальном аспекте функция производственного экологического контроля остается неизменной и при переходе на технологическое нормирование (для организаций, относящихся к 1-ой категории объектов негативного воздействия на

окружающую среду), но содержание отдельных элементов ПЭК претерпевает изменения.

Производственный экологический контроль нацелен на получение надежной информации (сбор, анализ, накопление данных), необходимой для доказательства соблюдения объектами 1-ой категории требований и показателей наилучших доступных технологий. Именно ввиду значимости информационной основы ПЭК законодательно (ст. 31.1 закона № 219-ФЗ) установлен статус программы производственного экологического контроля как неотъемлемой части заявки на комплексное экологическое разрешение (КЭР) с обязательным утверждением ее регулятором при получении КЭР.

Требования к программе производственного экологического контроля регламентированы законодательно (ст. 67 № 7-ФЗ): согласно положениям закона, программа ПЭК должна содержать сведения:

- об инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и их источниках;
- об инвентаризации сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и их источниках;
- об инвентаризации отходов производства и потребления и объектах их размещения;
- о подразделениях и/или должностных лицах, отвечающих за осуществление ПЭК;
- о собственных и/или привлекаемых лабораториях, аккредитованных в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации;
- о периодичности и методах осуществления производственного экологического контроля, местах отбора проб и методиках (методах) измерений.

Для условий технологического нормирования (ст. 23, ст. 31.1, ст. 31.2 закона № 7-ФЗ) в план-график контроля стационарных источников выбросов (сбросов) должны быть включены загрязняющие (маркерные) вещества, которые присутствуют в выбросах (сбросах) и в отношении которых установлены технологические нормативы, а также вещества 1-ого и 2-ого классов опасности (при наличии таких веществ), по которым устанавливаются нормативы выбросов (сбросов) или временно согласованные выбросы (сбросы).

Методологические основы производственного экологического контроля, в том числе для металлургической отрасли, изложены в [98]. Некоторые актуальные вопросы, касающиеся производственного экологического контроля, требуют дополнительного обсуждения.

Периодичность отбора проб

Одним из существенных показателей программы ПЭК является периодичность отбора проб на объектах наблюдения. Основываясь на информации [98] и принимая во внимание, что программа ПЭК разрабатывается на длительный срок (не менее 7 лет), можно рекомендовать периодичность контроля источников воздействия на окружающую среду в ходе ПЭК, показанную в таблице Е.7.

Таблица Е.7 – Периодичность производственного экологического контроля для различных объектов (инструментальный контроль)

№пп	Контролируемая среда, объект	Общее количество контролируемых компонентов	Периодичность контроля
	Атмосферный воздух:		
1	На границе СЗЗ: Подфакельно (маршрутно) [1]	8	1 раз в месяц[3]
2	На границе жилой зоны (в зоне влияния предприятия)[2]	8	2 раза в год
3	Выбросы с отходящими газами от стационарных источников[1]	8–10	1 раз в год
4	В местах локации ОРО (на границе территории, соответствующей пределам негативного воздействия ОРО)[4]	3	1 раз в год
	Водные объекты		
5	Поверхностные воды в фоновом и контрольном створах[5]	6	1 раз в квартал
6	Передаваемые сточные воды (по договорам на очистку)	Согласно условиям договора	1 раз в месяц
7	Централизованные системы водоотведения[6]	Согласно условиям договора	1 раз в месяц
8	Производственный контроль сточных вод[1]	6	1 раз в квартал
9	В местах локации ОРО (в месте выпуска сточных вод, поступивших с ОРО)[7]	6	1 раз в год

[1] определяются маркерные вещества;

[2] территория согласно п. 2.4 СП 1.1.1058-01; определяются маркерные вещества, дополнительно – проблемные для региона;

[3] суммарное количество проб за год определяетя проектами СЗЗ, согласованными регулятором графиках контроля;

[4] в соответствии с п. 9 (а) Приказа МПР России № 1030 от 08.12.2020 г.

[5] в соответствии с п. 9.2.3 Приказа МПР РФ № 74 программы ведения ругулярных наблюдений за водным объектом и его водоохраной зоной; определяются маркерные вещества

[6] в соответствии с НССВ, исходя из технологических нормативов организаций ЦСВ

[7] согласно п. 9 (б) Приказа МПР России № 1030 от 08.12.2020 г.

Вместе с тем, не исключается и иная периодичность ПЭК, обусловленная конкретными условиями, ситуациями, вероятными рисками.

Методики (методы) измерений

В соответствии со ст. 1, ч. 3 закона № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» на измерения, выполняемые при осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды, распространяется сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений. Ввиду этого применяемые для целей ПЭК методики должны быть включены в федеральный реестр методик количественного химического

анализа, который ведет ФГУП ВНИИМС (Федеральное агентство по техническому регулированию) и имеет индекс «ФР».

Наиболее применимыми методами производственного экологического контроля являются:

- прямые (непосредственные измерения на источнике бывают периодические и непрерывные);

- расчетные методы (балансовые, по коэффициентам эмиссии, иное).

Расчетные методы применяются для контроля неорганизованных источников эмиссий и в случаях, когда отсутствует техническая возможность проведения непосредственных измерений. В расчетных методах могут использоваться методики, перечень которых утвержден в нормативном акте [132].

Приоритетным инструментом ПЭК служат прямые методы, причем при технологическом нормировании предпочтение отдается методам непрерывного контроля (системам автоматического контроля, оснащенных приборами измерения и учета концентраций, объема выбросов (сбросов), а также техническими средствами, обработки, архивирования и передачи информации о количественных и качественных характеристиках выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (реестр).

Подобные системы рекомендованы для основных источников (технических устройств, оборудования) эмиссий предприятия и для маркерных веществ.

Виды технических устройств, оборудования или их совокупности (установок) на объектах I категории, выбросы (сбросы) загрязняющих веществ которых подлежат автоматическому контролю по [100] применительно к ИТС 26-2022 представлены ниже:

п. 1 Установки очистки газов и аспирационное оборудование при производстве кокса из каменного угля перед выбросом в атмосферный воздух;

п. 6 Установки по обжигу и спеканию железной руды… с единичной производительностью 500 т в сутки и более;

п. 7 Установки по производству чугуна и стали с единичной проектной мощностью 2,5 т в час и более;

п. 23 Выпуски сточных вод, включая глубоководные, в водные объекты, за исключением выпусков сточных вод, образующихся на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, на которых осуществляется деятельность исключительно по производству кокса, добыче сырой нефти и/или природного газа, переработке природного газа, добыче и обогащению железных руд, обеспечению электрической энергией, газом и паром, производству фармацевтических субстанций, обработке поверхностей, предметов или продукции.

Требования к системам автоматического контроля регламентированы в нормативных актах [101, 102].

Системы автоматического контроля выбросов (сбросов) загрязняющих веществ

Правила создания и эксплуатации систем автоматического контроля выбросов и/или сбросов (САК) установлены в [101]. Создание САК направлено на решение следующих задач:

- оснащение стационарных источников выбросов и/или сбросов, образующихся при эксплуатации технических устройств, оборудования или их совокупности (установок), а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов или сбросов;

- получение достоверной информации о показателях выбросов и/или сбросов;

- передача в реестр информации о показателях выбросов и/или сбросов

- повышение уровня оперативного регулирования технологических процессов производств в целях сокращения выбросов и/или) сбросов;

- осуществление государственного экологического надзора за выполнением условий, предусмотренных комплексным экологическим разрешением.

САК создаются на объектах 1-ой категории на основании программы создания САК, которая является неотъемлемой частью программы экологического контроля.

Стационарные источники подлежат включению в программу при соблюдении следующих условий:

а) выбросы от стационарного источника образуются при эксплуатации технических устройств;

б) в выбросах от стационарного источника присутствует одно из следующих загрязняющих веществ, массовый выброс которых превышает следующие значения:

№пп	Измеряемый компонент	Массовый выброс, кг/ч
1	Взвешенные вещества	3,0
2	Серы диоксид	30,0
3	Оксиды азота (суммарно)	30,0
4	Углерода оксид	100,0
5	Фтористый водород	0,3
6	Хлористый водород	1,5
7	Сероводород	0,3
8	Аммиак	1,5

в) наличие средств и методов измерений концентраций загрязняющих веществ в условиях эксплуатации стационарного источника выбросов.

Применительно к сбросам условия а) и в) включения в программу сохраняются, а условие б) изменено: сбросы сточных вод, отводимых от источника, составляют более 15 % объема сточных вод, отводимых от объекта 1 категории.

Окончательный перечень источников выбросов/сбросов, подлежащих оснащению средствами автоматического контроля, целесообразно формировать на стадии разработки технических заданий и проектирования системы автоматического контроля.

Перечень может быть скорректирован исходя из следующих критериев:

- невозможность обеспечения требований промышленной безопасности;

- отсутствие технической возможности установки элементов системы автоматического контроля;

- невозможность обеспечения требуемой точности измерений (на основании результатов расчета суммарной погрешности измерения после выбора всех элементов системы);

- отсутствие средств измерения, отвечающих условиям проведения измерения.

Автоматические средства измерения (САК) выбросов загрязняющих веществ должны обеспечивать измерение и учет [102]:

- концентрации загрязняющих веществ, мг/м^3;
- объемного расхода отходящих газов, м^3/час;
- давления отходящих газов, кПа;
- температуры отходящих газов, С;
- содержания кислорода в отходящих газах в % (при необходимости);
- влажности отходящих газов (при необходимости).

Система автоматического контроля сбросов загрязняющих веществ объектами 1 категории обеспечивает получение следующих показателей:

- объемный расход, м^3/час;
- температура сбрасываемых сточных вод, С;
- водородный показатель, единицы pH;
- химическое потребление кислорода, мг/дм^3.

Технические средства фиксации и передачи информации о показателях выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, для исполнения надлежащих функций в САК включают в себя [102]:

а) программное обеспечение и технические устройства юридического лица или индивидуального предпринимателя, осуществляющего хозяйственную и иную деятельность на объекте I категории, стационарные источники которого оснащены автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и/или сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации;

б) программные средства государственного реестра объектов негативного воздействия на окружающую среду.

Метрологическое обеспечение

Цель метрологического обеспечения состоит в обеспечении единства и требуемой точности измерения, его достоверности с использованием средств измерений (СИ) и надлежащих методик измерений (МВИ), гарантирующих надежность и сопоставимость результатов.

Как для прямых периодических методов, так и особенно для непрерывных методов контроля основной фактор неопределенности результата заложен в представительности пробы из-за неоднородности потоковой среды, специфических условий функционирования источника, масштаба объекта измерения и т. д.

Для инструментальных (периодических) методов точность и достоверность измерения определяется методиками пробоотбора, пробоподготовки и измерения и, как правило, оговаривается в методике (методиках).

Погрешность автоматических средств измерений и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и/или сбросов загрязняющих веществ определяется при утверждении типа средств измерений в соответствии с требованиями законодательства об обеспечении единства измерений [102].

Автоматические средства измерения должны быть утвержденных типов и иметь свидетельства об утверждении типа средств измерения.

Требования к метрологическим характеристикам для систем автоматического контроля (САК) согласно [98] приведены в таблице Е.7.

Таблица Е.8 – Требования к метрологическим характеристикам САК для маркерных веществ

Определяемый компонент	Диапазон измерений, мг/м^3	Пределы допускаемой основной погрешности
NO_2	80–200 100–1000	±5 % (отн.) ±10 % (отн.)
NO	0–50 50–1000	± 5 % (отн.) ±10 % (отн.)
CO	0–75 75–1000	± 5 мг/м^3 (абс.) ±5 % (отн.)
SO_2	0–100 100–1000	±10 % (отн.) ±10 % (отн.)
Взвешенные частицы (пыль)	20–100000	± 20 % (отн.)

Библиография

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 10 июня 2022 г. № 1537-р Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям

2. ГОСТ Р 113.00.03–2019 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника

3. ГОСТ Р 113.00.04–2020 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий

4. ГОСТ Р 56828.15–2016 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (в редакции Постановления Правительства от 09.09.2015 №954, от 09.03.2019 № 250, от 03.03.2021 №307)

6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р Об утверждении перечня областей применения наилучших доступных технологий

7. Состав ТРГ 26 «Производство чугуна, стали и ферросплавов» утвержден приказом Минпромторга России от 05 апреля 2021 г. № 1191.

8. Российский статистический ежегодник 2007-2020 гг. Социально-экономическое положение России, Росстат

9. Официальный сайт ФГУП ЦНИИчермет им. И.П. Бардина. Раздел: Структура. Институт экономики черной металлургии: http://www.chermet.net/index.php

10. Доклад Сентюрина А.В. (Ассоциация «Русская сталь») на 15 Международном стальном саммите, г. Москва, 06.06.2017 г.

11. Юзов О.В., Седых А.М., Петракова Т.Н. «Тенденции изменения производственных и экономических показателей металлургических и трубных производств», Сталь 2020, № 9, с. 58-65

12. Смирнов А.Н., Сафонов В.М. и др. Металлургические мини-заводы – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 469 с.

13. Стратегия развития чёрной металлургии России 2014-2020гг. и на перспективу до 2030г. утверждена Приказом Минпромторга России от 09 мая 2014г. №839.

14. По данным годовых отчётов холдинга «Металлоинвест»

15. Щербаков В.П. «Основы доменного производства» – Москва: Издательство "Металлургия", 1969. – 326 с.

16. Электронный ресурс:электронный ресурс http://www.mmk.ru

17. Электронный ресурс:электронный ресурс http://www.severstal.com

18. Электронный ресурс:электронный ресурс http://www.nlmk.com

19. Электронный ресурс http://www.metalloinvest.com

20. Электронный ресурс: http://www.ezraz.com

21. Электронный ресурс: http://www.mechel.com

22. Стратегия развития черной металлургии России на 2014 – 2020 годы и на перспективу до 2030 года. Утверждена приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 5 мая 2014 г. № 839.

23. Стратегия социально-экономического развития России на период до 2030 г. (в стадии разработки)

24. Металлургия чугуна. Под ред. Юсфина Ю.С. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. - 774 с.: ил.

25. Ironmaking in Russia. Gordon Y., Tikhonov D., Vorsina D., Tretyak A./ AISTech 2021, USA, Nashville, 2021.

26. Доменное производство: Справочник в 2-х томах. Т. 1./ Под ред. Бардина И.П. М. Металлургиздат. 1963. 648 с.

27. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. Агломерация. М.: «Металлургия». 1967. 328 с.

28. Вегман Е.Ф. Окускование руд и концентратов. М.: Металлургия. 1984. 151 с.

29. Заславский Е.Е., Шкурко Е.Ф., Матюх И.Я. Авт. свид. № 730845 «Чашевый охладитель кусковых материалов».

30. Фролов Ю.А. Агломерация. Технология. Теплотехника. Управление. Экология. М.: Металлургиздат.2016. 672 с.

31 Стефаненко В.Т. Очистка от пыли газов и воздуха на коксохимических предприятиях / LAP Lambert Academic Publishing, 2016. – 132 с.

32. Чугун: Справочное издание. Под ред. Шермана А.Д. и Жукова А.А.. М.: Металлургия. 1991. – 576 с.

33. Yi S.-H., Lee H.-G. Ironmaking in South Korea – Beyong the Blast Furnace// Материалы 7-го Международного конгресса по аглококсодоменному производству, 3-7 мая 2015 г. Кливленд, США, vol. 1. p. 1491-1498.

34. Xuegong Bi, Shourong Zhang. The Past, the Present and the Prospects of Ironmaking in China// Материалы 7-го Международного конгресса по аглококсодоменному производству, 3-7 мая 2015 г. Кливленд, США, vol. 1, p. 1472-1480.

35. Koji Saito, Kiichiro Kurihara et al. Recent Development in Ironmaking Technologies in Japan// 6th ICSTI, 2012, Rio de Jeneiro, Brazil. 2012.

36. Металлургия чугуна – вызовы XXI века. Труды VIII Международного конгресса доменщиков. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2017. – 624 с.

37. Геердас М., Ченьо Р., Курунов И.Ф., Лингарди О., Риккетс Д.. «Современный доменный процесс. Введение. М.: Металлургиздат, 2016. 280 с.,136 илл.

38. Kalugin Y. High-temperature Shaftless Hot Stoves for Blast Furnaces// 6th ICSTI. Rio-de-Janeiro, Brazil, 2012. p. 2774-2783.

39. Luengen H.B., Schmoele P., Comparision of Blast Furnace operation modes in the world/ ICSTI 2018, Viene, AUSTRIA. p. 1054-1063

40. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. – К.: Выща школа. Головное изд-во, 1988. – 351 с.

41. Шкурко Е.Ф., Губайдуллин М.Г., Сударев А.И., Мурин Г.Ф. и Яковлев Е.А. Испытание мощных дуговых плазмотронов для конверсии природного газа. Сталь № 9, 1996. С. 17-20.

42. Кондаков В.В. Доменная плавка на обогащённом дутье кислородом. ОНТИ-НКПТ-СССР. Свердловск-Москва. 1935 г. 126 с.

43. Коппенберг Г., Венцель В. Кислородное дутьё в шахтной печи. Металлургиздат. Москва. 1959 г. 159 с.

44. Saito K., Kurita Y. Current Status and the Perspective of Japanese Ironmaking Technology for Enviromental Solution// Материалы 7-го Международного конгресса по аглококсодоменному производству, 3-7 мая 2015 г. Кливленд, США, vol. 1. p. 1463-1471

45. Галкин Ю.А. Инновационные технологии очистки оборотной воды технологических агрегатов заводов чёрной металлургии. «Новые проекты и технологии в металлургии».– Екатеринбург, Сб. научных трудов Уралгипромеза, 2013, 90. – 636 с.

46. Бюллетень «Черметинформация» ЦНИИИ и ТЭИ ЧМ,МЧМ СССР, 1980.

47. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. М., «Металлургия», 1979 – 487 с.

48. Борнацкий И.И., Михневич В.Ф., Яргин С.А. Производство стали. – М.: Металлургия, 1991. – 400 с.

49. Шевченко А. Ф., Двоскин Б. В., Вергун А. С и др. Сопоставление эффективности способов десульфурации чугуна // Сталь, 2000, № 8.

50. Смирнов А.Н. Развитие конвертерного производства стали в мире // Прогрессивные технологии в металлургии стали: 21 век. Труды международной научно-технической конференции. – Донецк: ДонНТУ, 2007.

51. Баптизманский В.И., Меджибожский М.Я., Охотский В.Б. Конвертерные процессы производства стали. – Киев: Техника, 1984 – 343 с.

52. Синельников В.А., Югов П.И. Металлургия: проблемы, поиски, решения / Тематический сборник трудов ЦНИИчермет. – М.: Металлургия, 1989. – 40 с.

53. Линчевский Б.В., Соболевский А.Л., Кальменев А.А. Металлургия черных металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 360 с.

54. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Производство стали. Том 1. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки. – М.: «Теплотехник», 2008. – 528 с.

55. Колпаков С.В., Старов Р.В., Смоктий В.В., под ред. Колпакова С. В. Технология производства стали в современных конверторных цехах – М.: Машиностроение, 1991. – 464с.

56. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали. – М.: Металлургия, 1992. – 337 с.

57. Лякишев Н.П., Шалимов А.Г. Развитие технологии непрерывной разливки стали. – М.: ЭЛИЗ, 2002. – 208 с.

58. Лисин В.С., Юсфин Ю.С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века и металлургия – М.: Высшая. школа., 1998. – 446 с.

59. Шалимов А.Г., Семин А.Е., Галкин М.П., Косырев К.Л. Инновационное развитие электросталеплавильного производства.– М.: Из-во Металлургия, 2014. 308 с. ил.

60. Воскобойников В.Г. и др. Общая металлургия – 6-изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 – 768 с.

61. Лузгин В.П., Косырев К.Л., Комолова О.А. Энергетика применения альтернативных энергоносителей при плавке в дуговых сталеплавильных печах // Чёрные металлы. 2010. № 10. С. 8-12.

62. Никольский Л.Е., Зинуров И.Ю. Оборудование и проектирование электросталеплавильных цехов. Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1993. – с. 272.

63. Тулуевский Ю.Н., Зинуров И. Ю. Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора.– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 347 с.

64. Скляр В. О. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии. Учебное пособие. – Донецк: ДонНТУ, 2014. – 224 с.

65. Лузгин В.П., Косырев К.Л., Семин А.Е., Досматов Д.А. Энергетика сталеплавильных процессов // Электрометаллургия. 2010. № 1. С.17-24.

66. Tretyak A.A., Gugis N.N., Tikhonov D. N. Development of the blast furnace production in Russia. September 2018.

67. Немчинова Н.В., Черных В.Е. и др. Переработка пылей электросталеплавильного производства с целью извлечения цинка и железа. Сталь, 2016, №5, с. 68-71.

68. Патент № 2623509 от 23.06.2016 г. «Устройство для селективного получения цинка и свинца из пыли электросталеплавильного производства».

69. Электронный ресурс:http://www.russtal.ru

70. Электронный ресурс : http://ommet.ru

71. Гасик М.И., Лякишев Н.П. Физикохимия и технология электроферросплавов. Учебник для вузов. – Днепропетровск, ГНПП «Системные технологии», 2005.– 448 с.

72. Гладких В.А. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2009. – 736 с.

73. Каблуковский А.Ф. Производство электростали и ферросплавов: – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 511 с.

74. Мысик В. Ф., Жданов А.В. Проектирование и оборудование электроферросплавных цехов. Учебное пособие. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 526 с.

75. Производство ферросилиция. Справочник: / Под ред. Снитко Ю.П. – Новокузнецк, Полиграфкомбинат, 2000. – 426 с.

76. Рожихина И.Д., Нохрина О.И. Теория и технология производства ферросплавов: учебное пособие. Ч.1. – Новокузнецк, СибГИУ 2006. – 258 с.

77. Гасик М.И. Марганец. – М.: Металлургия. 1992. – 608 с.

78. Семин А.Е. и др. Вторичные металлы и электроплавка стали // Электрометаллургия. 2007. № 6. С. 2-6.

79. Жучков В.И., Смирнов Л.А., Зайко В.П., Воронов Ю.И. Технология марганцевых ферросплавов. Ч. 1. Высокоуглеродистый ферромарганец. – Екатеринбург, 2007. – 415 с.

80. Гладышев В.И. Марганец в доменном процессе. – Екатеринбург, 2005. – 402 с.

81. Цылев Л.М. Первичное шлакообразование в доменных печах // Выплавка ферросплавов в доменной печи на дутье, обогащённом кислородом.– М., 1959. с. 8-16.

82. Шаповалов М.А. Анализ выплавки ферросплавов в доменной печи на дутье, обогащённом кислородом // Выплавка ферросплавов в доменной печи на дутье, обогащённом кислородом. М. 1959. с. 3-7.

83. Доменное производство – XXI. Труды международного конгресса доменщиков. Москва, 12-16 апреля 2010 г.

84. Рожихина И.Д., Нохрина О.Д.Конструкции и проектирование дуговых печей: учебное пособие. Ч.1. – Новокузнецк, СибГИУ, 2011 – 311 с.

85. Шевченко В.Ф. Устройство и эксплуатация оборудования ферросплавных заводов. Справочник. – М.: Металлургия, 1982. – 208 с.

86. Рысс М.А. Производство ферросплавов / М.А. Рысс. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1985. – 540 с.

87. Алюминотермия / Лякишев Н.П.и др. – М.: Металлургия, 1978. – 424 с.

88. Борисенко Л.Ф., Слотвинский-Сидак Н.П., Поликашина Н.С. «Минеральное сырье. Ванадий». Справочник. – Министерство природных ресурсов РФ, Москва, 1998.

89. Домов Д.В. «Разработка технологии производства ванадиевой лигатуры из сталеплавильных шлаков для выплавки арматурных строительных сталей»

Автореферат дисс.на соиск. уч. степени канд.техн.наук.– ФГУП ЦНИИчермет им. И.П.Бардина, Москва, 2016 г.

90. Лякишев Н.П., Слотвинский-Сидак Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. «Ванадий в черной металлургии». – М, Металлургия, 1983

91. Рабинович Е.М., Мизин В.Г.и др. Комплексная переработка ванадиевого сырья. Химия и технология. Металлургия .– Екатеринбург, 2005 г.

92. Шевченко В.Ф. Совершенствование цехов и оборудования ферросплавного производства. Справочник . – М-Х, Металлургия, 1997. – 470 с.

93. ГОСТ Р ИСО 14004-2017 "Системы экологического менеджмента. Общие руководящие указания по внедрению"

94. ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

95. ГОСТ Р ИСО 31000-2019 "Менеджмент риска. Принципы и руководство"

96. ГОСТ Р ИСО 14005-2019 "Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по применению гибкого подхода поэтапного внедрения системы экологического менеджмента"

97. ISO 14001:2015. Environmental management systems – Requirements with guidance for use.

98. ИТС 22.1-2016 Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения: Электронный ресурс: www.burondt.ru

99. Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации (в редакции федерального закона от 26.07.2019 г. № 195-ФЗ с изменениями, вступающими в силу с 01.01.2020).

100. Распоряжение Правительства Российской Федерации №428-р от 13.03.2019 г. «О видах технических устройств, оборудовании и их совокупности (установок) на объектах 1 категории, стационарные источники выбросов и сбросов загрязняющих веществ которых подлежат оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов и (или) сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

101. Постановление Правительства Российской Федерации № 262 от 13.03.2019 г. «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов и (или) сбросов загрязняющих веществ»

102. Постановление Правительства Российской Федерации №263 от 13.03.2019 «О требованиях к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, техническим средствам фиксации и передачи информации в Государственный реестр объектов , оказывающих негативное воздействие на окружающую среду»

103. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, European IPPC Bureau, Seville, 2012: Электронный ресурс: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF

104. ИТС 48-2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности.

105. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use.

106. ISO 50002:2014. Energy audits -– Requirements with guidance for use.

107. ISO 50004:2014. Energy management systems -– Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system.

108. ISO 50006:2014. Energy management systems -– Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) -– General principles and guidance.

109. ISO 50015:2014. Energy management systems -– Measurement and verification of energy performance of organizations -– General principles and guidance.

110. ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.

111. Неделя металлов в Москве начала свою работу// Metalinfo.ru, metaldaily.ru.13.11.17 (доклад П. Серватинского, Директора департамента металлургии и материалов Минпромторга РФ).

112. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, 2016: Электронный ресурс: https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook

113. Инновационные технологии в системах производственного водоснабжения: Сборник статей. – Екатеринбург, 2013, с. 202

114. Галкин Ю.А., Уласовец Е.А., Обадин Д.Н. и др./Инновационная технология очистки оборотной воды МНЛЗ и агрегатов горячей прокатки // Бюллетень ЧМ, 2021, т.7, №4.– с. 471 – 478.

115. Галкин Ю.А. Уласовец Е.А., Обадин Д.Н. и др/ Технология оборотного водоснабжения мокрых газоочисток металлургических агрегатов//Бюллетень ЧМ, 2019, т.75, №11.– с. 1285-1288

116. Галкин Ю.А.. Технологическая система очистки сточных вод производственно-дождевой канализации // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018.– №4.– С.27-37

117. Перспективы использования природного и техногенного железорудного сырья в Российской Федерации. Горный информ.-аналитич. бюллетень. 2014, № 12.

118. Стефаненко В.Т., Олифер В.Д., Попова Н.П. О комплексном подходе к разработке способов снижения выбросов пыли // Кокс и химия, 2006, №3, С.58-61.

119. Стефаненко В.Т.. Источники загрязнения атмосферы на коксохимических предприятиях / LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 115 с.

120. Инструкция по проведению инвентаризации выбросов в атмосферу коксохимических производств. – Екатеринбург, ВУХИН, 2007. – 56 с.

121. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. – Сп-б, ОАО "НИИ Атмосфера", 2015.

122. UN-ECE, The Recuperation and Economic Utilization of By-products of the Iron and Steel Industry, United Nations, Economic Commission for Europe CH-Geneve, 1990.

123. Большина Е.П. Экология металлургического производства: Курс лекций. – Новотроицк, НФ НИТУ «МИСиС». 2012 – 155 с.

124. Рашников В. Ф. и др. Природоохранная деятельность ОАО ММК // Сталь. 2007. № 2. С. 135-139.

125. Шаповалов Н.А. и др. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков // Фундаментальные исследования. 2013. № 1 (часть 2). С. 439-443.

126. Зоря В.Н. Исследование техногенных отходов черной металлургии, в том числе отходов от обогащения и сжигания углей, и разработка технологий их переработки. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. технич. наук, 2015.

127. Щульц Л.А. Энерго-экологический анализ эффективности металлургических процессов: Учебное. пособие.– М.: Изд. дом МИСиС, 2014 – 267 с.

128. Справочник по удельным показателям выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для некоторых производств –основных источников загрязнения атмосферы//НИИ «Атмосфера», СПб.– 2002, с.125

129. Жданов А.В., Жучков В.И., Дашевский В.Я., Леонтьев Л.И. Проблемы образования и утилизации отходов ферросплавного производства // Металлург. 2014. № 12. С.36-41.

130. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries. European IPPC Bureau, Seville, 2017: Электронный ресурс: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/NFM

131. Тугуз Ш.М., Шенфельд Б.Е. и др. Экологические аспекты производства ферросплавов//Сталь, 2008, №7, с. 118-119.

132. Распоряжение МПР России № 22-р от 28.06.2021 Об утверждении перечня методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

133. ГОСТ 33570-2015 Ресурсосбережение. Обращение с отходами Методология идентификации. Зарубежный опыт

134. Правила определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям. Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458.

135. Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии. Утверждены приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665.

136. Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency. European IPPC Bureau, Seville, 2014: Электронный ресурс: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/EnE

137. Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 № 1316-р Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (с изменениями и дополнениями)

138. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (в ред. с изменениями, внесенными федеральным законом №342 от 02.07.2021).

139. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». Электронный ресурс: http://www.mnr.gov.ru

140. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году»: Электронный ресурс: http://www.mnr.gov.ru

141. Справочный документ ЕС по наилучшим доступным технологиям «Экономические аспекты и вопросы и воздействия на различные компоненты окружающей среды»: Электронный ресурс: http://www.mnr.gov.ru/economika

142. Reference Document on Economics and Cross-Media Effects, 2006: Электронный ресурс: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ecm

143. Кауфман А.А., Яшин А.А., Костоусова Т.В. и др. Оценка выбросов из неплотностей арматуры герметизации коксовых печей // Кокс и химия. 1993. №1. С.49.

144. Нечаева О.В., Тутынина Р.М., Зайденберг М.А., Стефаненко В.Т., Воронкова Т.И., Кочкина В.И. Уменьшение пылевыделений при выдаче кокса // Кокс и химия, 1989, №11, С.54-56

145. Лунцов Е. Ф, Моисеенко А. С., Килин С. Ю., Мазанов А. Н. Опыт эксплуатации коллекторной системы сбора и отвода вредных паров из аппаратуры и емкостей смолоперегонного отделения // Кокс и химия, 2011, №12, С.53-55.

146. Стефаненко В.Т., Лысенко Т.В., Новиков Л.М. Циклоны для улавливания коксовой пыли // Кокс и химия, 1985, №5, С.41-42.

147. Стефаненко В.Т. Беспылевая выдача кокса / LAP Lambert Academic Publishing, 2016. – 85 с.

148. Kurunov I., Tuktamyshev Ib., Tuktamyshev Il., Loginov V. Experience of the Shungite Use in the Blast Furnace Process. Reports of the 11th Internatinal Blast Furnace Conference. October 19-21 2004, Ostrava, Czech Republic

149. Курунов И.Ф., Яриков И.С., Ляпин С.С., Емельянов В.Л. Опыт промышленного использования шунгита при выплавке передельного чугуна в мощной доменной печи. Сталь. 2003 №7, с. 9-13.

150. Kurunov I., Loginov V., Lyapin S., Polyakov N. New Technological Solutions for the Lining Protection of the Blast Furnace Hearth. Proceedings of the 4th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking. November 26-30, 2006 Osaka, Japan, pp. 543-546.

151. Курунов И.Ф., Торохов Г.В., Корнев В.К. К вопросу об эффективности вдувания в доменные печи газокислородной смеси// Сталь. - 1996. - №5.

152. Kurunov I.F. et al. Application of the Premix Technology in Blast Furnace. Russian Experience. 61th Ironmaking Conference, Nashville, Tennessee, USA (2002), pp. 297-311.

153. Kurunov I.F., Feshchenco S.A. et al. Synergetic Effect of Natural Gas Preheating Prior to Its Injection into a Blast Furnace. AIST, Pittsburgh, USA, (2008).

154. Kalugin Yakov. High-temperature Shaftless Hot Stoves for Blast Furnaces. 6th ICSTI. Rio-de-Janeiro, Brazil, (2012). pp.2774-2783.

155. Авторское свидетельство РФ № 75223.

156. Авторское свидетельство РФ № 87190.

157. Barishnikov A. M., et all. Stabilizing materials chemistry by implementation of Real time elemental laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) analysis. 6th ICSTI, (2012), pp. 2577-2582.

158. Tikhonov D., et all. Experience in stabilization of sinter chemical composition by means of MAYA on-line analyzer// Metallirg. ,2013, №2, p.40-43.

159. Волков Д. Н., Мамонтов А. Л. и др Опыт применения полимерного связующего в агломерации // Бюллетень «Черная металлургия», 2018, №6.

160. Берсенев И.С., Ершов М.П. и др. Основные направления повышения эффективности производства железорудного агломерата в России // Сталь, 2014, №8.

161. Yadav R.N., Pattajoshi R.N., Hoffmann M. and other. New Sinterplant #2 at Bhushan Power and Steel Limited// METEC. 15-19 June.2015

162. Energy use in Steel industry. IISI, Brussels, 1999

163. Shapovalov A., Dema R., Kalugina O., Kharchenko M., Nefedyev S., Alexander Koldin A., Mihailov E. Agglomeration process productivity increasing by a sinter mix preheating// Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2019, 54, 6.

164. Kronberger T., Schaler M., Schnegger C. Latest Generation Sinter Process Optimization Systems: https://www.intechopen.com/books/sintering-methods-and-products/latest-generation-sinter-process-optimization-systems.

165. A Selection of the most remarkable solutions of PRIMETALS TECHNOLOGIES for the Digitalization of Ironmaking / Primetals Technologies // Metals Magazine, 2018, №1: https://www.primetals.com

166. Bizhanov A., Chizhikova V. Agglomeration in Metallurgy.– Springer, 2020, p. 454 c., ill

167. Сова Ф., Каисер М., Хейн М. Европейское экологическое регулирование и сокращение выбросов коксовых печей и коксохимических заводов // 6-ой Международный конгресс науки и технологий производства чугуна, ICSTI. – Рио-де-Жанейро, 2012, – с. 1395-1405.

168. Бабанин В.И., Зайденберг М.А. Способ и устройство для охлаждения кокса./ Патент РФ 2110552 от 10.05.98.

169. Бабанин Б.И., Бабанин В.И., Пермяков Е.А. и др. Экологическая характеристика совмещенного процесса термической подготовки угольной шихты и тушения кокса. // Кокс и химия, 1985, № 12.

170. Патент США №4285772, опубл. 19.11.81.

171. Ухмылова Г.С. Система беспылевой выдачи и косвенного охлаждения кокса / Экспресс– информация. Черная металлургия. М., 1984. Вып.12. – 7 с.

172. Ухмылова Г.С. Система Кресс для контроля выбросов и обслуживания дверей на коксовой стороне батареи. // Кокс и химия. 1993. №2. с.52-54.

173. Ухмылова Г.С. Эксплуатация системы Кресс на коксохимическом заводе СпорроузПойнт. // Кокс и химия. 1993. №4. с.45-46.

174. Kazumasa Wakimoto A feedstock recycling system of waste plastics in a blast furnace at NKK// 60th Ironmaking conference proceedings, 25-28 March. 2001, p. 473 -483.

175. Buchwalder J. et al. Requirements on residual materials for the injection into blast furnaces// ISSTech 2003 Conference, Indianapolis, USA, April 27 – 30, 2003, p. 825-839.

176. Masaaki Naito Recent progress in practical blast furnace operation in Japan and innovative trials for the future// Proceeding of the 5th European Coke and Ironmaking Congress, Stockholm, Sweden, 2005, p.p. Mo1:2-1-14.

177. Cameron I.A., Sukhram M., Hyde B., Busser J.W., Gorodetsky A. Hot blast superheating – A scalable technology to reduce carbon consumption, EMECR, 2017.

178. Rao L., Rivard F., Carabin P. Thermal Plasma Torches for Metallurgical Applications// 4th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2013.

179. Сосковец О.Н., Шевелев Л.Н., Шатлов В.А. Применение технологии горячих восстановительных газов для повышения энергоэффективности производства чугуна// Сталь, 2014, № 5, 2014, с. 103-107.

180. Разработка технологии и технических решений политопливного газогенератора на базе местных и возобновляемых топливных ресурсов: Электронный ресурс: https://xpir.ru/conference2015/theses

181. Yongfu Zhao, Stephen E. Yaniga C., Jefferson Obert, Mark Lunsford, Tianjun Yang, Zhengkai Gao Burden Distribution Computer Simulation for Fairfield Works No.8 Blast Furnace// Ironmaking Conference Proceedings, 2002, pp. 3-18.

182. Development of Burden Distribution Technology at U.S. Steel Canada's Hamilton Works 'E' Blast Furnace// Iron &Steel Technology, 2011, pp. 52-61

183. Zhengkai Gao, Tianjun Yang, Yong Gao Application of blast furnace visualization and simulation technology// ICSTI, 2012, p. 155.

184. Технология утилизации металлургических шлаковых расплавов «Экошлак-рециклинг»: Электронный ресурс: https://ecoslag.ru.

185. Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М., Ходоровская И.Ю. Энергоэффективные и ресурсосберагающие технологии черной металлургии/ Екатеринбург. – Уральский Федеральный Университет им. Первого Президента России Б.юН. Ельцина. – 2012, с. 676

186. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ (от 29.07.2017 г.).

187. Шевелев Л.Н. Современный уровень выбросов парниковых газов в чёрной металлургии России и перспективные направления их снижения. Доклад на XIV Международном конгрессе сталеплавильщиков и производителей металла, г. Электросталь, 17-20 октября 2016 г.

188. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р).

189. Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов».

190. Протокол совещания у Первого заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А.Р. Белоусова от 25 ноября 2021 г. № АБ-П13-276пр.

191. Iron and Steel Technology Roadmap: Towards More Sustainable Steelmaking, International Energy Agency, – URL: https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap

192. Driving Energy Efficiency in Heavy Industries. Global Energy Efficiency Benchmarking in Cement, Iron & Steel, International Energy Agency, – URL: https://www.iea.org/articles/driving-energy-efficiency-in-heavy-industries.

193. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2019 гг. в 2019 г.

194. ГОСТ Р 113.00.11-2022. Наилучшие доступные технологии. Порядок проведения бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов в отраслях промышленности.

195. Приказ Аналитического центра устойчивого развития промышленности Минпромторга России от 21.02.2022 г. № 106АЦ «О создании экспертных групп по проведению отраслевого бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов».

196. Методические указания и руководство по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации (утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.06.2015 г. № 300).

197. Методические указания по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов (утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.06.2017 г. № 330).

198. МГЭИК 2008, Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 года. Базовое руководство. Подготовлено в рамках Программы по национальным кадастрам парниковых газов. Эглстон Х.С., Мива К., Шривастава Н. и Танабэ К. (ред.). Опубликовано: ИГЭС, Япония.

199. International Standard ISO 14404. Calculation method of carbon dioxide emission intensity from iron and steel production.

200. CO_2 Data Collection, User Guide, version 10, Review 2021, World Stell Associaton, – URL: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/CO2-data-collection-user-guide-version-10.pdf.

201. European Standard EN 19694-2:2016. Stationary source emissions — Determination of greenhouse gas (GHG) emissions in energy-intensive industries. Part 2: Iron and steel industry.

202. Excel tool for European Standard EN 19694-2, Eorofer, – URL: https://www.eurofer.eu/publications/reference-documents/excel-tool-for-european-standard-en-19694-2/.

203. Распоряжение Правительства РФ от 22 октября 2021 г. № 2979-р «Об утверждении перечня парниковых газов, в отношении которых осуществляется государственный учет выбросов парниковых газов и ведение кадастра парниковых газов».

204. ГОСТ 27069-86. Ферросплавы, хром и марганец металлические. Методы определения углерода.

205. Iron and Steel, International Energy Agency, – URL: https://www.iea.org/reports/iron-and-steel