ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
СПРАВОЧНИК
ПО НАИЛУЧШИМ
ДОСТУПНЫМ
ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС
25–
2017

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Москва
Бюро НДТ
2017

Содержание

Введение V
Предисловие VII
Область применения 1
Раздел 1. Общая информация о состоянии и уровне развития технологий добычи и обогащения железных руд 3
Раздел 2. Описание технологических процессов, используемых в настоящее время на предприятиях области применения ИТС 25 18
2.1 Открытая добыча железных руд 18
2.2 Подземная добыча железных руд 34
2.3 Обогащение железных руд 54
2.3.1 Общие сведения 54
2.3.2 Дробление, измельчение, классификация 59
2.3.3 Обогащение 61
2.3.4 Обезвоживание: сгущение и фильтрование 65
2.3.5 Сушка концентрата (аглоруды) 67
2.3.6 Складирование, транспортирование 69
2.3.7 Оборотное водоснабжение, хвостовое хозяйство, сточные воды 69
2.4 Окускование. Производство железорудных окатышей 72
2.4.1 Общие сведения 72
2.4.2 Исходные сырьевые материалы 72
2.4.3 Подготовка шихты 75
2.4.4 Окомкование, классификация 76
2.4.5 Термический упрочняющий обжиг 78
2.4.6 Сортировка, складирование, транспортирование, отгрузка готовых обожженных окатышей 93
2.4.7 Водоподготовка, оборотное водоснабжение 93
2.4.8 Обращение с эмиссиями 94
2.5 Производство железа прямого восстановления 96
2.5.1 Общие сведения 96
2.5.2 Физико-химические процессы, протекающие при металлизации в шахтных печах 100
2.5.3 Требования к исходному сырью 102
2.5.4 Транспортировка исходного сырья, его классификация, покрытие перед восстановлением 103
2.5.5 Описание печей восстановления 104
2.5.6 Генерация восстановительного газа 112
2.5.7 Системы технологического газа 124
2.5.8 Системы рекуперации тепла 129
2.5.9 Способы снижения вторичного окисления прямо восстановленного железа 134
2.5.10 Водоподготовка, оборотное водоснабжение 139
2.5.11 Вспомогательные системы установок металлизации 141

2.6 Генерация электрической и тепловой энергии ... 146
2.6.1 Общие сведения ... 146
2.6.2 Устройство паровой турбины ... 146
2.6.3 Технические характеристики турбогенератора ... 147
Раздел 3. Текущие уровни эмиссии в окружающую среду ... 72
3.1 Открытая добыча железных руд ... 149
3.2 Подземная добыча железных руд ... 156
3.3 Обогащение железных руд ... 159
3.4 Окускование ... 166
3.5 Производство железа прямого восстановления ... 176
3.6 Системы менеджмента ... 179
3.6.1 Системы экологического менеджмента ... 179
3.6.2 Системы энергетического менеджмента и повышение энергоэффективности производства ... 184
Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий ... 149
Раздел 5. Наилучшие доступные технологии, инструменты и практика экологического и энергетического менеджмента ... 192
Раздел 6. Экономические аспекты реализации НДТ ... 205
Раздел 7. Перспективные технологии ... 209
7.1 Перспективные технологии в области добычи железных руд ... 209
7.1.1 Конвейерный транспорт ... 209
7.1.2 Беспилотные автосамосвалы ... 211
7.1.3 Беспилотные тяговые агрегаты ... 211
7.1.4 Автоматизированная система управления буровыми работами и зарядными машинами ... 211
7.1.5 Применение систем высокоточного позиционирования ковша для забойных экскаваторов ... 212
7.1.6 Применение беспилотных летательных аппаратов для производства маркшейдерских работ ... 213
7.1.7 Автоматизация процессов добычных работ в подземных условиях ... 214
7.1.8 Высокопроизводительная проходка горных выработок ... 215
7.1.9 Использование сплавов и износостойких материалов ... 215
7.1.10 Автоматизированный аппаратный контроль состояния ствола, подъемных сосудов, канатов ... 215
7.1.11 Компенсация реактивной мощности ... 216
7.2 Перспективные технологии в области обогащения железных руд ... 217
7.2.1 Обогащение слабомагнитных руд ... 217
7.2.2 Измельчение магнетитовых кварцитов ... 217
7.2.3 Автоматизация технологического процесса обогащения ... 218
7.2.4 Вовлечение в переработку окисленных железистых кварцитов ... 218
7.2.5 Новые технологии складирования хвостов ... 219
7.3 Перспективные технологии в области окомкования ... 219
7.3.1 Совершенствование тепловых схем существующих обжиговых машин ... 219

7.3.2 Совершенствование состава шихты для производства окатышей 220
7.4 Перспективные технологии в области прямого восстановления железа 220
Заключительные положения и рекомендации 220
Приложение А (справочное) Сфера распространения справочника НДТ 222
Приложение Б (обязательное) Перечень маркерных веществ 224
Приложение В (обязательное) Перечень НДТ 225
Приложение Г (обязательное) Перечень технологических показателей 232
Приложение Д (обязательное) Энергоэффективность 233
Библиография 234

Введение

Настоящий информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Добыча и обогащение железных руд» (далее — справочник НДТ) представляет собой документ национальной системы стандартизации, содержащий систематизированные данные в области добычи, обогащения и окускования железных руд, а также прямого восстановления железа, включающий в себя описание технологий, процессов, методов, способов и иные данные. Данный справочник разработан на основе анализа технологических, технических и управленческих решений, применяемых для обеспечения высокой эффективности использования материальных и энергетических ресурсов и экологической результативности в добыче железных руд, при производстве железорудного сырья и железа прямого восстановления.

Краткое содержание справочника

Введение. Представлено краткое содержание справочника НДТ.

Предисловие. Указана цель разработки справочника НДТ, его статус, законодательный контекст, а также взаимосвязь с аналогичными международными документами.

Область применения. Описаны основные виды деятельности, на которые распространяется действие справочника НДТ.

В **разделе 1** представлена информация о состоянии и уровне развития в Российской Федерации технологий добычи и обогащения железных руд. Также в разделе 1 приведен краткий обзор экологических аспектов добычи и обогащения железных руд.

В **разделе 2** даны краткие описания основных технологических процессов и технических решений, применяемых при производстве железорудного концентрата, обожженных окатышей и железа прямого восстановления. Информация систематизирована таким образом, чтобы, с одной стороны, сформировать основу для анализа типичных уровней эмиссий и потребления ресурсов, а с другой — представить спектр подходов, из которых могут быть выделены наилучшие доступные решения для области применения справочника.

В **разделе 3** представлена доступная информация о факторах воздействия процессов добычи, обогащения и окускования железных руд, а также прямого восстановления железа на окружающую среду, представлены сведения о характерных эмиссиях и о потреблении ресурсов, затронуты вопросы воздействия на природные ландшафты.

Раздел 4 посвящен обсуждению порядка идентификации наилучших доступных технологий (технологических, технических и управленческих решений), характерных для области применения справочника НДТ.

В **разделе 5** приведены наилучшие доступные технологии и, где это возможно, технологические показатели, определенные в результате сравнительного анализа экологической результативности и ресурсоэффективности российских предприятий, реализующих процессы добычи, обогащения и окускования железных руд, а также прямого восстановления железа.

В **разделе 6** описаны сведения, характеризующие экономические аспекты деятельности предприятий, имеющие отношение к внедрению наилучших доступных технологий и (или) к достижению показателей экологической результативности и ресурсоэффективности, соответствующих технологическим показателям НДТ.

В **разделе 7** собрана информация о перспективных технологических, технических и управленческих решениях в области добычи, обогащения и окускования железных руд, а также прямого восстановления железа.

Предисловие

Цели, основные принципы и порядок разработки справочника НДТ установлены постановлением 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».

1 Статус документа

Настоящий справочник НДТ является документом по стандартизации.

2 Информация о разработчиках

Справочник НДТ разработан технической рабочей группой «Добыча и обогащение железных руд» (ТРГ 25), созданной приказом Росстандарта от 30 декабря 2016 г. № 2061.

Перечень организаций, принимавших участие в разработке справочника, приведен в разделе «Заключительные положения и рекомендации».

Настоящий справочник НДТ представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (далее — Бюро НДТ) (www.burondt.ru).

3 Краткая характеристика

Справочник НДТ содержит описание применяемых при добыче железных руд, при производстве железорудного концентрата, обожженных окатышей и железа прямого восстановления технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, позволяющих, прежде всего, снизить негативное воздействие на окружающую среду, водопотребление, повысить энергетическую эффективность, ресурсосбережение. Среди описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов определены решения, являющиеся наилучшими доступными технологиями (НДТ). Для ключевых НДТ в настоящем справочнике НДТ установлены соответствующие им технологические показатели.

4 Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Справочник НДТ разработан в результате проведения сравнительного анализа технологических процессов, технических решений, управленческих (организационных) подходов, применяемых российскими предприятиями при добыче железных руд, при производстве железорудного концентрата, обожженных окатышей и железа прямого восстановления, для достижения высокой экологической результативности и эффективности использования природных ресурсов. При разработке справочника НДТ приняты во внимание подходы и информация о наилучших практиках в соответствующих областях применения, систематизированные такими организациями, как Австралийский экологический фонд производителей минеральных и энергетических ресурсов (Australian Minerals and Energy Environment Foundation), Железнорудная компания Канады (Iron Ore Company of Canada), Министерство предпринимательства, энергии и коммуникаций Швеции (Swedish Ministry of Enterprise, Energy and Communications), Департамент природных ресурсов Южно-Африканской Республики (Department of Mineral resources, Republic of South Africa). В частности, использованы материалы аналитического издания «Экологический менеджмент в области добычи минеральных и энерге-

тических ресурсов в Австралии. Принципы и практика» (Environmental Management in the Australian Minerals and Energy Industries: Principles and Practices, 1996).

5 Сбор данных

Информация о технологических процессах, оборудовании, технических способах, методах, применяемых при добыче и обогащении железных руд, при производстве железорудного сырья в Российской Федерации, была собрана в процессе разработки справочника НДТ в соответствии с Порядком сбора данных, необходимых для разработки информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям и анализа приоритетных проблем отрасли, утвержденным приказом Росстандарта от 23 июля 2015 г. № 863.

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р, приведена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник НДТ утвержден приказом Росстандарта от 15.12.2017 № 2845.

Справочник НДТ введен в действие с 1 июля, официально опубликован в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru).

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Добыча и обогащение железных руд

Iron ore mining and concentration

Дата введения — 2018–07–01

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 продукции по видам экономической деятельности (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):

- добыча и обогащение железных руд, включая:
  - открытую добычу железных руд;
  - подземную добычу железных руд;
  - обогащение железных руд;
- окускование, производство железорудных окатышей;
- производство железа прямого восстановления;
- дополнительные виды деятельности с целью подготовки железорудного сырья: дробление, измельчение, классификация, фильтрование, сушка и сортировка железных руд, окомкование.

Справочник НДТ также распространяется на процессы, связанные с основными видами деятельности, которые могут оказать влияние на объемы эмиссий и (или) масштабы загрязнения окружающей среды:

- процессы, использующие методы предотвращения и сокращения эмиссий загрязняющих веществ и парниковых газов, утилизации отходов;
- хранение и транспортировка железорудного сырья.

Справочник НДТ не распространяется на:

- производство черных металлов;
- 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 справочника НДТ.

Дополнительные виды деятельности и соответствующие им справочники НДТ приведены в таблице О.1.

Таблица О.1 — Дополнительные виды деятельности и соответствующие им справочники НДТ

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Добыча полезных ископаемых	ИТС 16—2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы»
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—2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов»
Хранение и обработка материалов	ИТС 46—2017 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)»
Обращение с отходами	ИТС 9—2015 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)» ИТС 15—2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)» ИТС 17—2016 «Размещение отходов производства и потребления»
Производство чугуна, стали и ферросплавов	ИТС 26—2017 «Производство чугуна, стали и ферросплавов»
Производство изделий дальнейшего передела черных металлов	ИТС 27—2017 «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»

Раздел 1. Общая информация о состоянии и уровне развития технологий добычи и обогащения железных руд

Россия занимает второе место в мире по запасам железной руды, уступая только Бразилии. Запасы категорий А +В + C_1 + C_2, учтенные «Государственным балансом полезных ископаемых. Железные руды» по состоянию на 01.01.2016 достигают 110 млрд т, ресурсы наиболее достоверной категории P_1 оцениваются в 95,4 млрд т. При этом качество железорудного сырья в России заметно ниже, чем в других странах, обладающих значительными запасами этого сырья (например, Бразилии, Австралии и Индии).

Распределение запасов железных руд и их прогнозных ресурсов категории P_1 по основным субъектам РФ представлено на рисунке 1.1.

Рисунок 1.1 — Распределение запасов железных руд и их прогнозных ресурсов категории P_1 по основным субъектам РФ, млрд т

Основу российской железорудной базы составляют железистые кварциты (более 52 % запасов категорий А + В + C_1 от запасов железных руд Российской Федерации), руды со средним содержанием железа общего около 34 % и требующие обогащения. Запасы месторождений богатых гематит-сидерит-мартитовых руд Курской магнитной аномалии (КМА) составляют около 30 млрд т (категории А + В + C_1 + C_2), но из-за сложных условий залегания только шестая их часть может быть вовлечена в разработку.

Руды титаномагнетитового промышленного типа занимают второе место в российской сырьевой базе железных руд (более 15 % запасов кат. А + В + C_1 страны). Руды преимущественно бедные — среднее содержание железа общего около 17 %. По масштабу запасов титаномагнетитовых руд Уральская железорудная провинция не имеет аналогов в мире.

Руды магнетитового промышленного типа составляют около 14 % запасов кат. А + В + C_1 России (8,4 млрд т). Руды их, как правило, легкообогатимы и отличаются сравнительно высоким содержанием железа общего (среднее содержание 33,1 %). Большая часть запасов месторождений магнетитовых руд скарнового типа разведана в Сибирском федеральном округе в Горной Шории, Кузнецком Алатау и Горном Алтае. На территории округа запасы кат. А + В + C_1 составляют 12,6 % общих запасов, добыча — 4,4 % от добычи по России.

Руды остальных промышленных типов занимают значительно меньшую долю в сырьевой базе железных руд России. С учетом прироста в результате геологоразведочных работ, добычи и потерь при добыче запасы железных руд категорий А + В + C_1 в 2014 г. выросли относительно предыдущего года на 908 млн т, или на 1,5 %; динамика запасов категории C_2 показала более существенный рост — на 2,5 млрд т, или на 5,3 %.

Россия занимает пятое место в мире по добыче железорудного сырья. Добыча сырых железных руд в 2016 г. составила 298,1 млн т, что на 0,1 % больше, чем в 2015 г.

По запасам и добыче в России основным регионом является Центральный федеральный округ, на долю которого приходится 57,7 % всех запасов категорий А + В + C_1 и 54,9 % добычи.

Основные месторождения железных руд и их добыча в субъектах РФ представлены на рисунке 1.2.

Рисунок 1.2 — Основные месторождения железных руд и распределение их добычи по субъектам РФ, млн т

Четыре холдинга контролируют около 80 % российского производства железорудного сырья и более 60 % лицензированных запасов железных руд. ООО УК «Металлоинвест» занимает ведущие позиции в железорудной отрасли России и СНГ. Холдинги «ЕвразГруп С. А.», ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь» по производственным мощностям более чем вдвое уступают лидеру отрасли.

Характеристика основных месторождений железных руд и перечень эксплуатирующих их предприятий представлены в таблице 1.1, [7], [8], [9].

Таблица 1.1 — Основные месторождения железных руд и перечень эксплуатирующих их предприятий

Месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы руды, млн т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание Fe в рудах, %	Добыча руды в 2016 г., млн т
		A + B + C_1	C_2			
ПАО «Михайловский ГОК»						
Михайловское * (Курская область)	Гематит-магнетитовый в железистых кварцитах	8052	4764	11,7	39,5	51,0
АО «Лебединский ГОК»						
Стойло-Лебединское (Белгородская область)	Магнетитовый в железистых кварцитах	2199	109	2,1	35	51,2
Лебединское * (Белгородская область)		3613	1789	4,9	34,6	
АО «Карельский окатыш»						
Костомукшское, Корпангское (Республика Карелия)	Магнетитовый в железистых кварцитах	926,7	86,8	0,7	32,1	35,1
АО «Ковдорский ГОК»						
Ковдорское * (Мурманская область)	Бадделеит-апатит-магнетитовый	743,5	730	1,3	25,1	19,3
АО «Евразруда»						
Шерегешевское (Кемеровская область)	Магнетитовый в скарнах	140,2	14,5	0,1	36	4,6
Таштагольское * (Кемеровская область)		410,3	296,4	0,6	45,5	2,1
Казское (Кемеровская область)		36,1	11,2	0,03	43,3	1,3
ПАО «Коршуновский ГОК»						
Рудногорское * (Иркутская область)	Магнетитовый в скарнах	205	37	0,2	32	8,2
ОАО «Стойленский ГОК»						

Продолжение таблицы 1.1

Месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы руды, млн т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание Fe в рудах, %	Добыча руды в 2016 г., млн т
		A + B + C_1	C_2			
Стойленское * (Белгородская область)	Гематит-магнетитовый в железистых кварцитах	6506	4645	10,2	35	33,9
ОАО «Комбинат КМАруда»						
Коробковское (Белгородская область)	Магнетитовый в железистых кварцитах	2942	673	3,3	33,2	5,0
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»						
Приоскольское (Белгородская область)	Магнетитовый в железистых кварцитах	1560	678	2	37,1	0 **
ООО «Металл-Групп»						
Яковлевское * (Белгородская область)	Гематит-сидерит-мартитовый	1861	7740	8,8	60,5	0,4
АО «Качканарский ГОК «Ванадий»						
Гусевогорское (Свердловская область)	Ванадиево-титаномагнетитовый	2427	2410	4,4	16,6	59,2
Собственно-Качканарское (Свердловская область)		3603	3270	6,3	16,6	0
ООО «ЛЕКС ЭЛЕКТА»						
Суроямское (Челябинская область)	Ванадиево-титаномагнетитовый	1791	1918	3,4	14,3	0
ОАО ГМП «Забайкалстальинвест»						
Чинейское (Забайкальский край)	Титаномагнетитовый	464,1	472,4	0,8	33,5	0
ООО «Энерготехмаш XXI в.»						
Гостищевское * (Белгородская область)	Гематит-сидерит-мартитовый	2596	7559	9,3	61,6	0
ЗАО «ГМК "Тимир"»						
Десовское (Республика Саха, Якутия)	Магнетитовый в железистых кварцитах	430,2	134,8	0,7	27,9	0

Окончание таблицы 1.1

Месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы руды, млн т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание Fe в рудах, %	Добыча руды в 2016 г., млн т
		A + B + C_1	C_2			
Таежное (Республика Саха, Якутия)		798,2	590,4	1,4	38,3	0
Тарыннахское (Республика Саха, Якутия)		1093	211,5	1,2	28,3	0
Горкитское (Республика Саха (Якутия))		971	942,4	1,7	28,3	0
ООО «Гаринский горно-металлургический комбинат»						
Гаринское (Амурская область)	Магнетитовый в скарнах	211,4	177,3	0,4	41,7	0
ООО «Кимкано-Сутарский ГОК»						
Кимканское (Еврейская АО)	Магнетитовый в железистых кварцитах	184,5	32,3	0,2	35,6	3
Сутарское (Еврейская АО)		289,5	201,7	0,5	32,6	0
Нераспределенный фонд						
Висловское (Белгородская область)	Гематит-сидерит-мартитовый	1453	2500	3,6	60,7	

* Часть запасов находится в нераспределенном фонде.

** «0» в последнем столбце означает, что в 2016 г. добыча на данном месторождении не велась по различным причинам.

*** Объемы добычи с учетом окисленных кварцитов (в настоящее время не перерабатываемых).

Основная добыча месторождений железной руды ведется открытыми способами разработки — карьерами. Карьеры железной руды характеризуются значительными размерами и производительностями, позволяющими иметь относительно невысокую себестоимость руды с учетом снижения рыночных цен. Развитие открытых горных работ идет по пути наращивания производственной мощности, перехода от железнодорожного транспорта на конвейерный, увеличения габаритных размеров горнотранспортного оборудования. Самые крупные карьеры расположены в районе КМА: Лебединский ГОК, Стойленский ГОК, Михайловский ГОК. Суммарный объем добычи этих карьеров за 2016 г. составляет 135,9 млн т железной руды, что составляет 45,6 % от всего объема добычи руды в России за 2016 г. Лидером по производству железной руды в 2016 г. является Качканарский ГОК, расположенный в городе Качканар Свердловской области, суммарный объем добычи с 4 карьеров составил 59 млн т руды. Предприятия, входящие в группу «Северсталь» Оленегорский и Костомукшский ГОКи добыли в 2016 г. суммарно 49 млн т железной руды. В целом на открытые горные работы в России приходится более 87 % от всей добычи железной руды [9].

В настоящее время доля подземного способа добычи железных руд в РФ постоянно снижается, так как не вызывает достаточного инвестиционного интереса, поскольку ее себестоимость, за редким исключением, в 2–4 раза превышает себестоимость руды, добытой открытым способом. При этом имеющаяся в стране сырьевая база железных руд весьма обширна для того, чтобы наращивать текущий уровень добычи. В России подземная добыча сосредоточена в основном на семи железорудных предприятиях (объединениях), эксплуатирующих одиннадцать рудников. Подземные предприятия по добыче железной руды расположены: в Центральном регионе ОАО «Комбинат КМАруда» (добывает 20 % от общего объема подземной добычи), ООО «Металл-групп Яковлевский рудник»; ОАО «Олкон» в Мурманской области на Оленегорском месторождении с 2005 г. производит подземную отработку запасов; на Урале ООО «Бакальское РУ», ОАО «Высокогорский ГОК» в составе НПРО «Урал», ОАО «Богословское» РУ (обеспечивает 30 % добычи); в Западной Сибири ОАО «ЕвразРуда», включающее Таштагольский, Горно-Шорский и Казский филиалы и ООО «Руда Хакасии» Абаканский рудник, на долю которых приходится 41 % подземной добычи. При этом предприятия Западной Сибири и Урала добывают в основном магнетитовые руды с примесью гематита и сидериты с содержанием железа в недрах от 27 % до 49 % в Западной Сибири и от 32 % до 46 % на Урале. ОАО «Комбинат КМАруда» разрабатывает месторождение железистых кварцитов с содержанием железа 32 % — 34 %, Яковлевский рудник добывает природнобогатые железные руды. По геологическим условиям месторождения железных руд относятся в основном ко второй группе сложности. Таштагольское и Шерегешское месторождения в Горной Шории отнесены к удароопасным, а Абаканское, Естюнинское, Высокогорское, Песчанское, Гороблагодатское и Казское месторождения — к склонным к горным ударам. Железорудные месторождения России по сравнению с зарубежными характеризуются более низким качеством руд, значительной глубиной отработки и сложными горно-геологическими условиями их разработки. Отработка их на предприятиях производится системами: этажно-камерными, этажного принудительного обрушения с отбойкой руды на компенсационные камеры и зажимающую среду, подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды с применением самоходного оборудования, этажного камерного обрушения с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Яковлевский рудник отрабатывает богатейшее месторождение Курской Магнитной Аномалии с применением системы отработки нисходящими слоями с твердеющей закладкой [9].

Что касается мирового рынка, то он характеризуется высокой степенью консолидации. Четыре ведущие компании (Vale, BHP Billiton, Rio Tinto и FMG) контролируют более 70 % мировой торговли железной рудой. Ведущими странами-производителями товарной железной руды являются Австралия, Бразилия, Китай, Индия и Россия, которые вместе производят более 75 % железной руды. В 2015–2016 гг. в различных регионах наблюдалась разнонаправленная динамика объемов производства железной руды, которая была связана с низкими ценами на концентраты. Мировое производство железной руды представлено в таблице 1.2 [10].

Таблица 1.2 — Производство концентратов железной руды ведущими странами мира, млн т

Наименование	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Уд. вес по 2016 г., %
Австралия	404	449	496	581	641	759	809	41,1 %
Бразилия	349	373	372	366	401	383	380	19,3 %
Китай	310	340	355	377	317	246	161	8,2 %
Индия	192	164	133	126	157	116	159	8,1 %
Россия	89	94	97	98	105	95	95	4,8 %
Прочие	367	397	410	456	489	403	363	18,5 %
Всего	**1711**	**1817**	**1863**	**2004**	**2110**	**2002**	**1967**	**100 %**

В 2016 г. продолжалось понижение цен на железную руду; минимальных значений цены достигали в начале года — до 39,51 долл./т, что существенно ниже аналогичного показателя 2015 г. — 61,75 долл./т. В течение 2016 г. наблюдался небольшой рост цен. Мировая динамика цен на железную руду в 2012–2016 гг. (62 % Fe) представлена на рисунке 1.3 [11].

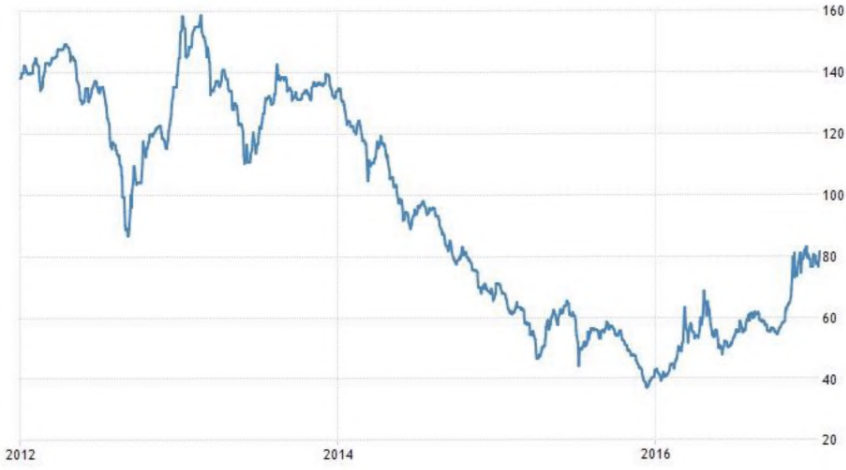


Рисунок 1.3 — Динамика цен на железную руду в 2012–2016 гг. (62 % Fe), долл./т *

Снижение цен на железную руду прежде всего связано с ситуацией в экономике Китая как крупнейшего в мире производителя стали, на долю которого приходится 2/3 мирового импорта железной руды. Два фактора: значительный дополнительный объем предложения железорудного сырья (ЖРС) из Австралии в связи с ростом добычи компаниями Rio Tinto, BHP Billiton и FMG и замедление темпов роста экономики Китая — оказывают наиболее существенное давление на цены.

Дополнительное давление на цены ЖРС оказало установленное в 2014 г. для китайских производителей стали ограничение на доступ к кредитным ресурсам, что привело к увеличению запасов руды в портах. Долгосрочные тренды развития рынка ЖРС формируются под влиянием различных факторов. С одной стороны, качество руды на мировом рынке постепенно снижается. Ухудшение качества входящего сырья приводит к увеличению себестоимости выпуска стали и повышению объема вредных выбросов металлургии. Вместе с тем нарастающей тенденцией в мире является ужесточение экологической политики. В частности, Китай, по-прежнему являющийся локомотивом мирового спроса на ЖРС, по примеру развитых стран (США, страны Европы) взял курс на ужесточение экологических требований, предполагающих снижение вредного воздействия металлургических производств на окружающую среду, в том числе посредством улучшения качества потребляемого ЖРС.

Рост экологических требований к мировой черной металлургии и снижение качества железных руд создают предпосылки к росту маржинальности сырья с высоким содержанием Fe. Уточним терминологию.

Железорудное сырье — вид металлургического сырья, которое используется в черной металлургии для производства чугуна и металлизированного продукта (DRI и HBI), а также в незначительном количестве в выплавке стали. Железорудное сырье подразделяется на два вида — подготовленное (агломерированное) и неподготовленное (неагломерированное) сырье.

Подготовленное ЖРС — это сырье, готовое для использования в доменных печах для производства чугуна.

Неподготовленное ЖРС является сырьем для производства агломерированного сырья. Неподготовленное ЖРС — это концентрат, доменная и аглоруда. Концентрат производится в основном в результате магнитной сепарации измельченной железной руды с низким содержанием железа. Извлечение железа в концентрат составляет в среднем около 80 %, содержание железа в концентрате 60 % — 65 %.

Железорудное сырье для доменного процесса подвергается агломерации и окускованию. Агломерат получают из аглоруды и концентрата, а для производства окатышей применяются только концентраты.

К подготовленному железорудному сырью относят агломерат и железорудные окисленные окатыши.

Агломерат — окускованный рудный концентрат, полученный в процессе агломерации. Спекшаяся в куски мелкая (часто пылевидная) руда размерами 5–100 мм с незначительным содержанием мелочи.

Окатыши производятся из железорудного концентрата с добавлением связующих и флюсующих добавок в результате окомкования смеси (гранулы диаметром 5–18 мм) и последующего упрочняющего обжига.

Железо прямого восстановления является железорудным сырьем для сталеплавильных печей в электрометаллургии. Концепция загрузки электродуговых печей (ЭДП) продукцией DRI-HBI дает возможность использовать более высокую энергию плавки при увеличении производительности печи. Однако его можно также загружать в мартеновские и конвертерные печи (вместо металлолома). Доменный процесс в таком производстве полностью исключен. Поэтому сырье DRI-HBI позволяет снизить негативное влияние металлургического производства на окружающую среду, в том числе за счет уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [12], [13].

Динамика производства железорудного сырья в России представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.3 — Статистика производства железорудного сырья, тыс. т

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Концентрат железорудный	91956,9	95272,0	103607,3	104010,0	102156,5	102018,5	101926,8	103525,8
Окатыши	33455,0	37378,4	38419,7	38999,7	39410,9	39684,5	40972,3	42823,7
Агломерат железорудный	52916,6	56984,4	57802,1	58783,0	58762,4	59271,7	60392,0	59350,0
Окатыши металлизованные	2438,4	2431,8	2732,7	2765,8	2730,0	2866,3	2833,6	3035,1
ГБЖ	2164,8	2271,0	2418,4	2408,1	2578,9	2408,5	2601,9	2663,0
Итого ПВЖ	4603,2	4702,8	5151,1	5173,9	5308,9	5274,8	5435,5	5698,1

Анализ статистических данных показывает, что 2009 г. был кризисным для черной металлургии. Однако за последние семь лет наблюдается стабильный рост производства практически всех видов железорудного сырья. По итогам 2016 г. этот прирост обусловлен в первую очередь реализацией мероприятий реконструкции и модернизации действующего производства. Основные усилия производителей направлены на повышение качественных характеристик ЖРС, и прежде всего, содержание железа.

С 2010 г. активизировалась реализация различных инвестиционных проектов. Так, компания «Металлоинвест» в регионе КМА на Михайловском и Лебединском ГОКах реализует программу модернизации горнотранспортного комплекса с целью увеличения объемов перевозок в карьерах техникой повышенной производительности, а также претворяет в жизнь стратегию увеличения доли продукции с высокой добавленной стоимостью, возводя на Лебединском ГОКе крупнейший в мире модуль по производству ГБЖ (цех ГБЖ № 3 мощностью 1,8 млн т/г). Запуск установки состоялся в апреле 2017 г.

На Михайловском ГОКе в 2015 г. завершены строительство и выход на проектную мощность обжиговой машины ОМ-3, что позволило комбинату за счет увеличения производства окатышей стать самым крупным их производителем в СНГ и четвертым в мире.

Группа НЛМК, реализуя «Стратегию 2017» расширяет мощности Стойленского ГОКа на 12 млн т/г руды — до 42 млн т/г руды (19,5 млн т концентрата), в 2016 г. завершено строительство фабрики окомкования мощностью 6 млн т/г окатышей. Фабрика имеет потенциал увеличения объемов производства окатышей до 7,2 млн т/г.

ОАО «Комбинат КМАруда», являющийся флагманом в области отечественной подземной разработки железных руд, совместно с УК «Промышленно-металлургический холдинг» реализуют стратегическую задачу на шахте им. Губкина — вскрытие тремя новыми вертикальными стволами и освоение запасов нового эксплуатационного этажа проектной производительностью 7 млн т/г сырой руды. Выход на

проектную производительность намечен к 2023 г., срок отработки запасов этажа с проектной производительностью — 50 лет.

На северо-западе страны образчиком диверсификации производства (вызванной и природными условиями, и технологическими возможностями) является Ковдорский ГОК компании «ЕвроХим». Выпуская железорудный концентрат в объемах 5,7 млн т/год, Ковдорский ГОК является еще и вторым по величине производителем апатитового концентрата в России (более 2,7 млн т/г), а также единственным в мире производителем бадделеитового концентрата (более 8,8 тыс. т/г). Дальнейшее развитие ГОКа связывается с увеличением в ближайшее десятилетие объемов добычи руд из основного карьера с 18–19 до 22 млн т/г и ростом производства и железорудного (до 7,6 млн т), и апатитового (до 4 млн т) концентратов.

Компания «Северсталь» на комбинате «Карельский окатыш» реализует направленный на повышение эффективности производства в рамках всей холдинговой структуры проект, предусматривающий раздельную переработку легко- и труднообогатимых руд и выпуск окатышей повышенного качества (с 63,2 % до 64,3 % Fe и далее — до 66 %) для нужд Череповецкого металлургического комбината.

В Уральском регионе корпорация ЕВРАЗ Групп с целью увеличения на 20 % мощностей Северного карьера Качканарского ГОКа по добыче железных руд при эксплуатации действующего Гусевогорского месторождения (до 30 млн т/г) предприняла реконструкцию транспортной схемы, проект перевода на комбинированную (автомобильно-железнодорожную) схему должен быть реализован к 2018 г.

Рост и совершенствование производственных мощностей сталеплавильного производства предопределяет, что будет расти спрос на материал с высоким (>90 %) содержанием железа, полученный по технологии, отличной от доменного передела, которую называют прямым восстановлением железа (ПВЖ) или металлизацией. Это в первую очередь связано с ужесточением экологических требований — как в России, так и за рубежом.

ООО УК «Металлоинвест» является единственным в России производителем металлизированных окатышей и ГБЖ. Общие мощности ООО УК «Металлоинвест» по производству ГБЖ/ПВЖ с учетом модернизации ЦГБЖ-2 и строительства ЦГБЖ-3 составят 7,2 млн т в год.

Важным условием развития производства ГБЖ является наличие высококачественного железорудного сырья и доступность больших объемов природного газа. Дефицит этих ресурсов препятствует росту производства ГБЖ во многих регионах мира.

Высокие потребительские качества ГБЖ способствуют продвижению этой продукции на мировом рынке. По оценкам Midrex, авторитетного источника статистики по рынкам металлизованного сырья, прирост мощностей по производству ГБЖ/ПВЖ в ближайшее десятилетие составит не менее 5 млн т в год, а объем производства к 2030 г. вырастет до 200 млн т.

Мировое производство горячебрикетированного железа представлено в таблице 1.4 [12], [13].

Таблица 1.4 — Мировое производство ГБЖ, млн т *

Наименование	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Мировое производство ГБЖ	51,82	55,41	55,55	58,85	59,16	57,39	59,8

ГБЖ — важный компонент при производстве высококачественных марок стали, способствующий снижению себестоимости продукции металлургического производства. ГБЖ является продукцией с высокой добавленной стоимостью, что обусловлено энергоэффективностью и экологичностью процесса производства ГБЖ, низким содержанием вредных примесей, стабильностью химического состава (по качеству превосходящего металлолом), а также высокой насыпной массой и отсутствием сезонности поставок.

В целом можно сделать вывод, что спрос на железную руду как в России, так и в мире будет расти. Это связано с мировым ростом населения, освоением новых территорий, с заменой изношенных основных фондов.

Наиболее быстрые темпы роста численности населения ожидаются в Африке. Из 2,4 млрд прироста мирового населения к 2050 г. 1,3 млрд придется на Африку, 0,9 млрд — на Азию. Наиболее высокие темпы роста наблюдаются в странах, находящихся на стадиях, предшествующих бурному экономическому росту. Существенное влияние на изменение географии спроса окажут растущие страны, имеющие достаточно высокие доходы для осуществления модернизации: Индия, Иран, Нигерия. В ближайшие годы рост численности населения в этих регионах будет сопровождаться масштабной индустриализацией и интенсификацией потребления металлов, тем самым создавая новый рынок сбыта черных и цветных металлов. Модернизация экономики, происходящая в названных странах, будет оказывать существенное позитивное влияние на темпы роста глобальных рынков металлов. Индия в меньших масштабах чем Китай вполне может повторить рост спроса на продукцию металлургии по мере вхождения в активную фазу индустриализации и урбанизации. При этом доля крупнейших потребителей металлов (ЕС, США, Китай) будет уменьшаться на фоне роста спроса в новых регионах.

Нынешнее снижение мировых цен на железную руду не влияет на уровень добычи железорудных кварцитов в РФ. Это связано как с резким ростом курса иностранных валют по отношению к рублю в последние годы, так и с российским регулированием квот и тарифов на ввоз государством заменяющего сырья, т. е. импорт стали из Китая в ближайшие годы не предусматривается. В частности, такой подход был применен в 2015 г. в США, когда тариф на импорт стали из Китая составил более 200 %, что привело к резкому снижению поставок железной руды из Китая.

Но мировое снижение цен, пусть даже в посткризисный период, может отрицательно сказаться на внутреннем рынке РФ. В связи с этим уже сейчас рассматриваются государственные программы (оборонзаказ, дорожное строительство, жилищное строительство, машиностроение) по росту металлопотребления на внутреннем рынке. На основании данных Rusmet и РБК объем необходимых ресурсов для старта программ — от 1 трлн руб.

Основными потребителями продукции металлургической промышленности являются следующие отрасли: жилищное и инфраструктурное строительство, транспорт-

ное машиностроение, производство машин и оборудования, химическая промышленность, оборонно-промышленный комплекс, производство посуды, бытовой техники и медицинских изделий. Прогнозируемый среднегодовой темп прироста строительства до 2030 г. составляет 1,6 %. Он будет обеспечен за счет выполнения планов по переселению граждан из аварийных и подлежащих сносу домов, реализации программы «Жилье для российской семьи» государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации». Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. предусматривает развитие транспортных систем крупных городских агломераций, обеспечение транспортной доступности Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока. В 2015 г. в новую редакцию схемы трубопроводного транспорта страны были внесены газопроводы «Турецкий поток», «Сила Сибири», «Алтай», «Краснодарский край — Крым», а также предусмотрена возможность реконструкции более 2 тыс. существующих объектов. Прогнозируемый среднегодовой темп прироста транспортного машиностроения до 2030 г. составляет 8 %. Он базируется на реализации подпрограммы «Развитие транспортного и специального машиностроения» государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Прогнозируемый среднегодовой темп прироста производства продукции авиастроительной отрасли до 2030 г. составляет 2,0 %. Данный прогноз базируется на прогнозируемом обновлении российского авиационного парка в рамках реализации государственной программы «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 гг.». Прогнозируемый среднегодовой темп прироста производства продукции тяжелого машиностроения к 2030 г. составит 7,1 %. Прогнозируемый среднегодовой темп прироста производства электрооборудования до 2030 г. составляет 4,7 %. Данный прогноз базируется на прогнозируемом росте спроса со стороны промышленности, обновлении мощностей и реализации планов по строительству атомных электростанций на основе Энергетической стратегии России на период до 2030 г. и государственной программы Российской Федерации «Развитие атомного энергопромышленного комплекса».

Мероприятия по развитию спроса на продукцию отраслей металлургии. Немаловажным фактором является разработка и реализация мероприятий по развитию спроса на продукцию металлургических отраслей, принимаемых на уровне Правительства Российской Федерации и реализуемых федеральными органами исполнительной власти совместно с представителями бизнес-сообщества.

Ярким примером является принятие и реализация Плана мероприятий по стимулированию спроса на продукцию высоких переделов из алюминия на 2016–2017 гг., утвержденного Председателем Правительства Российской Федерации Д. А. Медведевым от 28 ноября 2016 г. № 9311 п-П9, который предполагает утверждение инициатив по тарифным и нетарифным методам регулирования внешнеэкономической деятельности, разработку предложений по мерам, направленным на увеличение потребления алюминия в различных сферах деятельности, совершенствование документов по стандартизации и поддержку отечественных производителей продукции из алюминия.

Оценка суммарного прироста общего потребления алюминия и алюминиевых продуктов в результате выполнения утвержденного Плана мероприятий составит не менее 505 тыс. т к 2020 г.

Также имеют действие государственные программы стимулирования спроса за счет стимулирования обновления устаревшего парка и создания мотивации у владель-

цев сдавать старую технику (вагоностроение, судостроение, автопром, сельскохозяйственное машиностроение). Объем необходимых ресурсов для старта программ — от 500 млрд руб. (на основании данных Rusmet и РБК) [14].

Официальные сведения о воздействии предприятий области применения ИТС 25 на окружающую среду

Воздействие на окружающую среду отдельных отраслей экономической деятельности получает отражение в Государственных докладах «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации», ежегодно публикуемых Министерством природных ресурсов и экологии РФ (http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101, далее — Госдоклады). Переход к описанию вклада различных источников в загрязнение ОС на основе ОКВЭД сказался на подходах к анализу и систематизации информации. Факторы воздействия на ОС процессов добычи и обогащения железных руд получают отражение преимущественно в разделах, посвященных описанию проблем выбросов загрязняющих веществ, водопользования и обращения с отходами; специальной главы по добыче железной руды в Госдокладах нет [15], [16]. Тем не менее рассмотреть сведения, публикуемые в докладах федерального и регионального уровней, имеет смысл, так как именно эти документы составляют основу разнообразных суждений о вкладе того или иного вида экономической деятельности в загрязнение окружающей среды и отношения к экологической деятельности предприятий как на уровне обыденного сознания, так и (нередко) в кругах лиц, принимающих решения. Это обстоятельство следует учитывать при анализе приоритетных факторов воздействия и выявлении наилучших доступных технологий.

В Госдокладе за 2015 г. указано, что наибольшие объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в 2015 г. приходились на такие виды экономической деятельности как обрабатывающие производства (34,5 %) и добыча полезных ископаемых (27,5 %). Детализации сведений нет, однако анализ обсуждаемого раздела Госдоклада (таблица 5) позволят сделать заключение, что более 90 % выбросов (от выбросов ВЭД в целом) приходится на долю добычи топливно-энергетических ресурсов [15, с. 197].

Относительно полезными можно считать также сведения о значительном вкладе добычи полезных ископаемых в общий водозабор и его возрастании (4,0 млрд $м^3$ в 2014 г. и 4,4 млрд $м^3$ в 2015 г.). Считается, что водопользователи, осуществляющие добычу полезных ископаемых, имеют относительно небольшой объем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения: 8,4 млрд $м^3$ в 2014 г. и 8,7 млрд $м^3$ в 2015 г., что составляет примерно 6 % от общей суммы по всем видам экономической деятельности в каждом году [15, с. 196]. В этом же разделе упомянуто последовательное сокращение сбросов сточных вод (приведены в единицах объемов ежегодно сбрасываемых вод по добыче полезных ископаемых в целом, ежегодное снижение может достигать 5,5 % — 5,8 % [15, с. 196].

В Госдокладе отмечено также, что наибольшая доля образования отходов производства и потребления приходится на вид деятельности «добыча полезных ископаемых», т. е. на отходы, возникающие при извлечении из недр полезных ископаемых в виде вскрышных и/или вмещающих пород и др. [15, с. 198]. За последние годы эта доля варьировала в пределах 89 % — 92 % от общего количества образовавшихся отходов. Внимания заслуживает также утверждение о том, что при добыче полезных ископаемых возникают неопасные отходы, относящиеся к V классу опасности (около 95 %

от всей массы данного класса отходов в стране). Вместе с тем указано, что прежде всего отходы образуются при добыче топливно-энергетических ресурсов (при извлечении из недр и обогащении каменного и бурого угля).

Для вида деятельности «добыча полезных ископаемых» характерны самые высокие масштабы переработки отходов: на эту отрасль приходится свыше 90 % всего объема использованных и обезвреженных отходов. В их составе основную долю занимают вскрышные и вмещающие породы, а также отходы обогащения (включая песок, глины, скальные породы, шламы и т. д.) [15, с. 232].

Вопросы рационального использования ресурсов рассматриваются в разделе «Основные экологические проблемы минерально-сырьевого комплекса» [15, с. 91–102]. Отмечено, что процент извлечения основных полезных компонентов из минерального сырья при добыче для железа составлял в 1991–2007 гг. 73,5 % — 74,8 % по Fe общ; более свежие данные не приводятся. Отмечено, что весьма велики потери попутно добываемого минерального сырья — вскрышных пород. В качестве примера приведены сведения о карьерах Курской магнитной аномалии, где ежегодно извлекаются из недр десятки миллионов тонн вскрышных пород, содержащих сланцы, кварциты, пески, глины, суглинки, мел и др., которые могли бы найти применение в производстве строительных материалов и в сельском хозяйстве. К задачам разработки и внедрения новейших ресурсосберегающих технологий (а это один из критериев отнесения технологий к НДТ) по всему циклу — от добычи через обогащение, металлургический передел и до производства конечной продукции, а также использования вторичного сырья отнесены, в частности:

- совершенствование систем разработки рудных месторождений с целью снижения потерь полезных ископаемых в недрах и их разубоживания (переход на системы подземных работ с закладкой выработанного пространства вместо обрушения пород),
- промышленное внедрение метода скважинной гидродобычи богатых железных руд Курской магнитной аномалии;
- широкое внедрение геолого-технологического картирования эксплуатируемых рудных месторождений для планирования текущей добычи и усреднения качества руд перед обогащением, что значительно повышает показатели работы обогатительных фабрик и снижает потери полезных компонентов;
- переход на глубокое обогащение с целью повышения качества концентратов, агломерата, окатышей, при этом дополнительные затраты должны окупаться на последующих стадиях передела (экономия тепла, кокса, флюсов, повышение качества металла и т. д.);
- комплексное использование добытого рудного сырья с целью извлечения на рациональной экономической основе попутных ценных компонентов — Cu, Zn, Ni, Co, Se, Cd, Ta, Zr, Au, Ag, Pt, апатита, нефелина, S;
- ревизионное апробирование хвостохранилищ и отвалов на содержание в них попутных ценных компонентов, переоценка их и при положительных результатах — проведение геологоразведочных работ с разработкой технико-экономического обоснования повторного обогащения накопленных хвостов обогащения и заскладированных пород;
- более полное использование на экономической основе попутно добываемых вскрышных пород.

Дополнительно в разделе, посвященном воздействию различных видов экономической деятельности на ОС, приведена информация о проведении природоохранных мероприятий компаниями, занимающимися добычей полезных ископаемых. Следует отметить, что основные затраты в виде деятельности, определенном как «добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических», приходятся на охрану водных ресурсов (3,95 млрд руб. в 2014 г. и 2,8 млрд руб. в 2015 г.) и охрану ОС от загрязнения отходами (0,53 и 0,95 млрд руб. в те же годы). На мероприятия по охране атмосферного воздуха затрачивается до 0,13 млрд руб. ежегодно [15, с. 199]. Соотношение затрат может служить одним из косвенных показателей порядка приоритетов в природоохранной деятельности всех предприятий, добывающих полезные ископаемые, кроме энергетических (как рудные, так и нерудные).

Таким образом, специальных упоминаний о добыче железных руд в Госдокладах федерального уровня немного, чаще они присутствуют в докладах, публикуемых администрациями субъектов Российской Федерации. При этом к основным источникам воздействия на атмосферный воздух, как правило, относят карьеры по добыче железной руды и кварцитов, дробильно-обогатительные комплексы, хвостохранилища, отвалы вскрышных пород и открытые склады готовой продукции. Некоторые горнообогатительные комбинаты отнесены к числу крупных источников загрязнения водных объектов и источников образования отходов производства регионального уровня (например, [15], [16], [17], [18]).

Следовательно, анализируя текущие уровни эмиссий и потребления ресурсов и идентифицируя решения, которые можно отнести к наилучшим доступным технологиям (см. разделы 3 и 5 настоящего справочника), следует рассматривать как сбросы загрязняющих веществ со сточными водами и их выбросы в атмосферный воздух, так и взаимосвязанные вопросы рационального использования ресурсов и обращения с отходами производства. Отличительной чертой предприятий, занятых добычей и обогащением железной руды, является также воздействие на природные экосистемы, внимание которому частично уделено в «горизонтальном» справочнике ИТС 16—2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы».

Раздел 2. Описание технологических процессов, используемых в настоящее время на предприятиях области применения ИТС 25

2.1 Открытая добыча железных руд

Разработка месторождений железных руд — это совокупность взаимосвязанных технологических процессов. Разработка месторождений железных руд ведется в пределах лицензионного участка на основании утвержденного протокола запасов и в соответствии с разработанным и прошедшим государственные экспертизы проектом.

Основными процессами открытых горных работ являются: снятие плодородного слоя почвы, производство вскрышных работ, буровзрывные работы, добыча руды, транспортировка, первичное дробление, складирование отвальных пород.

Снятие и складирование плодородного слоя почвы

В соответствии с основными положениями по восстановлению земель предприятия, разрабатывающие месторождения полезных ископаемых открытым способом, а также проводящие другие работы, вызывающие нарушение почвенного покрова (механическое повреждение, загрязнение, затопление), обязаны снимать и транспортировать к месту укладки (или временного хранения) плодородный слой почвы и наносить его на восстанавливаемые земли или малопродуктивные угодья. Горнотехническая рекультивация земель, нарушенных горными работами, начинается со снятия плодородного слоя почвы на всех площадях, отведенных под производственные объекты предприятия. Снятие плодородного слоя почвы с использованием бульдозеров различных моделей является наиболее распространенным. Плодородный слой снимается последовательными заходками, и создается временный почвенный штабель. Погрузка почвы производится экскаваторами или погрузчиками в транспортные средства. Бульдозер работает по следующей схеме: машина срезает и перемещает слой почвы в штабель на расстояние, не превышающее оптимальное расстояние транспортирования, исходя из конструктивных особенностей оборудования, а затем возвращается в исходное положение, и цикл повторяется.

Более сложен процесс снятия плодородного слоя почв на территориях лесного фонда, проведению которого препятствует наличие древесной и кустарниковой растительности с хорошо развитой, глубоко проникающей корневой системой. Поэтому снятию плодородного слоя с площадей, занятых лесом, должна предшествовать уборка деловой древесины и мелколесья, раскорчевка территории от пней и кустарников, разрыв корней. Для выполнения этих работ применяют корчеватели, кусторезы, бульдозеры и рыхлители. Снятие плодородного слоя с подготовленного таким образом участка производят бульдозером. Достоинство такой схемы состоит в возможности применения ее в горных условиях.

В период эксплуатации месторождения при производстве вскрышных работ плодородный слой почвы срезается бульдозером параллельно или поперечно вскрышному уступу и сбрасывается на рабочую площадку, затем грузится основным технологическим оборудованием и вывозится транспортными средствами во временный отвал или на рекультивируемую площадь. При разработке вскрышного уступа драглайном последний снимает плодородный слой почвы и складирует в штабель вдоль железнодорожного пути с последующей погрузкой в технологический транспорт. Однако драг-

лайн можно использовать лишь для съема плодородного слоя почвы мощностью не менее 0,5 м.

При наличии автотранспорта его целесообразно использовать для перевозки плодородного грунта. В этом случае снятый бульдозером плодородный слой собирается в штабель с последующей погрузкой в транспорт погрузчиком. Использование скрепера в период проведения горнотехнической рекультивации позволяет выполнить ряд последовательных операций одной машиной: снятие, погрузку и транспортирование. Технология работ следующая: плодородный слой почвы срезается при движении скрепера по прямой. Длина участка выбирается с учетом обеспечения полного заполнения ковша скрепера за один проход. Целесообразно срезать слой мощностью 0,1–0,15 м и шириной, равной 0,3–0,5 длины ковша. Плодородный слой почвы транспортируется на расстояние, не превышающее 2 км. Скрепер разгружает привезенный грунт слоями заданной мощности. Для увеличения производительности скрепера снимаемый плодородный слой почвы рыхлят плугом или рыхлителем. Скрепер используют также для планировки плодородного грунта на рекультивируемой площади.

Съем плодородного слоя почвы и погрузку его в автотранспорт можно осуществить погрузчиками на гусеничном или пневмоколесном ходу. Погрузчики обладают большой маневренностью, высокой производительностью и применяются на выемочно-погрузочных работах в карьере. По техническим параметрам погрузчик может снимать плодородные слои почвы и укладывать их в штабель с последующей погрузкой в транспорт. При использовании погрузчиков площадь, отведенная для съема почвы, разрабатывается отдельными участками. Обычно длина участка не превышает 100 м.

Складирование плодородного слоя почвы осуществляется во временные отвалы или бурты. В буртах плодородный слой почвы может храниться в течение 20 лет. Под бурты обычно отводятся участки, непригодные для ведения сельского хозяйства, или малопродуктивные угодья, на которых исключается подтопление, засоление или загрязнение промышленными отходами, твердыми предметами, камнем, щебнем, галькой, строительным мусором.

Снятие и складирование плодородного слоя почвы осуществляется в соответствии с требованием ГОСТ 17.5.3.06—85 и ГОСТ 17.4.3.02—85. Временные отвалы плодородного слоя почвы размещаются в основном поперек склонов, что препятствует выносу плодородного слоя почвы ливневыми потоками за пределы участка, смыву и размыву участка складирования. Снятие, транспортировка и складирование плодородного слоя почвы выполняется в период естественного увлажнения почвы, что исключает пыление. В случае длительного хранения производится засев поверхности отвала (бурта) семенами многолетних трав.

Вскрышные работы

Вскрышные работы представляют собой комплекс процессов по удалению пустых пород для обеспечения доступа к руде. Вскрышные работы подразделяются на горно-капитальные и текущие. Горно-капитальные работы обычно выполняются на начальной стадии отработки карьера и представляют собой комплекс работ по обеспечению первичного доступа к полезному ископаемому путем проходки капитальных траншей и других постоянных вскрывающих или транспортных выработок. На территории России большинство крупных железорудных карьеров вскрыто железнодорожными траншеями, предприятия с меньшей производственной мощностью вскрыты автомобильными траншеями. Также при расширении карьеров и увеличении их производст-

венных мощностей к горно-капитальным вскрышным работам относят новые вскрывающие выработки или работы по реконструкции и расширению действующих выработок.

К текущим вскрышным работам относятся работы, производимые на предприятии в период его эксплуатации. К ним относится обеспечение и поддержание на нормативном уровне объемов и площадей вскрытых запасов руды, поддержание фронтов для добычи руды.

Породы вскрыши подразделяются на рыхлую и скальную вскрышу. К рыхлым породам относятся легкоэкскавируемые породы, выемка которых может производиться без предварительного рыхления буровзрывным методом. Для разработки мягких вскрышных пород в умеренных климатических условиях при высокой производительности карьера применяют многоковшовые роторные, цепные экскаваторы и драглайны с погрузкой на конвейерный, железнодорожный или автомобильный транспорт.

Роторные экскаваторы представляют собой экскаваторы непрерывного действия на гусеничном или шагающе-рельсовом ходовом оборудовании, разрабатывающие породу с помощью рабочих элементов (ковшей, скребков или резцов), укрепленных на роторном колесе. Ковши, расположенные на роторе, воздействуют на забой рыхлой вскрыши, срезая стружки породы, транспортируемые внутри экскаватора по конвейерным трактам до разгрузочной консоли. Далее порода с разгрузочной консоли поступает на внешний конвейер, по которому она транспортируется на отвалы или склады. Применение роторных экскаваторов обусловлено большой мощностью рыхлых отложений и возможностью селективной отработки пласта. Применение роторных экскаваторов для выемки рыхлых пород происходит сезонно в теплый период года, что исключает смерзание и налипание рыхлых пород в зимний период.

Наряду с роторными экскаваторами для разработки пород рыхлой вскрыши применяется гидромеханический способ. Гидромеханическим способом называют разработку грунта, его транспортировку и укладку при помощи воды. Мощный напор воды, размывающий рыхлые породы, создается гидромониторной установкой, в которую входит гидромонитор (стальной ствол, с насадками закрепленный на шарнирном соединении), подключенный к магистральным трубопроводам, подающим воду из насосной станции. Шарнирное соединение дает возможность поворачивать стальной ствол в вертикальных и горизонтальных плоскостях под большими углами, выбирая нужное направление забоя. Насадки способствуют формированию струи с большой кинетической энергией. Эта струя смешивает породы вскрыши с водой и получается гидросмесь — пульпа, которая самотеком стекает в приемные зумпфы. Далее из зумпфов при помощи грунтовых насосов пульпа по трубопроводам (пульпопроводам) транспортируется к местам размещения. Для повышения производительности гидромониторных установок применяется предварительное рыхление горных пород буровзрывным или механическим методом. Укладка пород вскрыши, разрабатываемых гидромониторами, происходит в специальные отвалы — гидроотвалы или при отсутствии таковых в хвостохранилища обогатительных фабрик. Гидроотвалы обычно располагаются в естественных понижениях рельефа (балках), ограниченных намывными дамбами, при отсутствии балок дамбы располагают со всех сторон. Укладка грунта происходит за счет снижения скорости его перемещения и оседания твердых частиц. Для отвода воды из гидроотвалов устраивают специальные дренажные колодцы, с которых вода по трубам

отводится за пределы участка или используется в оборотном цикле, т. е. возвращается обратно по напорным водоводам к гидромониторам.

Породы рыхлой вскрыши также разрабатываются экскаваторами-драглайнами. Драглайны представляют собой одноковшовые канатные экскаваторы на шагающем или гусеничном ходу. Гибкая подвеска ковша и легкая решетчатая стрела драглайна обеспечивают наибольший радиус, наибольшую глубину копания, а также наибольшую высоту выгрузки по сравнению с другими видами рабочего оборудования экскаваторов. Кроме того, драглайны обладают высокой производительностью. Однако гибкая подвеска ковша не обеспечивает достаточной точности копания и выгрузки. В основном драглайны применяются на бестранспортной схеме разработки и только в отдельных случаях с погрузкой в транспорт. Разгрузка пород, разрабатываемых драглайнами, происходит в железнодорожный или автомобильный транспорт. Драглайн способен обеспечить высокое усилие копания, при условии, что в начале хода ковш заглубится в грунт (ковш заглубляется в грунт только за счет собственной массы), поэтому его используют для отработки рыхлых пород.

Скальные породы представляют собой породы, для экскавации которых требуется предварительное рыхление. Предварительное рыхление скальных пород осуществляется буровзрывным способом. Отработка пород рыхлой и скальной вскрыши также производится гидравлическими экскаваторами и экскаваторами типа механическая лопата. Они представляют собой одноковшовые экскаваторы на гусеничном ходу и отличаются по типу привода ковша: на механических лопатах используются канаты и рейки, а на гидравлических экскаваторах — гидравлические цилиндры. Погрузка пород осуществляется в автосамосвалы или железнодорожные думпкары.

Буровзрывные работы

Буровзрывные работы представляют собой комплекс работ, связанных с подготовкой скального массива пород к экскавации. Ввиду крепости скальных пород их экскавация без предварительного буровзрывного или механического рыхления не может быть произведена: современным канатным, реечным или гидравлическим экскаваторам не хватает усилия на ковше для разрушения скального массива пород. Поэтому для подготовки к экскавации плотных, рыхлых, смерзшихся или скальных горных пород к выемке применяется предварительное рыхление или механическим способом (фрезы, рыхлители), или буровзрывным способом. Ввиду большой производительности и конструктивных параметров, таких как высота забоя до 15 м, железорудных карьеров механическая подготовка массива нецелесообразна и малоэффективна, а порой и технически невозможна.

Развитие буровзрывных работ в карьерах происходило в зависимости от совершенствования средств взрывания и методов бурения скважин для закладки взрывчатых веществ. Расчет параметров взрывного рыхления базируется на пропорциональной зависимости разрушенного объема определенной горной породы от массы заряда взрывчатого вещества. Свойства массива в этом расчете учитываются через удельный расход взрывчатого вещества, величина которого устанавливается расчетными методами или эмпирически. В настоящее время на всех железорудных карьерах используется буровзрывной способ рыхления массива, основанный на методе скважинных зарядов. Взрывчатое вещество закладывается непосредственно в скважины, пробуренные буровыми станками в массиве пород.

Бурение скважин производится преимущественно станками шарошечного бурения (СБШ), которые получили наибольшее распространение на открытых горных работах при добыче железной руды. Шарошечное бурение — способ бурения скважин с использованием шарошечного долота. Станки шарошечного бурения по принципу действия относятся к вращательным, разрушение породы в забое скважины происходит в результате скалывания породы в местах контакта поверхностного слоя с зубьями головки рабочего органа станка — шарошки. Шарошка привинчивается на буровой став трубчатых штанг. Конструктивно шарошки выполняются трех видов: с зубчатыми венцами, штыревые из твердого сплава и комбинированные. Первые предназначены для бурения средних по крепости пород, вторые — крепких, третьи — разнопрочных. Сами штыри в зависимости от крепости и вязкости пород имеют рабочую поверхность в виде клина или полусферы. Очистка скважины от буровой мелочи и охлаждение шарошек производятся продувкой сжатым воздухом, подаваемым к шарошке по полостям буровых штанг. Продукты бурения улавливаются специальными устройствами, установленными на станке. Станки могут бурить вертикальные и наклонные скважины диаметром от 150 до 320 мм. Давление на забой зависит от веса и конструктивных особенностей станка. Оно передается от станка через буровой став. Диаметр взрывных скважин зависит от многих факторов: категории буримости породы, расстояния между скважинами, наличия трещин в массиве горных пород, характеристик взрывчатого вещества, объема заполнения скважины взрывчатым веществом и др. Горнорудные предприятия определяют для себя оптимальный диаметр бурения, исходя из опыта проведения буровзрывных работ и научно-исследовательских работ. Зачастую на предприятии имеются станки с разным диаметром бурения, применяемые в тех или иных условиях и для бурения определенного типа горных пород. Бурение скважин происходит через определенное расстояние, называемое сеткой скважин бурения. Размеры сети бурения отличаются в зависимости от типа пород, диаметра скважин, применяемого взрывчатого вещества и варьируются в широком диапазоне от 4 × 4 м до 9 × 8 м. На практике пробуренные скважины объединяются во взрывные блока, т. е. происходит взрывание не единичной скважины, а в составе блока с применением короткозамедленного взрывания, что позволяет максимально эффективно использовать энергию, высвобождающуюся при инициировании взрывчатого вещества.

При бурении скважин с высокой обводненностью (более 80 %) применяется бентоглина для затирки устья и колонок скважин. Для предотвращения обрушения верхней части устья скважины применяются обсадные трубы: гофрированные пластиковые и трубы из плотного картона. Диаметр труб — от 140 до 311 мм.

Сущность метода скважинных рядов заключается в размещении взрывчатого вещества в наклонных или вертикальных скважинах с забойкой (заполнением) верхней части инертными материалами из песка, буровой мелочи или забоечного материала специального состава. Скважины располагаются в один или несколько рядов параллельно верхней бровке уступа и размещаются друг от друга на расчетном расстоянии по прямоугольной сетке или в шахматном порядке. Расстояние от первого ряда скважин до верхней бровки уступа должно обеспечивать безопасность размещения бурового станка на уступе и рабочих по заряжанию скважин. Расстояние между скважинами выбирается таким образом, чтобы разрушения в массиве от каждой скважины перекрывали друг друга. Заряжание скважин, помещение внутрь скважины взрывчатого вещества осуществляется специализированными смесительно-зарядными машинами,

доставляющими компоненты взрывчатых веществ из цеха по их изготовлению непосредственно на подготовленный для заряжания блок. Патрон-боевик, который служит для инициации взрывчатого вещества в каждой скважине, располагается внутри скважины обычно в самом низу. Это обеспечивает совпадение направления детонации заряда взрывчатого вещества и направления разрушения массива, а также лучшую проработку подошвы. Заряд в скважине может быть сплошным и рассредоточенным по высоте воздушным промежутком или инертным материалом. Рассредоточение заряда позволяет увеличить эффективность использования взрывчатого вещества для дробления за счет более равномерного распределения взрывчатого вещества (ВВ) в массиве. Забойка скважин, т. е. заполнение пространства между ВВ, производится забоечными машинами или вручную. В качестве забоечного материала применяется песок, отсев, буровой шлам или вода (гидрозабойка). Доставка ВВ со склада или завода в карьер обеспечивается специальным и специализированным автотранспортом.

Для производства взрывных работ могут применяться ВВ, поставляемые предприятиям специализированными заводами-изготовителями, или ВВ собственного изготовления, если на предприятии существуют заводы по изготовлению ВВ. При этом для ведения взрывных работ могут применяться и другие ВВ, допущенные Ростехнадзором для работы в железорудных карьерах. Наибольшее распространение на открытых горных работах в железорудных карьерах получило применение ЭВВ (эмульсионное взрывчатое вещество) 99,9 % от общего объема ВВ — водоустойчивое, с кислородным балансом, близким к нулевому. Взрывание производится при помощи детонирующего шнура и неэлектрических средств инициирования. Применяется многорядное, короткозамедленное взрывание с использованием пиротехнических замедлителей. Инициирование скважинных зарядов производится посредством промежуточных детонаторов, изготовленных из шашек-детонаторов и изделий неэлектрических средств инициирования или детонирующего шнура.

В соответствии с процессами, производимыми в карьере, взорванная горная масса по крупности дробления должна соответствовать следующим требованиям:

- максимальный размер кусков, исходя из вместимости ковша экскаватора;
- максимальный размер кусков, исходя из вместимости транспортных сосудов;
- максимальный размер кусков, исходя из принятой технологии получения концентрата, например, от размера отверстия приемного бункера дробилки.

Взрывные работы на карьерах осуществляются на основании типового проекта буровзрывных работ для зоны карьера с одинаковыми свойствами. Для конкретного взрываемого блока составляют паспорт буровзрывных работ, который утверждается главным инженером карьера. Основой типового проекта являются утвержденный технический проект разработки месторождения, результаты экспериментальных и промышленных взрывов, новейшие литературные данные, производственный опыт по взрывным работам в аналогичных условиях и Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». В паспорте обязательно предусматривается расчет величины опасной зоны по сейсмическому воздействию массового взрыва на здания и сооружения. Если радиус зоны сейсмического воздействия взрыва больше расстояния до сохраняемого объекта, предусматривается разделение общего заряда на части с интервалом замедления взрывов.

Организация буровзрывных работ предусматривает такой порядок их производства, который обеспечивает минимальные простои горнотранспортного оборудования и связанные с ним технологические цепочки. Всего в течение года на карьере осуществляется множество массовых взрывов, частота взрывов меняется в зависимости от производительности карьера и организации работ, подготовки площадок под бурение и блоков под взрывание. Объемы взрываемого блока просчитаны на усредненные горно-геологические условия, в процессе эксплуатации рассчитывается каждый конкретный взрыв, при котором объем массового взрыва и количество взрывчатого вещества соответствуют проектным параметрам. Предусматривается проведение взрывных работ в две стадии:

- первичное (основное) взрывание, обеспечивающее требуемое качество рыхления вскрышных пород перед их экскавацией; осуществляется с использованием скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ);

- вторичное (вспомогательное) взрывание. Производится в случае необходимости, для дробления негабаритных кусков породы, выравнивания подошвы уступа и т. п.

Добыча руды

Добычные работы представляют собой комплекс процессов по извлечению руды из массива горных пород. Добыча руды в железорудных карьерах осуществляется экскаваторным способом. Основное распространение на добыче руды получили одноковшовые экскаваторы типа ЭКГ (экскаватор карьерный гусеничный) с объемами ковша от 5 до 20 м^3 и гидравлические экскаваторы типа прямая лопата с вместимостью ковша до 30 м^3.

Процесс экскавации руды из массива заключается в срезании стружки режущей кромкой ковша, повороте экскаватора к месту разгрузки, разгрузке ковша и возвращении рабочего органа в забой. Выемка взорванной горной массы крепких пород осуществляется заглублением ковша в развал. По средствам перемещения рукояти с ковшом современные экскаваторы разделяются на канатные и гидравлические. Черпание у канатного экскаватора происходит благодаря усилию напорного механизма, расположенного на стреле, и его подъемных канатов от подъемных лебедок. Траектория черпания при этом сохраняется постоянной. Начинается она в нижней части забоя. У гидравлического экскаватора траектория черпания может быть разнообразной благодаря особому соединению рукояти со стрелой и дополнительному механизму поворота ковша на конце рукояти. Этим обеспечивается более эффективное использование энергии для внедрения и наполнения ковша. Во взорванном массиве руды черпание начинается с нижней части забоя, при этом образуется как бы вруб для дополнительного разрыхления горной массы самообрушением. При оборудовании гидравлического экскаватора обратной лопатой он имеет возможность обеспечить нижнее черпание. Существенным достоинством гидравлических экскаваторов является информация через рычаг управления об усилиях на исполнительных органах машины. Это обеспечивает большую надежность их работы и позволяет машинисту выбирать оптимальные траектории для черпания. Ковши гидравлических экскаваторов шире, чем канатных, поэтому при расчете буровзрывных работ для получения оптимального состава горной массы для экскавации гидравлическим экскаватором необходимо принимать меньший размер ковша в плане. Разгрузка у гидравлического экскаватора осуществляется опрокидыванием или раскрытием ковша. У канатного экскаватора разгрузка осуществляется

отрыванием днища ковша над местом разгрузки. Разгрузка руды осуществляется в автосамосвалы или железнодорожные думпкары.

Для канатных механических лопат радиусы и высоты черпания и разгрузки изменяются с изменением угла наклона стрелы, которая устанавливается под углом 45°. Габариты определяются по максимально выступающим частям экскаватора. Рабочие параметры экскаватора обусловливают параметры забоя и технологическую схему его работы. При установлении ширины забоя механической лопаты определяющим является радиус черпания на уровне стояния. Максимальная производительность экскаватора достигается при минимуме передвижек в забое и возможно меньшем среднем угле поворота экскаватора от места черпания к пункту разгрузки. При погрузке руды в средства транспорта на уровне стояния экскаватора ширина тупиковой заходки определяется с учетом размещения транспортных коммуникаций и схемы подачи транспортных средств под погрузку. Высота забоя ограничивается высотой черпания экскаватора. Минимальная высота забоя механической лопаты принимается из условия наполнения ковша за одно черпание. Угол откоса поверхности забоя зависит от свойств разрабатываемого массива и составляет 70°–80°. При разработке забоя с погрузкой горной массы в средства железнодорожного транспорта ось железнодорожного пути располагают на расстоянии 0,8 максимального радиуса черпания от оси экскаватора. При автомобильном транспорте автосамосвалы могут располагаться сбоку или позади экскаватора в зоне разгрузки ковша с минимальным углом разворота от места черпания. По условию безопасности ковш не должен перемещаться над кабиной водителя. При конвейерном транспорте горная масса загружается экскаватором в бункер-питатель, который располагается сбоку экскаватора или внутри заходки позади экскаватора.

Техническая производительность механических лопат зависит от вместимости ковша, длительности цикла и свойств разрабатываемых горных пород, которые влияют на длительность операции черпания и наполнения ковша. Рабочий цикл экскаватора складывается из операций: черпания, выведения ковша из забоя, поворота его к месту разгрузки, подъема или опускания ковша на уровень разгрузки, возвращения ковша в забой и установки его для черпания. Операции выведения ковша из забоя и установки его на уровень разгрузки выполняются во время поворота его к месту разгрузки. Во время поворота экскаватора в забой выполняется операция опускания ковша к месту начала черпания.

Транспортировка

Транспортирование карьерных грузов является наиболее энергоемким производственным процессом на железорудных карьерах. Исходя из существа открытых горных разработок, перевозке подлежат: вскрышные породы, руда и материалы для производства горных работ. Для перевозки карьерных грузов используются почти все известные виды транспорта: непрерывного действия (конвейерный, трубопроводный); цикличного действия (железнодорожный, автомобильный). Каждый вид транспорта обладает своей специфичностью, поэтому для эффективного использования в зависимости от горнотехнических условий он может применяться в грузопотоках в единственном виде или в комбинации с другими.

В настоящее время наибольшее количество горной массы на железорудных карьерах перевозится автомобильным и железнодорожным транспортом и их комбинацией, в меньшей степени используется конвейерный и трубопроводный транспорт.

Конвейерный и трубопроводный транспорт относится к транспорту непрерывного действия. Он обеспечивает поточность производства горных работ, автоматизацию управления и высокую производительность труда. Сочетание его с выемочно-погрузочной и отвалообразующей техникой позволяет создавать полностью автоматизированные высокопроизводительные комплексы для разработки горных пород. Примеры таких комплексов — роторные или многоковшовые экскаваторы с конвейерным транспортом, с транспортно-отвальным мостом или отвалообразователем, гидравлические комплексы из гидромониторов или земснарядов и трубопроводного гидравлического транспорта. Применение комплексов непрерывного действия для разработки горных пород на карьерах упрощает грузопотоки и повышает степень использования оборудования на карьере. Конвейерный транспорт является относительно молодым видом транспорта на карьерах, хотя для перемещения пород, особенно сыпучих, он используется давно. На карьерах для транспортирования мягких, дробленых, скальных и полускальных горных пород получили распространение ленточные конвейеры. Принцип их работы заключается в перемещении горной породы на конвейерной ленте, которая приводится в движение тяговым устройством. Лента при своем движении опирается на роликовые опоры, которые закреплены на раме конвейера. Конвейер состоит из отдельных секций (ставов) с приводом и натяжным устройством. Длина конвейерного става зависит от прочности ленты и конструктивных особенностей конвейера. По назначению и месторасположению в карьере конвейерный транспорт разделяется на забойный, сборочный, подъемный, магистральный и отвальный. Забойные конвейеры располагают на рабочей площадке уступа. Они предназначены для транспортирования горной массы от экскаватора до сборочного конвейера. Вследствие того, что фронт работ в карьере постепенно подвигается, конструкции забойных секций конвейеров предусматривают параллельное их перемещение. Сборочные (передаточные) конвейеры располагают в торцевых частях карьера. Они предназначены для транспортирования горной породы от одного или нескольких забойных конвейеров к подъемнику. Сборочные конвейеры перемещают вслед за забойными конвейерами параллельно их оси. Подъемные конвейеры располагают в нерабочей или временно нерабочей зоне карьера (в траншеях или подземных наклонных выработках). Они предназначены для доставки горной массы из рабочей зоны карьера на поверхность. Подъемный конвейер принимает горную массу от сборочного конвейера при обычной конструкции под углом до 18°, а при специальной — до 50° и транспортирует ее по борту карьера на поверхность. Подъемный конвейер имеет более мощный привод и конструкцию, предусматривающую практически стационарное его расположение. Эффективность и безопасность транспортирования скальной горной массы под углом более 14° и мягких горных пород под углом более 18° обеспечиваются рифлением поверхности ленты, использованием прижимной ленты или цепной сетки, которые препятствуют скатыванию породы при движении ее под наклоном. Магистральные конвейеры располагают на поверхности карьера и имеют стационарную конструкцию. Они предназначены для транспортирования пород вскрыши к отвалам, а полезного ископаемого — на обогатительную фабрику или к складам. Отвальные конвейеры располагают на отвалах. По характеру своей работы они аналогичны забойным конвейерам, т. е. перемещаются вслед за отвальным фронтом. Исследования показывают, что наибольшей эффективностью транспортирования горной массы из карьера под большим углом наклона имеют конвейеры с прижимной лентой, с поперечными перегородками и гофрированными борта-

ми и трубчатые. Крутонаклонный конвейер с поперечными перегородками имеет бельтинговую основу с армированной сеткой из стального корда для поперечной жесткости при большой ширине ленты. Горизонтальная устойчивость достигается за счет поперечных перегородок различной формы в зависимости от конкретных условий, вида и угла подъема горной массы. По краям ленты по всей ее длине имеются резиновые борта. Загрузочная часть такого конвейера располагается на горизонтальном участке, угол наклона подъемного участка может достигать 90°, скорость движения ленты от 2,3 до 8 м/с.

Трубопроводный транспорт является транспортом непрерывного действия. На железорудных карьерах он представлен гидравлическим транспортом. Являясь самым эффективным, но имеет большие ограничения применения по климатическим условиям (сезонность работы), свойствам транспортируемых пород (мягкие горные породы и частично дробленые полускальные) и наличию водоисточников. Гидравлический транспорт горных пород на карьере, как и конвейерный, позволяет объединить в непрерывный поток выемку, доставку и отвалообразование, создавая автоматический гидравлический комплекс. Гидротранспорт — это перемещение смеси мягких или дробленых полускальных горных пород по трубам в воде с критической скоростью, создаваемой работой гидромонитора и грунтового насоса. Смесь воды с породой называется пульпой. Пульпа транспортируется от забоев по напорным трубопроводам к местам разгрузки (отвалообразования, замыва).

Железнодорожный транспорт является наиболее распространенным транспортом на железорудных карьерах благодаря его высокой надежности в любых климатических условиях, высокой производительности и эффективности в эксплуатации. Принцип работы железнодорожного транспорта заключается в перемещении электровозами или тепловозами горных пород в думпкарах из забоев к месту разгрузки. Число думпкаров в составе рассчитывается по тяговым характеристикам локомотива и геометрии пути (уклоны и радиусы). Железнодорожные пути разделяются на передвижные и постоянные. К передвижным относятся пути на рабочих площадках в карьере и на отвале. К постоянным относятся пути в траншеях, на транспортных бермах и на поверхности карьера. Передвижной путь периодически перемещается вслед за перемещением фронта работ в карьере или на отвале. Скорости железнодорожного транспорта в карьере по постоянным путям перегонов составляют 35–40 км/ч, по забойным и станционным путям — 15–20 км/ч. Думпкар представляет собой мощную платформу, способную выдерживать большие динамические нагрузки при разгрузке ковшей экскаватора. Разгрузка думпкара осуществляется наклоном его в одну или другую сторону с помощью пневматических цилиндров. При этом борт думпкара в сторону наклона откидывается или поднимается рычажным механизмом. В качестве локомотивов на карьерах применяют тяговые агрегаты (электровозы специального вида) и в некоторых случаях тепловозы. Тяговый агрегат имеет специальную конструкцию, способную обеспечить эффективную работу железнодорожного транспорта в карьерных условиях, характеризующихся большой интенсивностью движения, сложностью трасс с малыми радиусами закруглений, большими уклонами на подъемах, наличием передвижных забойных и отвальных путей, большой грузоподъемностью составов и неблагоприятными климатическими условиями. Питание тяговых агрегатов осуществляется от контактной сети (или троллеи) через токоприемники (пантографы). В местах погрузки горной массы в забоях троллея располагается сбоку от железнодорожного пути, поэтому тяговые агре-

гаты оборудуются дополнительными боковыми токосъемниками. Чтобы исключить трудности эксплуатации контактной сети на рабочей площадке и на отвале, тяговый агрегат может иметь небольшую дизель-генераторную установку, которой достаточно, чтобы перемещать состав по забойным горизонтальным путям с небольшой скоростью. Технология работы железнодорожного транспорта заключается в перевозке горной массы к местам разгрузки. По прибытии груженого состава от экскаватора на станцию обмена с нее к экскаватору в забой направляется под погрузку порожний состав. Ввиду того, что на карьере в работе находится много экскаваторов, информация о состоянии погрузки составов централизована. Она накапливается у диспетчера через системы диспетчеризации и позиционирования подвижного состава. Составы под погрузку в забой и под выгрузку на отвал подаются вагонами вперед. Погрузку начинают с последнего вагона и периодически передвигают состав по сигналу машиниста экскаватора. Разгрузка на отвале начинается с первого вагона поезда. После отработки заходки на горизонте или заполнения полосы на отвале железнодорожные пути передвигаются. Передвижка пути при разработке скальных пород является многооперационным трудоемким процессом. Он выполняется в зависимости от механизации с разборкой пути или без нее. Процесс передвижки пути с разборкой заключается в планировке трассы, разборке звеньев пути и последовательном их перемещении железнодорожным краном на новую трассу, перемещении опор контактной сети, соединении звеньев, рихтовке по оси и выравнивании пути в горизонтальной плоскости, подштопке и устранении повреждений крепления рельсов к шпалам, которые происходят при отрыве шпальной клетки от земляного полотна (особенно в зимнее время).

Автомобильный транспорт имеет широкое распространение на железорудных карьерах благодаря его автономности, мобильности, высокой эффективности работы в сложных топографических, геологических и суровых климатических условиях. Наиболее эффективная область применения автомобильного транспорта — карьеры малой и средней производительности, глубокие горизонты крупных карьеров в комбинации с железнодорожным транспортом. Принцип работы автомобильного транспорта заключается в перемещении горной массы из забоев к пунктам приема горной массы по автодороге и ее разгрузке. Автомобильные дороги в карьере разделяются на капитальные и временные. Капитальные дороги сооружаются на стационарных участках трассы на поверхности карьера, в траншеях и транспортных бермах. Временными являются забойные дороги в забоях, на рабочей площадке, на скользящих съездах и на отвалах. Технология работы автомобильного транспорта на карьере заключается в перевозке из карьера вскрыши, некондиционных руд на отвалы и спецсклады, руды — на перегрузочные пункты, в случае комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта — на склады, дробильные комплексы в карьере или к бункерам обогатительной фабрики. Вследствие высокой стоимости автотранспортных средств его простои, как и простои выемочно-погрузочной техники, должны быть минимальными. Для их уменьшения на карьерах используют два вида организации работ автотранспорта: с закреплением определенного количества самосвалов за экскаватором в течение смены и без закрепления с подачей машины под погрузку каждый раз по команде диспетчера исходя из систем диспетчеризации и позиционирования автосамосвалов. Основным направлением совершенствования автомобильного транспорта является увеличение его грузоподъемности и надежности работы, уменьшение выброса в атмосферу вредных компонентов выхлопных газов. Увеличение надежности работы автосамосвалов разви-

вается в двух направлениях — совершенствование конструкций машин и их узлов и улучшение дорожных условий. Для уменьшения выброса в атмосферу вредных компонентов применяют различные конструкции поглотителей или дожигателей выхлопных газов. К уменьшению загазованности в карьере ведет применение газотурбинных двигателей и троллейвозов. Одним из коренных путей уменьшения загазованности является применение в качестве топлива сжиженных горючих газов, при сжигании которых образуется меньшее количество выбросов вредных веществ.

Первичное дробление

Под процессом первичного дробления понимается наличие в карьере или на его борту дробильного комплекса, который служит для первичного дробления руды или вскрышной породы. В железорудных карьерах первичное дроблений используется для возможности последующей транспортировки дробленого материала конвейерным транспортом или возможности первичного обогащения руды непосредственно в карьере или на его борту. Комплекс первичного дробления состоит из приемных бункеров, принимающих руду или породу от автосамосвалов, под приемными бункерами располагаются дробилки крупного дробления (конусные, реже щековые), позволяющие дробить руду или породу крупностью до 1500 мм. На выходе с дробильных установок крупность руды не превышает 300–400 мм, что позволяет производить ее дальнейшую транспортировку конвейерным транспортом. Также после дробилок первой стадии могут располагаться грохоты или дробилки второй стадии, обеспечивающие дробление руды до крупности 150–200 мм, что позволяет транспортировать ее крутонаклонными конвейерами. Первичное дробление используется при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте и является частью конвейерного комплекса. Руду или породу из забоя доставляют автомобильным транспортом до дробилки и после нее транспортируют подъемным конвейером на борт карьера и дальше магистральным конвейером на отвал, руду — на обогатительную фабрику.

Обращение со вскрышными породами

Отвалообразование и складирование являются заключительными технологическими процессами в разработке горных пород на карьерах. Насыпь пустых пород называется породным отвалом, насыпи пород плодородного слоя, некондиционных руд и полезного ископаемого — складами или спецотвалами. Породные отвалы различают по месторасположению относительно контура карьера, числу ярусов отсыпки и средствам механизации отвальных работ. При разработке горизонтальных и пологих месторождений отвалы располагают в выработанном пространстве внутри контура карьера. Эти отвалы называются внутренними. При разработке наклонных и крутых месторождений отвалы располагают на поверхности за контуром карьера, поэтому они называются внешними. Отвалы отсыпают в один или несколько ярусов. Высота яруса определяется устойчивостью, которая зависит от свойств складируемых пород, рельефа поверхности, гидрогеологических, климатических условий и технологии отвалообразования. В каждом конкретном случае с учетом этих факторов устанавливается высота яруса, она указывается в проекте. Увеличение высоты яруса снижает затраты на отвалообразование за счет уменьшения путевых работ и повышения производительности средств механизации отвалообразования. Складирование полезного ископаемого обычно производится с целью усреднения качества и создания резерва для последующей переработки или отгрузки потребителю. Механизация отвальных работ и складирование зависит от свойств горных пород и связана с видом транспорта, используе-

мым для перевозки горной массы из карьера. Отвалообразование мягких горных пород при конвейерном транспорте производится транспортно-отвальными мостами, консольными отвалообразователями, при железнодорожном транспорте — драглайнами, при автомобильном транспорте — бульдозерами. Технология отвалообразования при железнодорожном транспорте заключается в экскавации разгружаемой из думпкаров породы и укладке ее в отвал одноковшовыми экскаваторами драглайнами. Экскаватор располагается ниже уровня железнодорожных путей на высоту разгрузки экскаватора. Порода из думпкаров разгружается в углубление, сооружаемое самим экскаватором. После разгрузки породы экскаватор производит укладку ее сначала в нижний подуступ, а затем в верхний. С учетом усадки пород в отвале верхний подуступ отсыпается высотой, несколько превышающей уровень железнодорожного пути. Применение одноковшовых экскаваторов обеспечивает надежность отвалообразования крепких пород. Пути совершенствования этого способа связаны с применением новых схем отвалообразования, применением экскаваторов с увеличенными рабочими параметрами и повышением степени использования отвальных тупиков. Укладка крепких горных пород в отвалы при доставке автомобильным, а иногда и железнодорожным транспортом производится мощными бульдозерами. Автосамосвалы разгружаются на некотором расстоянии от бровки по периферии отвала. Бульдозеры перемещают ее под откос, оставляя на бровке предохранительный вал. Для безопасности поверхность отвала имеет подъем в сторону откоса, равный 3°. Для обеспечения возможности одновременной работы автотранспорта и бульдозеров отвал разделяют на участки. На одних участках производится разгрузка автосамосвалов, на других — перемещение уже разгруженной породы под откос. Высота отвала зависит от свойств складируемых пород и основания отвала. В равнинной местности высота бульдозерного отвала принимается равной 25–30 м.

Руды, по своим кондициям не отвечающие в настоящее время требованиям переработки или потребителей, укладываются в отдельные отвалы. Технология отвалообразования и комплексная механизация аналогичны отвалообразованию пустых пород. Отвалы некондиционных ископаемых отличаются месторасположением и параметрами. Месторасположение выбирается вблизи будущего предприятия по переработке, исходя из возможности транспортной связи с ним. Высота отвала должна быть кратной высоте уступа при его разработке. Аналогично складируются попутные полезные ископаемые, не используемые в данный момент потребителем.

При трубопроводном транспорте пустых пород их размещение производится в гидроотвалы. Гидроотвалы представляют собой огороженные водонепроницаемыми дамбами естественные понижения рельефа, балки, овраги, выработанные пространства карьеров, и располагаются в границах земель, малопригодных для сельскохозяйственных целей. Заполнение (замыв) гидроотвалов происходит из напорных трубопроводов, которые перемещают по телу гидроотвала для его равномерного заполнения. Твердые частицы и взвесь постепенно осаждаются на дно, а отстоявшаяся вода возвращается обратно в цикл работы напорного гидротранспорта [1], [2].

Также применяется совместное складирование рыхлой и скальной вскрыши, определенное проектом, и выполняется согласно паспорту отвалообразования. Соотношение рыхлой и скальной вскрыши, складируемой в отвалы, в соотношении 25 % рыхлой вскрыши к 75 % скальной, при скорости продвижения фронта отвала не более 3 м

в сутки, с целью обеспечения устойчивости отвалов и безопасного совместного складирования.

Общая блок-схема процессов открытых горных работ приведена на рисунке 2.1. В таблице 2.1 приведен перечень основного оборудования, применяемого при открытой разработке железорудных месторождений.

Открытая разработка железорудных месторождений влияет на атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, геологическую среду, отчуждение земель.

Источниками загрязнения атмосферы являются газопылевые выбросы, образующиеся главным образом при ведении буровзрывных и добычных работ. Газы и пыль выделяются также с поверхности породных отвалов и складов полезных ископаемых.

Интенсивное пыле- и газообразование происходит во время следующих процессов: бурение скважин, взрывание и погрузка взорванной горной массы, транспортировка, погрузка и перегрузка руды и породы, дробление.

Основной фактор воздействия на водную среду — сброс поверхностных и шахтных вод, загрязненных взвешенными частицами и растворенными химическими веществами, и естественный сток с породных и рудных отвалов. Кроме того, при осушении карьеров дренажными шахтами в подземных условиях загрязняются дренируемые грунтовые воды, а при откачке шахтной воды образуются депрессионные воронки, радиус которых может достигать десятков километров.

Горный и земельный отвод с поверхностным комплексом зданий и сооружений, отвалы, очистные сооружения и пр. занимают значительные территории, которые используются продолжительное время.

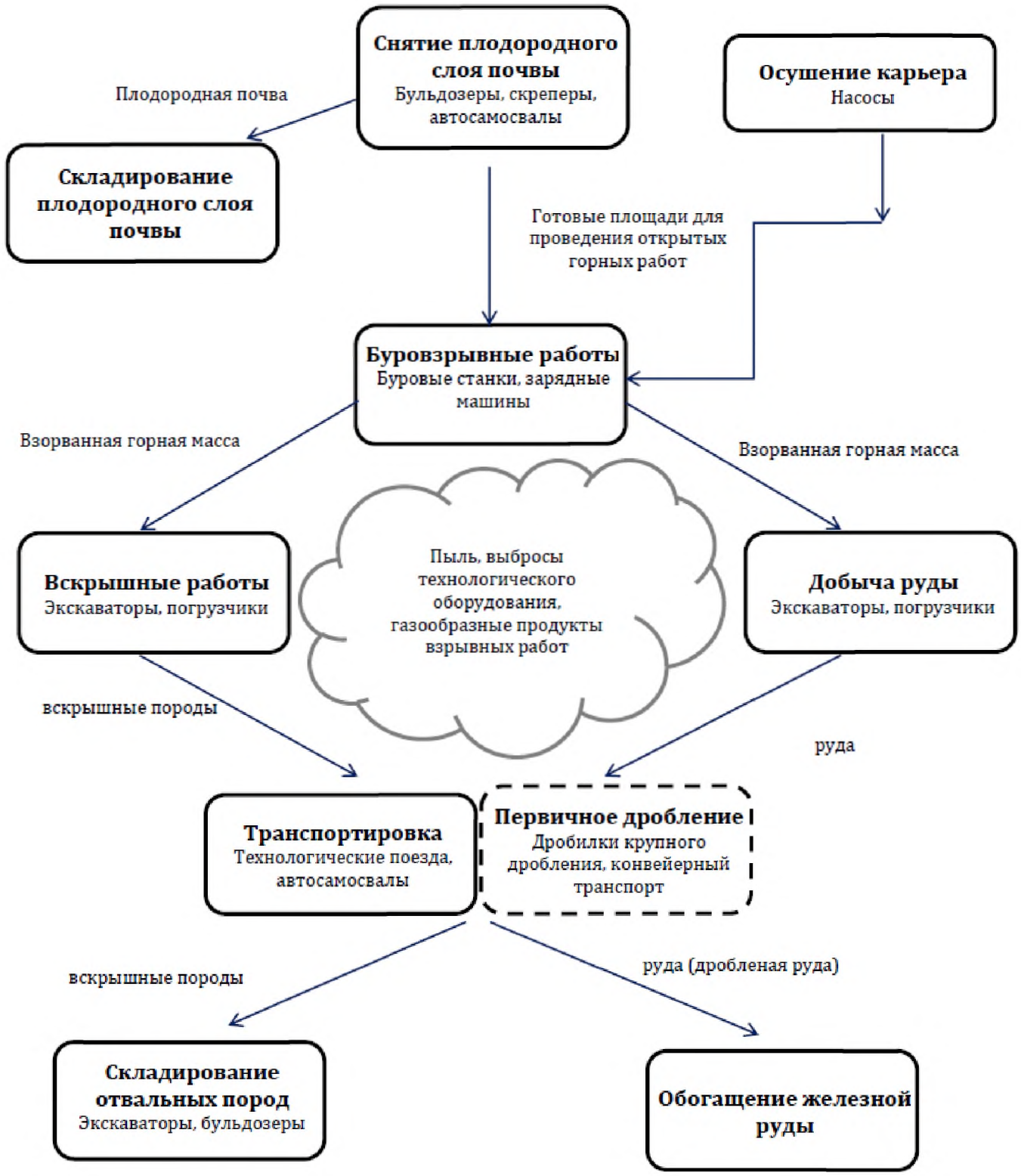


Рисунок 2.1 — Общая блок-схема процессов открытых горных работ

Таблица 2.1 — Основное оборудование открытой разработки железорудных месторождений

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Бульдозеры	Снятие плодородного слоя почвы, подготовка площадок под бурение скважин, зачистка забоев, поддержание дорожной сети	Масса оборудования Мощность двигателя Геометрические размеры отвала
Скреперы	Снятие плодородного слоя почвы	Мощность двигателя Емкость кузова Скорость движения
Буровые станки	Бурение скважин для производства взрывных работ	Усилие на массив Глубина бурения Скорость бурения
Экскаваторы	Экскавация горной массы и погрузка в технологический транспорт	Объем ковша Глубина (высота) черпания Напор на забой
Фронтальные погрузчики	Экскавация горной массы и погрузка в технологический транспорт, вспомогательные работы	Объем ковша Скорость движения Высота разгрузки
Железнодорожный транспорт	Транспортирование горной массы (руды на фабрику, вскрышных пород на отвалы)	Сцепная масса Угол подъема
Автосамосвалы	Транспортирование горной массы (руды на фабрику, вскрышных пород на отвалы)	Грузоподъемность Скорость движения Преодолеваемый угол подъема
Конвейерный транспорт	Транспортирование горной массы (руды на фабрику, вскрышных пород на отвалы)	Производительность Ширина ленты Скорость движения Угол подъема
Дробилки	Первичное дробление руды для возможности транспортирования конвейерным транспортом	Производительность Максимальный размер куска питания Размеры выходной фракции

2.2 Подземная добыча железных руд

Подземная разработка месторождений железных руд (как и прочих полезных ископаемых) осуществляется с использованием подземных горных выработок под толщей перекрывающих пород.

В горном деле эксплуатация каждого рудника является уникальной.

Подземным способом разрабатывают рудные тела различных форм, мощности, углов падения, залегающие на разных глубинах.

В настоящее время подземную добычу железных руд осуществляют на глубине, измеряемой сотнями метров, так и более километра.

Подземная разработка месторождений состоит из трех стадий: вскрытия, подготовки и очистной выемки. В начале разработки месторождения эти стадии выполняются во времени последовательно, а затем совмещаются.

Планомерная и эффективная разработка месторождения возможна при условии строгой увязки во времени и пространстве вскрытия, подготовки и очистной выемки и при обеспеченности рудника достаточными запасами вскрытого, подготовленного и готового к выемке полезного ископаемого.

Таблица 2.2 — Входные и выходные потоки и основное технологическое оборудование вскрытия (этапы подземной разработки железорудных месторождений)

Входные потоки	Этапы процесса (подпроцессы)	Выходные потоки	Эмиссии	Основное технологическое оборудование
Электроэнергия Сжатый воздух Техническая вода Буровая сталь и твердые сплавы Бетонные смеси и железобетон Взрывчатые вещества Металлоконструкции Крепежные материалы Свежий воздух	БВР Выемка, транспорт и подъем горной массы Проветривание Откачка воды Возведение крепи Монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования	Горные выработки Горная масса	Пустая порода Пыль Газообразные продукты взрывных работ Стоки (шахтные воды)	Подъемные машины Лебедки Полки, передвижные опалубки Насосы Вентиляторы Проходческое буровое и погрузочное оборудование

Вскрытие заключается в проведении горных выработок, открывающих доступ с поверхности к рудному телу и обеспечивающих возможность проведения подготовительных выработок (см. рисунок 2.2).

Выработки вскрытия — шахтные стволы, околоствольные выработки, квершлаги, штольни, капитальные рудоспуски и др.

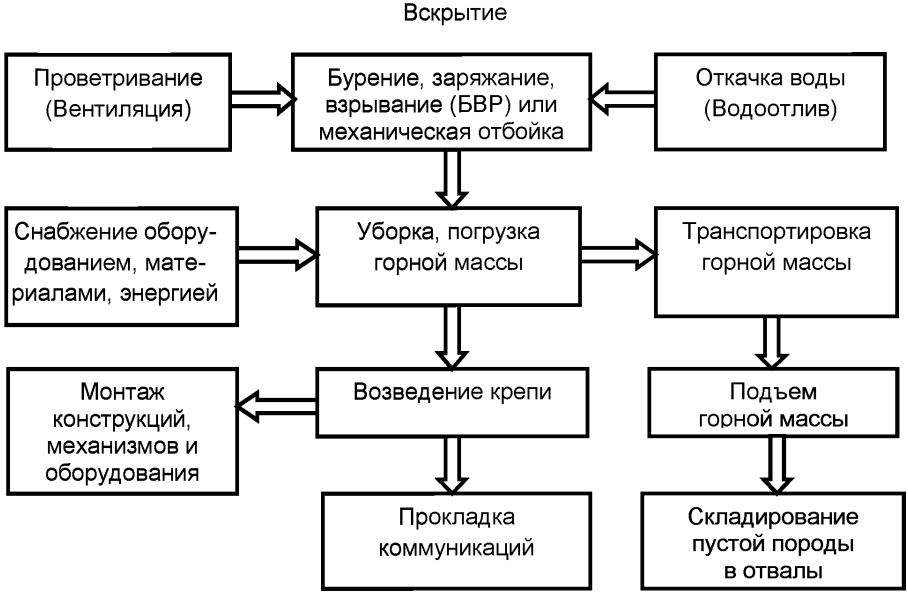


Рисунок 2.2 — Общая блок-схема процессов этапа вскрытия

Вскрытие месторождений осуществляют главными и вспомогательными выработками. Главные вскрывающие выработки (стволы, штольни) служат для транспортирования железной руды (сырой) и пустой породы на поверхность, вентиляции, перемещения людей, доставки материалов и оборудования. Вспомогательные выработки служат для вентиляции, транспорта оборудования, а также в качестве дополнительного выхода на поверхность и других целей.

Взаимное расположение главных и вспомогательных стволов определяется принятой схемой проветривания.

Главные вскрывающие выработки проходят: по месторождению; по пустым породам со стороны лежачего либо висячего бока или с флангов; по пустым породам и руде, пересекая рудное тело.

Ввиду ответственного назначения выработок вскрытия и длительного срока их службы большое значение придают обоснованию и выбору их формы, размеров, сечений и способов проведения, крепления и расходов по ремонту крепи за все время существования. Размеры выработки принимают достаточными для нормальной работы транспорта, безопасными и удобными для передвижения людей, доставки материалов и оборудования, а также для обеспечения прохождения необходимого количества воздуха.

В зависимости от места расположения главных вскрывающих выработок способы вскрытия месторождения разделяют на простые и комбинированные. Существует достаточное разнообразие простых и комбинированных способов вскрытия.

К простым способам относятся вскрытия: вертикальным шахтным стволом по рудному телу, по породам лежачего бока, по породам висячего бока; наклонным шахт-

ным стволом по породам лежачего бока и на флангах месторождения; вскрытие штольней по рудному телу, по породам лежачего бока, по породам висячего бока.

Комбинированные способы сочетают два или более способа вскрытия, например: вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в вертикальный слепой ствол; вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в наклонный слепой ствол; штольня с переходом в вертикальный слепой ствол; штольня с переходом в слепой наклонный ствол.

Приведем характеристики главных вскрывающих выработок.

Штольня как вскрывающая выработка в виду особенностей залегания рудных тел и по условиям рельефа на железорудных месторождениях в РФ используется крайне редко (Бакальское РУ, Олкон). Эффективно использовать штольневое вскрытие при комбинированном открыто-подземным способе отработки. Когда не включенные в контур открытой разработки запасы железной руды под дном и за бортами дорабатываемого карьера вошли в шахтное поле подземного рудника.

Устья штолен располагают в местах, не подверженных затоплению весенними и ливневыми водами. Размеры площадки перед устьем штольни должны обеспечивать размещение необходимых поверхностных сооружений; к площадке должны быть удобные подъездные пути, там, где это трудновыполнимо, руду транспортируют от штольни по канатным дорогам или конвейерами.

Стоимость проходки и крепления 1 м штольни обходится в разы (в зависимости от притока воды) дешевле, а скорость проходки буровзрывным способом гораздо выше. Транспортирование руды намного дешевле и от добычных блоков до обогатительной фабрики может осуществляться без перегрузки руды. Передвижение людей и грузов безопаснее. Стоимость водоотлива значительно ниже, зачастую движение воды происходит самотеком, и водоотливных установок не требуется. Стоимость поверхностных сооружений у устья штольни значительно ниже, так как не требуется сооружения копра, надшахтного здания и подъемной машины. Ремонт крепи штольни проще.

Шахтные стволы имеют круглую форму сечения, прямоугольную и эллиптическую. На большинстве железорудных рудников предпочитают проходить стволы круглой формы диаметром в свету в основном 6–8 м.

Размер сечения ствола зависит от его назначения. Капитальные стволы обычно служат одновременно для подъема руды и породы, подъема и спуска людей, спуска крепежных материалов, вентиляции. В них же размещают водоотливные и воздушные трубы. Иногда ствол предназначается только для подъема руды и породы или только для спуска-подъема людей, только для вентиляции.

Вскрытие вертикальным стволом возможно при весьма разнообразных условиях залегания рудных тел и наиболее распространено в практике.

Большинство железорудных месторождений вскрыто вертикальными стволами, пройденными в лежачем боку за зоной сдвижения горных пород.

Вскрытие стволом, пройденным в висячем боку, применяется реже. Например: заложение ствола в лежачем боку невозможно или невыгодно по условиям рельефа; заложение ствола в висячем боку позволяет сократить расходы на поверхностный транспорт и затраты на сооружение подъездных путей; сильная водоносность или нарушенность пород лежачего бока затрудняет проходку ствола; из-за наличия водоемов или крупных сооружений на поверхности и пр.

Вскрытие наклонным стволом, как правило, осуществляют в лежачем боку за пределами зоны сдвижения пород или по месторождению.

От ствола шахты до рудного тела проходят квершлаги, длина которых значительно меньше, чем при вскрытии вертикальным стволом, особенно на нижних горизонтах. Разница в длине квершлагов тем ощутимее, чем меньше угол падения месторождения или угол сдвижения горных пород. Небольшая длина квершлагов является основным достоинством вскрытия наклонным стволом.

Одним из важных преимуществ наклонных стволов по сравнению с вертикальными является возможность применения в них конвейерного транспорта. Использование высокопроизводительного транспорта в наклонных стволах существенно расширяет перспективы их применения для рудников со значительными объемами производства при различных условиях залегания рудного тела, в том числе и для крутого падения.

При вскрытии наклонным стволом, пройденным по месторождению, квершлаги отсутствуют, и стоимость проходки ствола частично окупается попутно добываемой рудой. Однако при этом, кроме присущих наклонному стволу недостатков, возникает необходимость оставления охранного целика с обеих сторон от ствола. Размер (ширина) этого целика возрастает с глубиной.

Способ вскрытия наклонным стволом применен на Бакальском руднике, длина наклонного ствола составляет 1000 м, руда выдается на поверхность конвейером, угол подъема 12°. Применяются конвейеры с шириной лент 1000 мм.

Рудник им. Артема в Криворожском бассейне имеет общую длину наклонных стволов и установленных в них ленточных конвейеров около 4 км.

На канадском руднике Вабана подъем руды от подземной дробилки осуществляется ленточными конвейерами по наклонному стволу (уклон 8°). Длина конвейеров 4 тыс. м, производительность 1000 т/ч.

Комбинированные способы вскрытия сочетают в себе разнотипные вскрывающие выработки, например: верхнюю часть месторождения вскрывают одной главной выработкой, а нижнюю — другой, причем руда с нижних горизонтов выдается на поверхность последовательно по обеим главным выработкам. Необходимость в таком вскрытии возникает, в частности, в тех случаях, когда протяженность месторождения по падению велика и подъем по одному стволу вследствие его большой глубины не обеспечивает заданной производительности. Комбинированное вскрытие характерно также для месторождений, залегающих в гористых местностях и распространяющихся ниже уровня возможного вскрытия штольней. В этом случае ниже уровня штольни месторождение вскрывают слепым стволом.

Глубина каждого ствола определяется максимально допустимой высотой подъема по одному стволу. Кроме увеличения производительности подъема, при ступенчатом вскрытии уменьшается длина квершлагов, особенно на нижних горизонтах.

Для вскрытия сверхглубоких горизонтов вместо одного шахтного ствола проходят два, но меньшего сечения. Это вызывается необходимостью принятия мер по предотвращению проявлений горного давления при переходе на большие глубины.

Рудные тела крутого падения могут быть вскрыты вертикальными стволами в сочетании с наклонным съездом для самоходного оборудования.

Возможно также вскрытие вертикальным стволом с поверхности, переходящим на глубине в наклонный. Вскрытие наклонными стволами в сравнении с вскрытием

вертикальными стволами имеет как ряд серьезных недостатков, так и достаточно преимуществ.

Выбор и экономическое сопоставление схем вскрытия производят не только с учетом геологических условий и топографической обстановки, но и большого перечня важных аспектов функционирования будущего предприятия: производительности, срока существования и т. д., в том числе применения самоходной техники и ее особенностей. Использование высокопроизводительной самоходной техники оказывает существенное влияние на технические решения при проектировании и строительстве подземных сооружений и технологий добычи и требует соответствующих схем вскрытия и расположения поверхностных сооружений. В связи с этим большое распространение при разработке рудных месторождений в последнее время получили наклонные автомобильные съезды, служащие для вскрытия и подготовки запасов нижних горизонтов и флангов шахтных полей, выдачи руды, проветривания, доставки самоходного оборудования и материалов к месту работ.

Опыт вскрытия рудных залежей наклонными съездами в России и за рубежом доказал высокую эффективность их применения. Во многих случаях замена вертикального рудовыдачного ствола наклонным съездом позволяет при относительно небольшой глубине разработки сократить объемы вскрывающих выработок за счет исключения протяженных квершлагов и обеспечить хорошую транспортную связь с подэтажными выработками, что сокращает расходы, как на вскрытие, так и на эксплуатацию месторождения.

Проведение квершлагов и других капитальных выработок, сооружение околоствольных дворов, приемных площадок, капитальных рудоспусков, комплексов подземного дробления (КПД) — основные и вспомогательные вскрывающие выработки.

Все они имеют длительный срок существования и требуют большого количества проходческих и монтажных работ. Так, например, только объем дробильно-бункерного комплекса крупной конусной или щековой дробилки составляет, как правило, несколько тыс. $м^3$.

В большинстве случаев околоствольные дворы с полным комплектом выработок устраивают на каждом этаже. Это создает благоприятные условия для подземного транспортирования руды, доставки материалов и оборудования, вентиляции и подготовки, особенно для месторождений с большими запасами руды на этаже.

В некоторых случаях проходить на каждом этаже околоствольные выработки и длинные квершлаги оказывается экономически нецелесообразно и технически очень трудно. В этом случае квершлаги от ствола до рудного тела проводят не на каждом этаже, а через два-три этажа (редко более), т. е. применяют вскрытие групповыми квершлагами. При этом связь между стволом и откаточными выработками этажа осуществляется через вертикальные и наклонные выработки, которые обеспечивают спуск (реже подъем) руды до главных откаточных выработок, перемещение людей, доставку материалов и оборудования, проветривание.

Для доставки материалов и оборудования, перемещения людей сооружают полевые или рудные капитальные восстающие, которые оборудуют клетевым или лифтовым подъемом.

Один квершлаг (один комплекс подземного дробления) может обслуживать несколько этажей, с верхних этажей руда поступает через рудоспуски, а с нижнего руду поднимают по слепому стволу или уклону. Вскрытие групповыми квершлагами значи-

тельно снижает затраты на горнокапитальные работы и позволяет интенсифицировать разработку месторождения. Кроме того, наличие запаса руды в перепускных восстающих положительно сказывается на работе транспорта и подъеме. Такой способ широко применяется на железорудных месторождениях Западной Сибири и Урала (Высокогорский ГОК, Абаканский рудник).

Вместе с этим вскрытие групповыми квершлагами имеет и серьезные недостатки. К их числу относятся: необходимость проходки дополнительных выработок (восстающих, рудоспусков и др.) для связи этажных откаточных выработок с капитальным штреком или квершлагом, значительные затраты на поддержание рудоспусков, дополнительные расходы на перегрузку и (иногда) на откатку руды, доставку материалов и оборудования, усложнение спуска и подъема рабочих, затруднение подготовки, усложнение вентиляции.

Когда необходима непосредственная связь с шахтным стволом на каждом этаже, объем горнокапитальных выработок сокращают путем проходки околоствольных выработок через несколько этажей. В связи с наблюдающимся усложнением и увеличением объема околоствольных дворов это практикуется довольно часто.

Особенности залегания полезных ископаемых и топография местности допускают возможность применения двух или даже нескольких вариантов вскрытия.

Все многообразие технических и технологических решений, используемых при освоении месторождений железных руд, подвергается оценке на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов. Вариант выбирается тот, при котором обеспечивается наибольшая безопасность работ и достигаются наименьшие суммарные и эксплуатационные затраты.

В соответствии с выбранной схемой принимается решение о месте расположения на земной поверхности устья главной вскрывающей выработки и комплекса технологических сооружений и отвалов. Место заложения главной вскрывающей выработки по линии простирания месторождения должно быть оптимальным в отношении наименьшей работы подземного транспорта в течение всего времени отработки запасов, обеспечивать возможность и удобство расположения поверхностных сооружений и подъездных путей, быть не затопляемым паводковыми и дождевыми водами, исключать вероятность оползней, сползания снежных лавин и т. д.

Должно быть не менее двух независимых выходов на земную поверхность, причем вторым выходом могут служить вспомогательные выработки вскрытия, в том числе предназначенные для вентиляции. Расположение выработок увязывается со схемой шахтной вентиляции.

Подготовка (подготовительные работы) — это проведение горных выработок — штреков, восстающих, ортов и др., которыми вскрытая часть месторождения разделяется на обособленные выемочные участки — этажи, блоки, панели (см. рисунок 2.3 и таблицу 2.3). Выемочный участок в свою очередь делится подготовительными и нарезными выработками на отдельные части: подэтажи, слои, прирезки, камеры, междуэтажные, междукамерные, междупанельные целики и др.

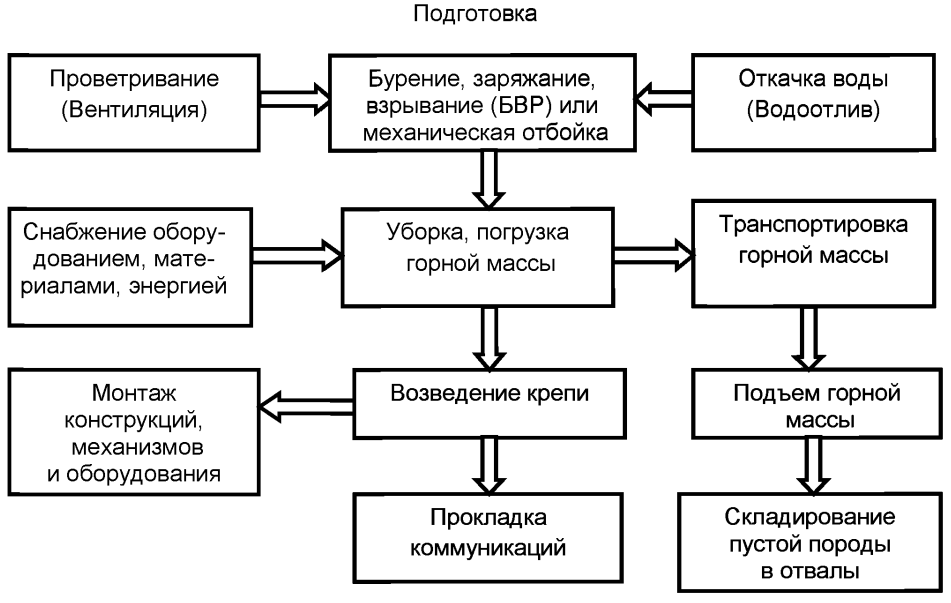


Рисунок 2.3 — Общая блок-схема процессов подготовительных работ

Способы подготовки основных горизонтов определяются технико-экономическим сравнением возможных вариантов, учитывающих геологические, технические, технологические и экономические факторы и зависят от характера рудного тела — его мощности и угла падения, от физико-механических свойств руды и вмещающих пород, принятого порядка очистной выемки в этаже, от способа транспортирования полезного ископаемого.

Таблица 2.3 — Входные и выходные потоки и основное технологическое оборудование процесса подготовки (этапы подземной разработки)

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Эмиссии	Основное технологическое оборудование
Электроэнергия Сжатый воздух Техническая вода Буровая сталь Бетон, железобетон Взрывчатые вещества Металлоконструкции Крепежные материалы ГСМ Свежий воздух	БВР Выемка, транспорт и подъем горной массы Проветривание; Откачка воды Возведение крепи Монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования	Горные выработки Горная масса	Пустая порода Пыль Газообразные продукты взрывных работ Сточные (шахтные) воды	Подъемные машины Проходческое буровое и погрузочное оборудование Машины и оборудование для возведения крепи Насосы Вентиляторы

Назначение подготовительных выработок заключается в следующем:

- оконтуривание (выделение) этажа, шахтного поля, блоков или панелей;
- создание связи блока (панели) с общерудничной транспортной сетью;
- обеспечение эффективного проветривания рабочих мест;
- обеспечение свободного доступа в забои и аварийного выхода из них, снабжение забоев оборудованием, материалами, энергией, высокопроизводительной выдачи из них добытой руды.

Принятый способ подготовки, расположение и размеры подготовительных выработок должны обеспечивать: безопасное производство очистных работ; эффективное проветривание очистных забоев; своевременную подготовку этажей и блоков для сохранения постоянного резерва подготовленных и готовых к выемке запасов руды с определенным средним содержанием полезных компонентов; удобные и безопасные условия передвижения людей, доставка материалов и оборудования по выработкам; минимальные потери руды в целиках, предохраняющих подготовительные выработки, удобные и производительные способы доставки руды, погрузки и откатки; минимальные расходы на поддержание выработок и ремонт крепи.

В рамках подготовки создаются коммуникации и магистрали для вентиляции, канализации электроэнергии, передвижения людей и транспортирования грузов.

В условиях значительного притока воды проведение подготовительных выработок должно обеспечивать своевременный дренаж месторождения.

Подготовленные запасы руды — запасы выемочных участков, в которых полностью пройдены подготовительные выработки, предусмотренные принятой системой разработки.

Разделение рудничного поля на этажи производят выработками основного горизонта — откаточными штреками и ортами. Восстающими и наклонными выработками этажи разделяют на выемочные блоки, в некоторых случаях этажи делят по высоте на подэтажи. Высота этажа составляет 50–100 м (редко более) в зависимости от горно-геологических условий и технологии добычи.

Для передвижения механизмов на участках очистной выемки используют систему горизонтальных выработок откаточного и вентиляционного горизонтов, восстающих и рудоспусков, при подготовке наклонными съездами используют съезды спиральной или иной формы и рудоспуски, сбитые с подэтажами. Исходя из назначения и характеристик проходческих механизмов, наиболее часто встречающиеся сечения выработок: вертикальных и горизонтальных 3,5–24 м^2, съездов 9–13 м^2 с углом наклона 12–15°.

При большой мощности рудных тел в породах лежачего бока проходят полевые восстающие, соединяющие полевые этажные штреки. Помимо этого, проходят вспомогательные восстающие у контакта висячего бока или восстающие, пересекающие рудное тело.

Отрезные, рудоспускные, вентиляционно-ходовые восстающие между подэтажами и дучки проходят буровзрывным способом секционного взрывания скважин, шпуровым или бурением (расширением) скважин большого диаметра. Наибольшее распространение способ проходки восстающих секционным взрыванием получил при оформлении отрезных восстающих или щелей при этажной и подэтажной отбойке руд. Часто проходка восстающих секционным взрыванием осложняется тектоникой и проявлениями горного давления. Если в малонарушенных породах бурение взрывных скважин заданного направления удается (например, буровыми станками НКР-100М с

увеличенным количеством податчиков для глубокого и точного бурения или самоходными установками добычного бурения), то при интенсивной нарушенности искривление скважин снижает эффективность использования способа. Кроме того, случается, что под воздействием предыдущих взрывов и горного давления скважины становятся непригодными для заряжания.

Проходка восстающих выработок — один из трудоемких и опасных процессов. Для механизации процессов проходки выработок с углом наклона 60°–90° применяют комплексы КПВ. Полок перемещается по монорельсу с помощью приводных звездочек. Бурение с полков осуществляется перфораторами. Однако способ не исключает главного недостатка пребывания проходчиков в опасных условиях и в последнее время применяется все реже.

Способ проходки бурением и расширением вертикальных и наклонных скважин с использованием буровых станков — безлюдный и один их самых перспективных. Скорость проходки восстающих увеличивается по сравнению с буровзрывными способами в разы. Станки этого типа предназначены для проведения вертикальных и наклонных выработок диаметром до 3 м, до 100 м в длину и под углом до 70° в породах с коэффициентом крепости до 12 по Протодьяконову, однако применяется и в более крепких породах. Применяют также станки для проходки восстающих снизу вверх сплошным забоем или в две стадии с первоначальным бурением опережающей скважины.

Горные выработки, проводимые в уже подготовленных участках и необходимые для производства выемки руды из этих участков, принято называть нарезными выработками, а выполняемые при их проведении работы — нарезными работами.

Нарезные выработки проходят в пределах блоков, панелей непосредственно для очистной выемки:

- подэтажные горизонтальные выработки разделяют блок на отдельные выемочные подэтажи;

- выработки горизонта скреперования — штреки или орты служат для доставки отбитой руды до выработок основного горизонта, а также для вторичного ее дробления;

- выработки горизонта грохочения — камеры, штреки, орты служат для вторичного дробления руды и перепуска руды на основной горизонт;

- выработки горизонта подсечки служат для подрезки массива руды в днище блока;

- отрезные восстающие служат для отрезки массива руды в заданном месте блока;

- щели, ходки, сбойки и ряд других выработок обеспечивают оптимальное развитие работ.

Для нарезки днища блоков используют самоходные буровые установки и погрузочно-доставочные машины или перфораторы на пневмоподдержке и скреперные установки различных модификаций.

В выработках выемочного участка оставляются рудные целики, возводятся разнообразные искусственные сооружения и устройства: крепь, грохоты в камерах дробления, люковые рамы и затворы, погрузочные полки, бетонные, металлические или железобетонные облицовки сопряжений выработок выпуска и вторичного дробления и др.

Готовые к выемке — запасы руды подготовленных выемочных участков, в которых полностью пройдены нарезные выработки, необходимые для производства очистной выемки.

Создание и постоянное сохранение резерва вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов необходимо для того, чтобы:

- планомерно и своевременно по мере отработки одних участков месторождения развивать добычу руды на других участках в необходимом количестве;
- иметь запас времени для эксплуатационной разведки и дренажа вводимых в эксплуатацию частей месторождения;
- поддерживать равномерное содержание полезных компонентов в руде, направляемой на переработку, путем планомерного ввода в очистную выемку участков месторождения с различным составом руды;
- иметь резервные участки на случай временного прекращения работ по вскрытию и подготовке или необходимости увеличения добычи руды сверхустановленного плана.

Очистная выемка — технологический процесс извлечения руды из выемочного участка и поддержания образующихся при этом очистных выработок и очистного пространства (см. рисунок 2.4 и таблицу 2.4).

Очистная выемка

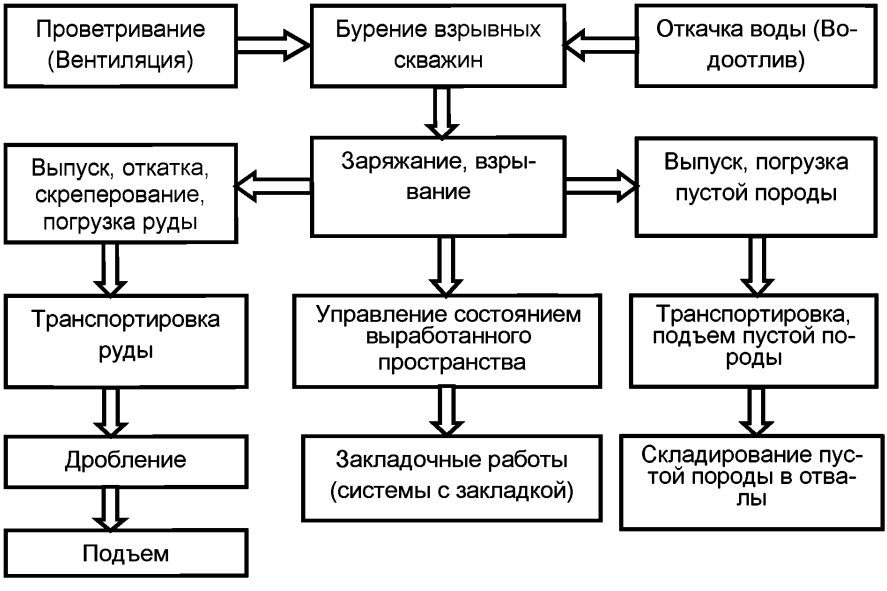


Рисунок 2.4 — Общая блок-схема процессов очистных работ

Очистное (выработанное) пространство может в процессе очистной выемки оставаться открытым, т. е. свободным, заполняться отбитой рудой, закладкой или обрушенными породами либо поддерживаться крепью.

Таблица 2.4 — Входные и выходные потоки и основное технологическое оборудование очистной выемки (этапы подземной разработки железорудных месторождений)

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Эмиссии	Основное технологическое оборудование
Электроэнергия Сжатый воздух Техническая вода Буровая сталь Взрывчатые материалы ГСМ Свежий воздух	БВР Выпуск, транспорт и подъем руды и породы Проветривание Откачка воды Поддержание очистного пространства Вторичное дробление	Сырая руда Пустая порода	Пустая порода Пыль Газообразные продукты взрывных работ Сточные (шахтные) воды	Подъемные машины и комплексы Буровое, зарядное и погрузочное оборудование Локомотивы, вагоны, опрокидыватели Конусные, щековые дробилки Насосы Вентиляторы

Определенный порядок подготовки и очистной выемки во времени и пространстве принято называть системой разработки, во всем многообразии систем каждой системе присущи: конструктивные характеристики; порядок очистной выемки; технология очистной выемки. Очистная выемка при любой системе разработки включает три основные операции: отбойку руды — отделение ее от массива; доставку руды — перемещение отбитой руды от забоя до откаточного горизонта; составной частью этой операции являются выпуск и погрузка руды; поддержание выработанного пространства.

Из технологических процессов очистной выемки наибольшее влияние на расположение выработок откаточного горизонта оказывает доставка руды, включая ее погрузку. Нередко изменение того или иного элемента технологического процесса вызывает изменение схемы расположения откаточных штреков и ортов. Например, переход от скреперной доставки к вибровыпуску или самоходному оборудованию существенно меняет как схему, так и параметры выработок основного горизонта.

При разработке мощных месторождений, сложенных слабыми или трещиноватыми минералами, способными при обнажении на достаточной площади под действием гравитации и давления налегающей толщи обрушаться, используют феномен самообрушения. Способ характеризуется высокой производительностью и дешевизной, однако условия его применения крайне ограничены.

Буровзрывной способ является универсальным для отбойки железных руд средней и высокой крепости, отбойку ведут с помощью зарядов ВВ в шпурах, взрывных скважинах и минных выработках. Взрывной способ разрушения основан на применении взрывчатых веществ, при быстротечном разложении которых освобождающаяся энергия взрыва отделяет от массива и осуществляет дробление горной массы.

Для бурения взрывных скважин и шпуров используют разнообразные буровые перфораторы, станки, каретки и установки добычного бурения.

Применяются буровые станки с пневматическим или гидравлическим приводом, с электродвигателем, двигателем внутреннего сгорания, дизель-электрическим приводом, самоходные, передвижные на специальных тележках. Бурильные машины с пневматическими двигателями необходимо обеспечивать сжатым воздухом, подаваемым от компрессора по воздуховодам, бурильные машины с электродвигателями снабжаются электроэнергией по кабелям, бурильные машины с двигателями внутреннего сгорания, как правило, потребляют дизельное топливо.

Расположение скважины может быть параллельным, параллельно-сближенным, веерным. Для размещения зарядов ВВ до недавнего времени самыми распространенными были скважины диаметром 105–110 мм, которые бурят отечественными станками с погружными пневмоударниками. В последнее время для подготовки массива к обрушению значительную долю буровых работ производят самоходным импортным оборудованием с диаметром скважин 89–102 мм.

На некоторых рудниках Сибири при подготовке блоков к массовому обрушению в условиях высокого горного давления значительные объемы ранее отбуренных скважин 105 мм приходили в непригодное для заряжания состояние. Как следствие, применялись взрывные скважины большего диаметра. Успешный опыт использования скважин до 300 мм имеет Абаканский рудник, Горно-Шорский филиал. Разбуривание массива междублокового целика осуществляли, расширяя пилотные скважины диаметром 105–130 мм до диаметра 250–300 мм. Кроме того, достаточно эффективно применялся способ разрушения междублоковых целиков на всю высоту этажа вертикальными концентрированными зарядами (ВКЗ). По этой технологии концентрированные заряды размещали в «слепых» восстающих малого сечения, пройденных способом секционного взрывания скважин, и располагали в центре блока. ВКЗ взрывали последними ступенями замедления после взрыва пучковых скважинных зарядов и образования массива столбообразной формы, создающегося в процессе короткозамедленного взрывания. Применялись заряды с инертными промежутками для более равномерного дробления горного массива.

По условиям технологического процесса отбитая руда должна иметь куски определенной крупности. Размеры максимально допустимого куска во взорванной горной массе определяются параметрами транспортных средств, дробилок и других приемных устройств, а также условиями работы оборудования.

Максимально допустимый размер кусков обычно принимают от 300–400 до 800–1000 мм, при отбойке руды взрывным способом образуется некоторое количество некондиционных кусков — негабаритов. Для дробления негабарита применяют взрывчатые вещества или механические устройства (дробилки, бутобои).

Для улучшения дробления руды и снижения сейсмического эффекта необходимо использовать дифференцированное распределение ВВ в рудном массиве (геометрию расположения вееров и пучков скважин) и короткозамедленное взрывание зарядов, например, с интервалами: 25, 50, 75, 100 и 150 мс.

Как правило, железорудные шахты не относятся к опасным по газу и пыли, на них широко применяются промышленные ВВ для подземных горных работ, отличительной полосой которых является красный цвет оболочки патронов или ярлыков. Рас-

пространены аммиачно-селитренные гранулированные, порошкообразные и эмульсионные ВВ.

Аммиачно-селитренные ВВ — механические смеси аммиачной селитры с нитросоединениями или с горючими и разрыхляющими добавками: аммониты, аммоналы, динамоны. Широко применяются: граммониты, гранулиты, аммониты № 6 ЖВ, игданиты, эмульсионные ВВ.

В связи с гигроскопичностью аммиачно-селитренных ВВ возникает необходимость в придании им свойства водоустойчивости, которое достигается введением в готовый состав ВВ или в аммиачную селитру небольшого количества специальных добавок. Сорта ВВ, изготовленные из водоустойчивой аммиачной селитры, имеют марку ЖВ. К водоустойчивым ВВ относятся: аммониты № 6ЖВ, а также тротил и другие нитросоединения.

Для подземных работ применяют ВВ только с кислородным балансом, близким к нулевому (±3 %), при взрывании ВМ по максимуму должно быть сокращено образование оксида углерода CO и оксидов азота NO, NO_2, N_2O_3 и прочих вредных газов.

Для заряжания используют специальные самоходные, передвижные и переносные зарядные машины, как правило, с пневматической подачей взрывчатых веществ. При заряжании взрывчатое вещество засыпается в загрузочную емкость машины, затем поступает в питатель (барабанный, камерный или эжекторный), далее транспортируется сжатым воздухом (от шахтной пневмосети) по гибкому доставочно-зарядному шлангу в скважины или шпуры.

Механическая отбойка применяется в основном при выемке руд и пород низкой крепости, используются самоходные комбайны с шарошечными рабочими органами.

Механизированная доставка производится скреперами, погрузочно-доставочными машинами, конвейерами. Иногда доставку осуществляют силой взрыва.

Выпуск руды из очистного пространства через выработки днищ блоков, оборудованных вибродоставочными установками, производится непосредственно в откаточные сосуды. Выпуск на почву выработок обычно сопровождается вторичным дроблением руды, которое зачастую осуществляется вблизи забоя в специальных выработках на горизонте доставки (грохочения). Далее производят перепуск руды через рудоспуски на откаточный горизонт и загрузку в подвижной состав через люки, вибропитатели и другие устройства.

Традиционно на железодобывающих рудниках используют скреперную доставку и вибровыпуск, однако в настоящее время широко применяются самоходные погрузочные машины. Мощные подземные ковшовые погрузчики высокоманевренны. Они сконструированы и сделаны для тяжелых условий эксплуатации в ограниченном пространстве. По большей части они оборудованы дизельными двигателями. Надо признать, что погрузочно-доставочные машины с электрическим приводом обеспечивают лучшие условия труда за счет отсутствия выхлопных газов, меньшего уровня вибраций и шума.

На мощных железорудных месторождениях широко применяются системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород, которые характеризуются обрушением подсеченного снизу или сбоку массива руды в подэтаже или этаже. Выпуск основной массы руды производится под обрушенными, опускающимися в процессе выпуска пустыми породами, которые заполняют выработанное пространство. Наиболее широкое распространение при разработке железных руд получило этажное и подэтажное обрушение с отбойкой руды глубокими скважинами.

Системы с принудительным этажным обрушением на вертикальные компенсационные камеры применяют на Высокогорском, Абаканском, Таштагольском железных рудниках. Размеры целиков принимают больше, чем размеры камер. Последние выполняют функцию компенсационного пространства. Образование компенсационных камер ведется аналогично выемке их в этажно-камерных системах разработки (ОАО «Комбинат КМАруда). После проходки отрезного восстающего и расширения его в отрезную щель последовательно отбивают на нее встречными веерами скважин вертикальные слои руды.

Принудительное этажное и подэтажное обрушение без компенсационных камер предполагает отбойку секциями на массив ранее обрушенной руды или пустой породы. Единая технология очистной выемки для всех участков блока этажа характерна для этой системы. Поэтому ее относят к системам с одностадийной выемкой в отличие от этажно-камерных систем, систем этажного обрушения на компенсационные камеры и ряда других, в которых отработка блока осуществляется в две или даже три стадии (выемка камер, отработка потолочины и междукамерных целиков, выемка днища). Следует отметить, что в недостаточно устойчивых рудах отбойка в зажатой среде может вызвать нарушение массива руды и пройденных в них выработок. Поэтому применение подэтажного обрушения без компенсационного пространства требует в каждом отдельном случае проведения опытных работ.

В ряде случаев переход на системы с отбойкой в зажатой среде в сочетании с применением более производительного погрузочно-доставочного самоходного оборудования позволяет повысить эффективность системы этажного и подэтажного принудительного обрушения. Горно-Шорский филиал ОАО «ЕвразРуда» в последние годы запустил в эксплуатацию очередной комплекс подземного дробления и увеличил объемы добычи с 2 до 5 млн т в год, постепенно заменяя отбойку на компенсационное пространство и вибровыпуск торцевым выпуском с использованием самоходного оборудования.

Вариант с обрушением руды на почву подэтажных (доставочных) выработок, называемый часто шведским вариантом подэтажного обрушения или вариантом с торцовым выпуском, является одним из наиболее простых и производительных.

Горные выработки и пустоты, образовавшиеся после выемки полезного ископаемого, заполняются со временем или сразу обрушающимися породами, в результате чего массив пород над месторождением деформируется и оседает. Сдвижение пород обычно вызывает плавное оседание земной поверхности, без разрыва ее сплошности, или резкое, со значительными смещениями и провалами.

В горной практике на зарубежных и отечественных предприятиях имеют место технологические схемы отработки железорудных месторождений, использующие способы управления состоянием горного массива и поддержание его в устойчивом состоянии за счет оставления рудных целиков и за счет замены рудного массива искусственным (системы с закладкой).

Закладка пустот — заполнение их закладочным материалом: пустой породой, хвостами обогатительных фабрик, твердеющими смесями и т. п.

Способ используется в подземной разработке железных руд при необходимости сохранять земную поверхность от разрушения или минимизировать влияние горных работ на важные объекты. Это особенно важно из-за наличия водоносных горизонтов, водоемов или крупных сооружений на поверхности и пр.

Закладочным материалом чаще всего являются попутно или специально добываемые породы, хвосты обогатительных фабрик. По признаку заполнения выработанного пространства закладка может быть полной или частичной. Чаще всего используют:

- твердеющую гидравлическую закладку — закладочный материал включает вяжущие вещества. В результате твердения закладки образуется монолитный массив значительной устойчивости и прочности;

- сухую закладку — закладочный материал не содержит воды сверхъестественной влажности.

Расходы на добычу закладочного материала, его подготовку, транспортировку и размещение в очистных выработках в большинстве случаев значительны, однако этот способ обеспечивает безопасность работ, радикальное снижение потерь полезного ископаемого, а также препятствует деформации перекрывающих пород и земной поверхности.

В заключительной стадии выемки запасов очистные выработки погашают или приводят в такое состояние, в котором они будут находиться в течение неопределенно долгого времени.

Системы с закладкой выработанного пространства применяются в ОАО «ЕвразРуда» (Таштагольский филиал), в ОАО «Комбинат КМАруда» в качестве закладки используются сгущенные хвосты обогащения без вяжущих компонентов, ООО «Металл-групп» — Яковлевский рудник отрабатывает рудные запасы системой нисходящими слоями с твердеющей закладкой. Такой способ ведения горных работ позволяет управлять состоянием выработанного пространства, определяющего влияние на земную поверхность, и имеет высокую экологическую значимость.

Каждый из этих способов имеет свои сильные и слабые стороны, баланс которых в виде экономических и экологических показателей и определяет в каждом конкретном случае выбор применяемых технологий. Основное оборудование, используемое при подземной разработке железорудных месторождений приведено в таблице 2.5.

Подземный транспорт — комплекс сооружений и устройств, предназначенный для приема и перемещения различных грузов и людей. В задачи шахтного транспорта входит формирование и реализация встречных грузопотоков. Основная цель — транспортирование руды и породы от пунктов выгрузки из очистных блоков, проходческих забоев до перегрузочных комплексов, околоствольных дворов и рудничного подъема. Кроме того, транспорт осуществляет функцию своевременного и бесперебойного снабжения добычных участков материалами, инструментом, оборудованием и при необходимости для перевозки людей к месту работы и обратно.

Таблица 2.5 — Основное оборудование подземной разработки железорудных месторождений

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Подъемные машины	Выдача на поверхность руды и породы; спуск — подъем людей, материалов, инструмента, оборудования	Цилиндрические барабанные Бицилиндроконические Со шкивом трения
Вентиляторы главного, вспомогательного и местного проветривания	Для проветривания горных выработок, удаления вредных и ядовитых газов, пыли	Осевые Центробежные
Буровые перфораторы	Для бурения шпуров	Пневматические Гидравлические
Самоходные буровые каретки	Для бурения шпуров	На пневмошинном ходу На рельсовом ходу С пневмоперфораторами или гидроперфораторами
Станки и самоходные установки добычного бурения	Для бурения взрывных скважин	С использованием энергии сжатого воздуха С гидравлическими буровыми молотками С дизельным и электроприводом
Скреперные и вибродоставочные установки	Для перемещения и погрузки отбитой горной массы на проходческих и добычных работах	С электроприводом С использованием энергии сжатого воздуха
Ковшевые погрузочно-доставочные машины	Для перемещения и погрузки отбитой горной массы на проходческих и добычных работах	С использованием энергии сжатого воздуха С дизельным и электроприводом
Ковшевые погрузочно-доставочные машины	Для перемещения и погрузки отбитой горной массы на проходческих и добычных работах	С использованием энергии сжатого воздуха С дизельным и электроприводом
Контактные электровозы	Перевозка грузов — руды и породы, людей, материалов, инструмента, оборудования	Рельсовая колея в основном 750 мм Используют контактную сеть с напряжением постоянного тока 250 В
Шахтные самосвалы	Перевозка грузов — руды и породы, материалов, инструмента, оборудования	Шарнирно-сочлененное устройство рамы Дизельный привод

Окончание таблицы 2.5

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Существенные характеристики технологического оборудования
Дробилки	Дробление и измельчение материала	Конусные Щековые
Насосы	Транспортирование жидких сред (вода, пульпа)	Центробежные: стационарные, многоступенчатые проходческие подвесные, зумпфовые погружные

На рудниках, добывающих железные руды, используют:

- рельсовый транспорт (контактные электровозы, рудничные вагонетки);
- самоходное оборудование на пневмошинном ходу;
- конвейерную доставку.

В настоящее время наибольшее распространение находит рельсовый транспорт. Локомотивный транспорт — контактные электровозы, вагонетки с глухим днищем, боковой и донной разгрузкой, саморазгружающиеся сосуды. Большое разнообразие вспомогательных механизмов: опрокидыватели вагонеток, лебедки, толкатели, различное путевое оборудование и т. д. Успешная работа большого числа локомотивов обеспечивается автоматизацией процессов откатки. Она включает сигнализацию, централизацию и блокировку (СЦБ), дистанционное управление локомотивами и диспетчерскую службу.

Безрельсовое транспортирование с использованием самоходного оборудования применяется редко. Основной вид транспорта — автосамосвалы высокой грузоподъемности.

Ленточные конвейеры применяют только для транспортирования руды, прошедшей стадию дробления в подземных комплексах дробления.

Подъем и подземный транспорт — это звенья одной транспортной системы. По типу оборудования рудничный подъем разделяют на клетевой, скиповой, конвейерный, автомобильный, а по назначению — на главный (для выдачи руды) и вспомогательный. Для вспомогательного подъема по вертикальным стволам используют то же оборудование, что и для главного. Его назначение заключается в выдаче на поверхность породы (вагонами в клетях или скипами), спуске-подъеме людей (в клетях), спуске в шахту материалов, инструмента (в клетях), спуске рабочего и подъеме неисправного оборудования (малогабаритное — в клетях, крупногабаритное — на подвеске под клетями, целиком или частями или на специальных грузовых платформах в неразобранном виде по отдельным стволам).

На железных рудниках при значительной глубине разработки используют скиповой подъем руды. Высокая производительность скипов объясняется их большей вместимостью (до 50 т), скоростью движения (до 20 м/с и более, тогда как клети движутся со скоростью не более 8 м/с), а также полной автоматизацией погрузочно-разгрузочных операций и подъема — спуска скипов.

Конвейерный подъем эффективно применять на сравнительно неглубоких рудниках (до 400–600 м) большой производительности (свыше 4–5 млн т/год), а также с меньшей производительностью при доработке глубоких горизонтов для подъема руды

на вышележащий комплекс загрузки скипов. Как правило, применяют мощные ленточные конвейеры. Для использования конвейерного подъема необходимо сравнительно мелкое дробление руды на куски размерами не более 0,1–0,15 м. Угол наклона ствола не должен превышать 16°–18°.

Автомобильный подъем руды применяется в нашей стране в единичных случаях. Угол наклона автомобильных уклонов, съездов, стволов составляет 6°–8°.

Шахтный водоотлив предназначен для откачки воды из горных выработок шахты. Главный рудничный водоотлив осуществляет откачку общешахтного притока воды посредством подъема воды по трубам на поверхность, участковый водоотлив — перекачку воды из отдельных участков шахты к водосборникам главного водоотлива (реже — непосредственно на поверхность земли). Схема водоотлива определяется проектом в зависимости от способа вскрытия, порядка разработки и гидрогеологических условий месторождения.

Большинство железорудных шахт имеют значительные глубины, на них применяется ступенчатый водоотлив, когда из нижних горизонтов вода перекачивается в промежуточные водосборники вышележащих горизонтов и затем на поверхность.

В систему шахтного водоотлива входят: водоотводные канавки, водосборники, насосные станции с водозаборными колодцами и водоотливными установками, с всасывающими и нагнетательными трубопроводами. В стволах оборудуются зумпфовые водоотливы, перекачивающие воду в шахтную водоотливную сеть.

Шахтные водосборники и насосные камеры располагают с учетом схем вскрытия и других горно-геологических и горнотехнических условий. Для главного водоотлива на шахтах применяются в основном центробежные многоступенчатые секционные насосы в горизонтальном исполнении, допускающие содержание механических примесей в воде (частицы до 0,1–0,2 мм) до 0,1 % — 0,2 %. Количество насосов строго регламентируется.

Для подачи воды на поверхность в стволе шахты прокладываются несколько ставов нагнетательных труб — рабочие и резервные.

Водоотливные установки оборудуются аппаратурой автоматизации, контроля и защиты. Аппаратура автоматизации обеспечивает автоматическую заливку, пуск и остановку насосов в зависимости от уровня воды в водосборнике, поочередную работу насосов, автоматическое включение резервных насосов при аварийном подъеме уровня воды в водосборнике и неисправности работающего насоса, дистанционный контроль и сигнализацию об уровне воды в водосборнике.

Рудничная вентиляция или проветривание шахт применяется для создания в подземных выработках нормальных атмосферных условий, исключающих вредное воздействие на человека ядовитых газов, высоких и низких температур. Основной принцип организации проветривания горных выработок шахты (рудника) — создание сквозной вентиляционной струи за счет общешахтной депрессии и пропуска этой струи через последовательно соединенные выработки. Используется нагнетательный, всасывающий или нагнетательно-всасывающий способ вентиляции и специальный порядок распределения и движения воздуха по выработкам. Воздух подают в шахту по одним выработкам, а отводят на поверхность по другим. Свежий воздух по выработкам распределяют в соответствии с потребностью с помощью вентиляционных устройств: автоматических вентиляционных дверей, шлюзов и перемычек.

Источником движения воздуха в горных выработках являются шахтные вентиляторы главного и местного проветривания. Используются центробежные вентиляторы типа ВЦ и осевые вентиляторы типа ВОД. Широко применяется частотное регулирование приводных электродвигателей. Главные вентиляторные установки (ГВУ) снабжаются системой дистанционного управления приводом вентилятора и контроля параметров работы с пульта главного диспетчера шахты. ГВУ оборудуют системой реверсирования вентиляционной струи. При работе вентиляторов на нагнетание в ГВУ дополнительно устраивается калориферная установка для подогрева воздуха в зимнее время. По типу теплоносителя калориферные установки могут быть с прямым нагревом воздуха с использованием природного газа, электрическими, паровыми или водяными.

При прохождении по подземным выработкам вентиляционной струи к рудничному воздуху примешиваются пыль, различные газы, появляющиеся вследствие производства взрывов, работы дизельных машин, гниения деревянной крепи и т. д. Основная мера борьбы с примесями вредных газов — разжижение их свежим воздухом до предельно допустимых концентраций, например: газообразных продуктов взрыва ВВ (в первую очередь CO — 0,0017 %, NO_2 % — 0,00026 %); выхлопных газов, работающих в выработке машин с ДВС. Все машины с дизельными ДВС должны быть оборудованы двухступенчатой системой очистки выхлопных газов (каталитической и жидкостной).

Для эффективного выноса пыли из забоя скорость воздуха должна быть не менее расчетной, кроме того для борьбы с запыленностью шахтного воздуха применяют специальный комплекс мер, среди которых наиболее распространено гидрообеспыливание.

При подземной добыче железной руды основными загрязнителями являются газопылевые выбросы в атмосферу — смесь атмосферного воздуха с различными газообразными и пылевыми примесями, выделяющимися при производстве буровзрывных работ, очистной выемки и пр.

В периоды проведения массовых взрывов концентрация газопылевых примесей в исходящей струе многократно возрастает.

Обращение с пустыми породами. В зависимости от условий залегания извлекают не только полезное ископаемое, но и пустые породы или некондиционную руду. Кроме того, создание и постоянное сохранение резерва вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов требует значительных объемов проходческих работ. Это существенные объемы горной массы при годовой добыче в несколько миллионов тонн железной руды. Удельный расход выработок на 1000 т сырой руды: горно-подготовительных выработок может достигать 2–6 $м^3$, нарезных — 8–14 $м^3$. Во время эксплуатации месторождения большую часть нарезных выработок проводят по рудному массиву (попутная добыча), капитальные и горно-подготовительные выработки, как правило, проходят по вмещающим породам. Пустые породы из добычи и от проходки горных выработок необходимо транспортировать отдельным потоком, выдавать на поверхность и складировать в отвалы. Для этого используется рудничный транспорт и подъем, на поверхности используется автомобильная и бульдозерная техника. Технология отвалообразования и комплексная механизация аналогичны процессам отвалообразования пустых пород на открытых горных работах.

Руды, по своим кондициям не отвечающие в настоящее время требованиям переработки или потребителей, попутные полезные ископаемые, не используемые в данный момент, укладываются в отдельные отвалы.

Существует положительная практика применения пустых породы в качестве сухой закладки подземного выработанного пространства, зон сдвижения и воронок обрушения на земной поверхности.

Входные и выходные потоки и основное технологическое оборудование, используемое при обращении с пустыми породами, представлены в таблице 2.6.

Подземная разработка железорудных месторождений влияет на атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, геологическую среду, отчуждение земель. Масштабы и значение этих воздействий на окружающую среду зависят от размера и интенсивности горнодобывающей деятельности в сочетании с топографией и климатическими условиями района, особенностями залегания месторождения, методами добычи, сельскохозяйственной деятельностью в регионе, наличием лесных заповедников и т. д.

Таблица 2.6 — Входные и выходные потоки и основное технологическое оборудование, используемое при обращении с пустыми породами

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Эмиссии	Основное технологическое оборудование
Электроэнергия Сжатый воздух Техническая вода ГСМ	Транспорт Подъем Отвалообразование	Отвалы	Пустая порода Пыль Выбросы транспорта Естественный сток с породных отвалов	Подъемные машины и комплексы Локомотивы, вагоны, опрокидыватели Автотранспорт, бульдозеры

Источниками загрязнения атмосферы являются газопылевые выбросы, образующиеся главным образом от ведения буровзрывных и добычных работ. Газы и пыль выделяются также с поверхности породных отвалов и складов полезных ископаемых.

Интенсивное пыле- и газообразование происходит во время следующих процессов: бурение шпуров и скважин; взрывание и погрузка взорванной горной массы; транспортировка, погрузка и перегрузка сырой руды и породы; грохочение, дробление; работа проходческих, добычных и прочих машин и механизмов. Однако, подвергаясь процессу пылеподавления и гидрообеспыливания и проходя по горным выработкам, запыленный воздух почти полностью самоочищается. Исходящий воздух может иметь потенциальные выбросы твердых частиц, окиси углерода, оксидов азота и летучих органических соединений. Общие методы для сведения к минимуму выбросов твердых частиц включают: использование туманообразователей, орошение горной массы, распыление воды для поддержания достаточного увлажнения; использование экологически приемлемых химических аэрозолей для стабилизации поверхностей. В процессе отвалообразования рекомендованы: рекультивация участков, которые не будут нарушены в будущем; покрытие самосвалов или железнодорожных вагонов для сведения к минимуму выбросов во время транспортировки материала; установление ограничения

скорости на грунтовых поверхностях, чтобы свести к минимуму выбросы пыли при движении транспортных средства, учитывая местные погодные условия.

Основной фактор воздействия на водную среду — сброс шахтных вод, загрязненных взвешенными частицами и растворенными химическими веществами, и естественный сток с породных и рудных отвалов, где возможно бесконтрольное распространение инфильтрующихся вод. Кроме того, в подземных условиях загрязняются дренируемые грунтовые воды, а при откачке шахтной воды образуются депрессионные воронки, радиус которых может достигать десятков километров.

Шахтный откачиваемый объем довольно стабильный. Количество воды обычно не меняется даже сезонно. Вода может быть плохого качества и содержать остатки взрывчатых веществ, твердых частиц, растворимые соединения металлов и может иметь низкий pH. Потенциально не исключено присутствие нефтепродуктов, обезжиривающих и моющих средств и других вредных веществ, которые могут повлиять на качество воды и водные экосистемы.

Все предприятия с подземной добычей железных руд обязаны осуществлять очистку шахтных и сточных вод. Следовательно, устройство оборотных систем водоснабжения, ликвидация отвалов, сокращение поступления примесей в сточные воды путем совершенствования технологических процессов являются первоочередными задачами комплекса мероприятий, предупреждающих загрязнение водотоков и водоемов сточными водами.

Горный и земельный отвод с поверхностным комплексом зданий и сооружений, отвалы, очистные сооружения и пр. занимают значительные территории, которые используются продолжительное время. Подземная добыча вследствие извлечения руды и вмещающих пород сопровождается плавным или интенсивным (редко) сдвижением горного массива. В большинстве случаев эти процессы являются причиной деформации участков земной поверхности. На таких участках образуются воронки обрушения, происходят оползни, обвалы. Однако добыча железной руды подземным способом требует существенно меньшего отчуждения земель и не вызывает столь значительных нарушений и изменений инфраструктуры и ландшафтов, как открытые горные работы. Кроме того, объемы размещаемых на постоянное хранение пустых пород можно все же уменьшить, используя для заполнения подземных пустот рудника и воронок обрушения на поверхности.

Маркшейдерскими службами каждого предприятия в обязательном порядке производится контроль образования подземного выработанного пространства, а также совместно с экологическими и специализированными подразделениями и организациями осуществляется мониторинг влияния его на окружающую среду.

2.3 Обогащение железных руд

2.3.1 Общие сведения

Обогащение руд — совокупность методов разделения металлов и минералов друг от друга по разнице их физических и/или химических свойств.

В результате обогащения составные компоненты руды выделяются в отдельные продукты: концентраты (один или несколько) и хвосты (см. рисунок 2.5). Если из руды

получают два и более концентратов различных полезных компонентов, обогащение называется комплексным.

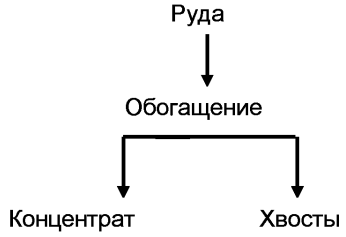


Рисунок 2.5 — Принципиальная схема обогащения с выделением двух продуктов — концентрата и хвостов

Технология обогащения руды представляет собой ряд последовательных операций (процессов), в результате которых происходит отделение одного или нескольких полезных компонентов от примесей. Процессы обогащения по своему назначению делятся на подготовительные, основные (собственно процессы разделения минералов) и вспомогательные (см. рисунок 2.6).

Подготовительные процессы — дробление, измельчение, грохочение и классификация предназначены для получения продукта заданной крупности, требуемой для последующего процесса.

Дробление и измельчение — процессы уменьшения размеров кусков полезных ископаемых под воздействием внешних сил. При дроблении получают продукты крупнее 5–8 мм, при измельчении — менее 5 мм.

Для разделения руды, дробленого или измельченного материала на продукты различной крупности применяют грохочение и классификацию.

Грохочение — рассев руды на классы крупности на решетах или ситах с калиброванными отверстиями.

Классификация — разделение дробленой или измельченной руды по крупности, основанное на выносе мелких частиц движущимся водным или воздушным потоком.

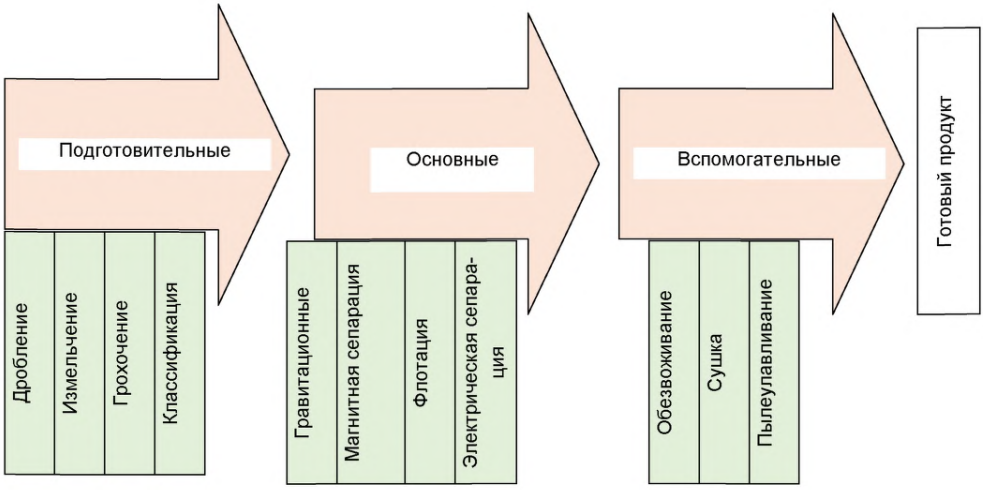


Рисунок 2.6 — Обобщающая схема технологического процесса обогащения

К основным относятся процессы собственно обогащения — разделения минералов, в результате которых полезные компоненты выделяются в виде концентратов, а порода и примеси удаляются в виде хвостов. Процессы обогащения (разделения) основаны на различиях в физических или физико-химических свойствах разделяемых минералов: крупности, форме, плотности, магнитной восприимчивости, электропроводности, смачиваемости и др.

В гравитационных процессах используются различия в плотности, крупности и форме зерен.

Магнитный метод (магнитная сепарация) обогащения основан на различиях удельной магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости минералов, слагающих руду.

Электрический метод (электрическая сепарация) обогащения использует различия в электропроводности и способности минералов приобретать под воздействием тех или иных внешних сил различные по величине и знаку электрические заряды.

Флотационный метод (флотация) обогащения основан на различиях в физико-химических свойствах поверхности минералов, обуславливающих их различную смачиваемость водой, характеризуемых свойствами гидрофильности или гидрофобности поверхности различных минералов, определяемых краевым углом смачивания.

Специальные методы обогащения основаны на различиях в оптических (фотометрическая сепарация), люминесцентных (люминесцентная сепарация), радиометрических (радиометрическая сепарация) и некоторых других свойствах минералов.

К вспомогательным относятся процессы обезвоживания, пылеулавливания, сушки. Сушка является одним из способов обезвоживания.

Подготовительные, основные и вспомогательные процессы в совокупности образуют технологическую линию, или технологический процесс обогащения. Схема процесса обогащения представлена на рисунке 2.7.

Особое место на обогатительной фабрике занимают процессы производственного обслуживания, предназначенные для нормального функционирования технологических процессов. К числу процессов производственного обслуживания относятся внутрифабричный транспорт руды и продуктов обогащения (конвейеры, пульпопроводы), водоснабжение, электроснабжение, снабжение сжатым воздухом, контроль технологических параметров процесса, технологический контроль качества продуктов обогащения и т. д.

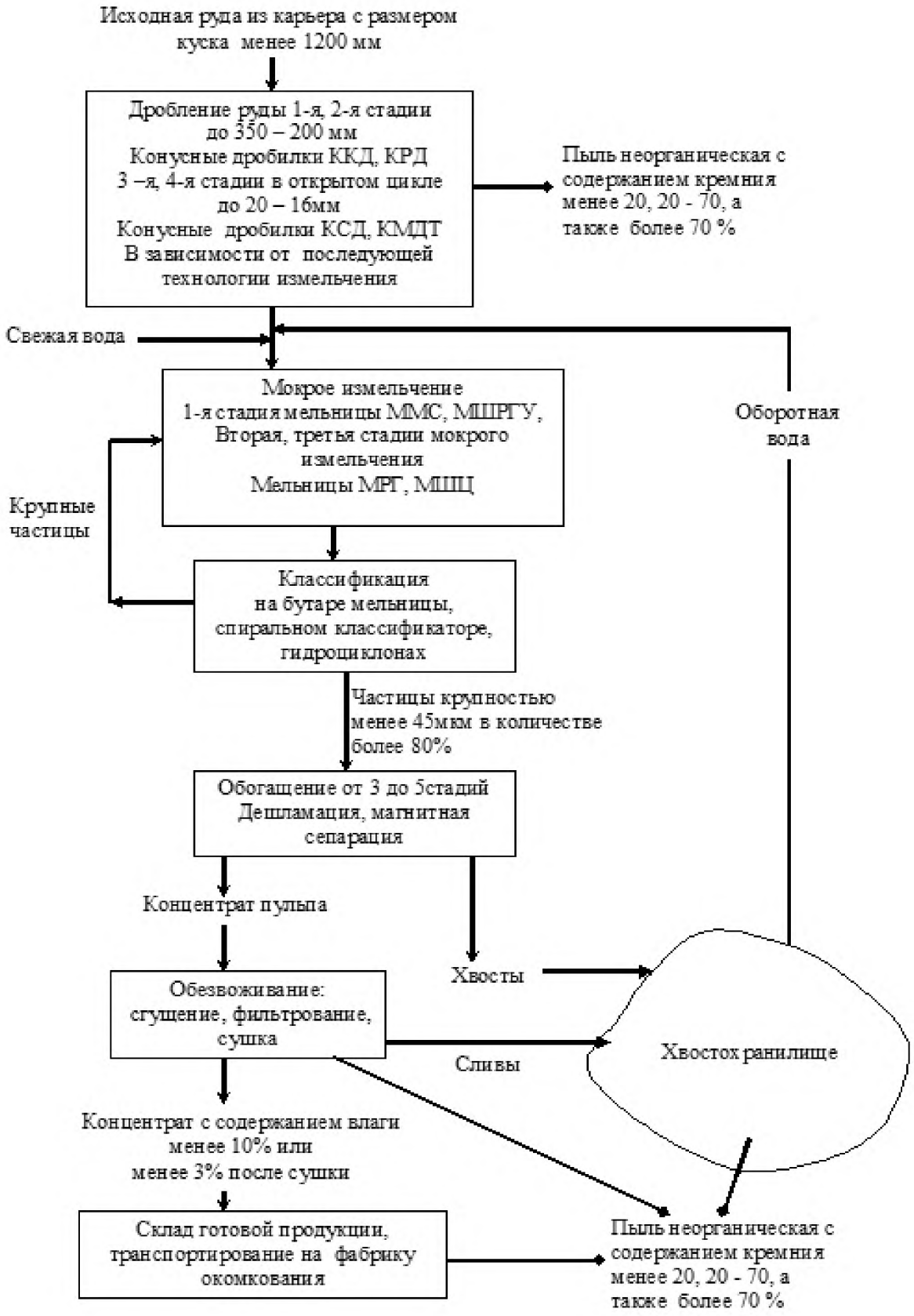


Рисунок 2.7 — Обобщенная структурная схема технологической цепочки обогащения железных руд

2.3.2 Дробление, измельчение, классификация

Дробление — уменьшение крупности материала под воздействием внешних сил. По своему назначению процесс дробления может быть подготовительным и самостоятельным.

В зависимости от крупности исходной руды и крупности дробленого продукта различают три стадии дробления:

1) крупное — от 1500–300 до 350–100 мм;

2) среднее — от 350–100 до 100–40 мм;

3) мелкое — от 100–40 до 30–5 мм.

Процесс дробления является энергоемким и дорогостоящим, поэтому рекомендуется соблюдать принцип «не дробить ничего лишнего», применяя предварительное или контрольное грохочение.

Для осуществления этого принципа перед каждой стадией дробления следует путем грохочения выводить мелкий класс. В зависимости от сочетания операций дробления и грохочения схема рудоподготовки бывает открытая и замкнутая.

При дроблении в открытом цикле каждый кусок руды проходит через дробилку данной стадии только один раз (см. рисунок 2.8). При дроблении в замкнутом цикле наиболее крупные и чаще труднодробимые куски руды выделяются из дробленого продукта на грохоте (контрольное грохочение) и возвращаются на додрабливание в ту же дробилку (см. рисунок 2.9).

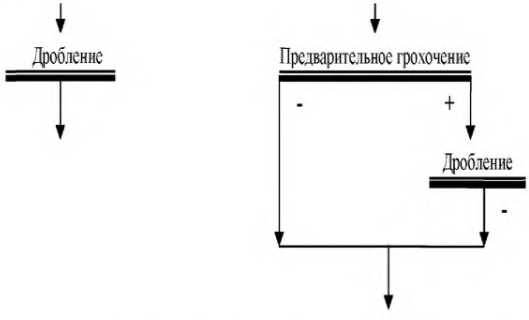


Рисунок 2.8 — Схемы одностадиального дробления в открытом цикле

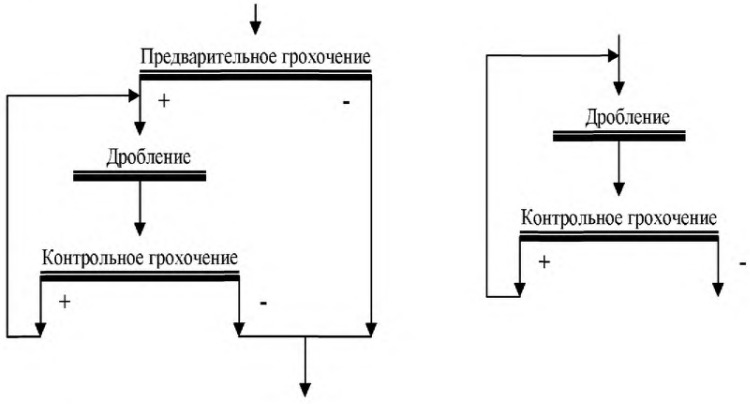


Рисунок 2.9 — Схемы одностадиального дробления в замкнутом цикле

Измельчение — процесс разрушения (дезинтеграции) кусков (частиц) твердого материала для доведения их размера до требуемой крупности (от 5 мм до десятков микрон), гранулометрического состава, заданной или требуемой, в зависимости от вкрапленности полезного минерала, степени раскрытия минералов.

Классификация сыпучих материалов — это разделение дисперсного материала на классы крупности.

Классификация может быть как самостоятельной, так и подготовительной или вспомогательной операцией. Самостоятельную операцию называют сортировкой. Цель сортировки — получение товарного продукта с заданным зернистым составом для отправки потребителю. Классификация является подготовительной, если необходимо выделить имеющийся мелкий класс, чтобы не направлять его в процесс дробления или измельчения. Классификация является вспомогательной операцией, когда крупные фракции отделяют для возврата на повторное дробление или измельчение.

Существуют три вида классификации: механическая — грохочение, пневматическая — сепарация и гидравлическая.

Грохочение — это способ разделения материала по классам крупности путем просеивания через разделительную перегородку, называемую просеивающей поверхностью. Сепарация — это разделение за счет различных скоростей движения частиц в воздушном потоке. Гидравлическая классификация основана на различии скоростей осаждения или движения в жидкой среде.

Тонкое грохочение, применяемое для разделения частиц в диапазоне крупности от 10 мм до 38 мкм, базируется на применении вибрационных грохотов, совершающих эллиптическое или прямолинейно направленное движение. Тонкое грохочение обычно осуществляется с высокой частотой и низкой амплитудой колебаний вибрационных грохотов.

В технологическом процессе обогащения железных руд наибольшее распространение получили грохочение и гидравлическая классификация (см. рисунок 2.10).

Рисунок 2.10 — Способы классификации материала

2.3.3 Обогащение

Обогащение — это процессы разделения минералов на полезный компонент и пустую породу.

К основным методам обогащения относятся:

Гравитационные — это такие методы, в которых разделение минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером и формой, обусловлено различием в характере и скорости их движения в текучих средах под действием силы тяжести и сил сопротивления. Они могут быть собственно гравитационными (разделение в поле силы тяжести — обычно для относительно крупных частиц) и центробежными (разделение в центробежном поле — для мелких частиц). Если разделение происходит в воздушной среде, то процессы называют пневматическими; в остальных случаях — гидравлическими. Наибольшее распространение в обогащении получили собственно гравитационные процессы, осуществляемые в воде.

По типу используемых аппаратов гравитационные процессы можно разделить на отсадку, обогащение в тяжелых средах и обогащение на наклонной плоскости в потоке воды: концентрацию на столах, обогащение на шлюзах, в желобах, винтовых сепараторах. Применяют также относительно новые гравитационные процессы — обогащение в вибрационных концентраторах, противоточных сепараторах, обогатительных циклонах с водной средой и др.

Флотационные методы обогащения — методы, основанные на различиях в физико-химических свойствах поверхности минералов, которые обуславливают их различную смачиваемость водой. Флотация основана на различном закреплении частиц разделяемых минералов на межфазной границе, что определяется различием в поверхностных свойствах минералов. При пенной флотации, наиболее применяемой в промышленности, пульпу насыщают газом, и частицы некоторых минералов прилипают к пузырькам газа и всплывают на поверхность, образуя минерализованную пену, которая легко удаляется механическим путем. Другие минералы не прилипают и остаются в объеме пульпы. По способу насыщения пульпы газом различают несколько видов пенной флотации, однако наибольшее распространение получило насыщение пульпы воздухом.

Магнитные методы обогащения основаны на различиях в магнитных свойствах разделяемых минералов, что получило широкое распространение в производстве магнетитовых концентратов.

Электрическое обогащение основано на различиях в электрических свойствах разделяемых минералов и осуществляется под влиянием электрического поля.

Специальные методы обогащения включают ручную рудоразборку, радиометрическое обогащение, обогащение по трению и форме, обогащение по упругости, термоадгезионное обогащение, а также обогащение, основанное на селективном изменении размера куска при дроблении. Наибольшее распространение из перечисленных методов получило радиометрическое обогащение, основанное на различии в способности минералов отражать, испускать и поглощать различные виды излучения. Радиометрическое обогащение широко применяют при переработке руд цветных металлов.

Комбинированные методы используют пиро- или гидрометаллургические операции, приводящие к изменению химического состава сырья. Используемые пирометаллургические операции — обжиг, плавка, конвертирование; гидрометаллургические — выщелачивание, осаждение, экстракция, сорбция. Например, обжиг применяют для изменения магнитных свойств слабомагнитных минералов железа (карбонатов, оксидов, гидроксидов). При нагревании до 600 °С — 800 °С гематит (красный железняк Fe_2O_3) восстанавливается газообразными или твердыми восстановителями (окись углерода, водород, природный газ, уголь и др.) до сильномагнитного магнетита Fe_3O_4. Процесс этот иногда называют восстановительным обжигом. Обожженную руду обогащают на магнитных сепараторах со слабым магнитным полем аналогично обогащению природных магнетитовых руд.

Магнитный метод обогащения руд

Этот метод наиболее широко применяется для обогащения руд черных и доводки некоторых цветных и редких металлов.

Разделение руды в магнитном поле под влиянием магнитных и механических сил осуществляется в режиме извлечения магнитных минералов (нижнее питание) или в режиме их удерживания (верхнее питание). Средой, в которой осуществляется разделение минералов, может быть воздух или вода. В соответствии с этим процесс называется сухой или мокрой магнитной сепарацией.

Магнитные свойства минералов характеризуются удельной магнитной восприимчивостью χ, которую измеряют в кубических сантиметрах на грамм. По ее значению все природные минералы разделены на три группы: сильномагнитные, слабомагнитные и немагнитные.

К сильномагнитным, или ферромагнитным, относятся в основном железосодержащие минералы (магнетит, пирротин и др.) с удельной магнитной восприимчивостью не менее $3 \cdot 10^{-3}$ $см^3/г$, извлекаемые на сепараторах со слабым полем напряженностью Н <1500 Э (до 120 кА/м).

К слабомагнитным относится большая группа минералов (например, гематит, ильменит, гранат) с меньшей удельной магнитной восприимчивостью: от $3 \cdot 10^{-3}$ до $15 \cdot 10^{-6}$ $см^3/г$. Извлечение этих минералов при магнитном обогащении производится на сепараторах с сильным полем напряженностью 10 000–20 000 Э (от 800 до 1600 кА/м).

К немагнитным относятся минералы (кварц, апатит и др.), обладающие удельной магнитной восприимчивостью менее $15 \cdot 10^{-6}$ $см^3/г$ и не извлекаемые методами магнитной сепарации на современных сепараторах с полем напряженностью до 20 000 Э.

Минеральные зерна, для которых магнитная сила больше суммы противодействующих механических сил (тяжести, инерции, центробежной, сопротивления среды и т. д.), будут притягиваться к полюсам магнитной системы сепаратора и извлекаться в магнитный продукт. Минеральные зерна с низкой магнитной восприимчивостью практически не меняют намагниченности, не взаимодействуют с внешним магнитным полем, и движутся в магнитном поле по траектории, зависящей от воздействия только механических сил. Эти минеральные зерна выделяются в немагнитный продукт.

В зависимости от типа устройства для транспортирования магнитного продукта из зоны действия магнитной силы различают барабанные, валковые, роликовые, дисковые, ленточные, шкивные и другие сепараторы. В свою очередь барабанные, валковые, роликовые и ленточные сепараторы бывают с верхней и нижней подачей обогащаемого материала. Такие сепараторы можно использовать для сухой и мокрой сепарации. Барабанные, валковые, шкивные и ленточные сепараторы предусмотрены для обогащения сильномагнитных руд, роликовые, валковые и дисковые — для слабомагнитных руд.

Материал в сепаратор можно подавать в сухом или в мокром виде (в виде пульпы). Так как во втором случае устраняется пылеобразование, то он имеет гораздо большее распространение.

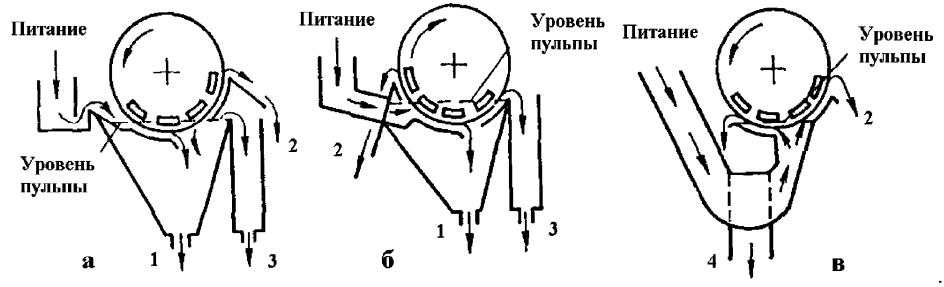
Для обогащения руд крупностью более 6 мм применяется сухая магнитная сепарация. Руды крупностью менее 1,6 мм обогащаются предпочтительно мокрым способом. Кроме подавления пылеобразования это позволяет повысить эффективность обогащения, так как в водной среде разделение мелких частиц более полное.

Для сухого обогащения крупнокусковых магнетитовых руд применяют трехбарабанные сепараторы с верхней загрузкой руды.

При мокром обогащении процесс проходит в 3–5 стадий, на каждой из которых руда измельчается и подвергается магнитной сепарации. Это позволяет избежать больших расходов на измельчение пустой породы. На первых стадиях для руды крупностью 5–50 мм применяется сухая сепарация, при этом удаляется значительная часть немагнитных компонентов. Промпродукт сухой сепарации для более полного раскрытия зерен руды направляют на мокрое измельчение и магнитную сепарацию в водной среде.

Принципиальные схемы устройства магнитных сепараторов для мокрого обогащения руд с нижней подачей материала показаны на рисунке 2.11. В прямоточных сепараторах (а) направления движения барабана и потока пульпы совпадают, в противоточных (б) — направлены навстречу друг другу, а в полупротивоточных (в) — пульпа

подается снизу и разделяется на два потока: по направлению движения барабана (магнитная часть) и против, с нижней подачей материала.



1 — зернистый немагнитный продукт; 2 — магнитный продукт; 3 — тонкозернистый немагнитный продукт; 4 — зернистый и тонкозернистый немагнитные продукты

Рисунок 2.11 — Схемы магнитных сепараторов для мокрого обогащения руд

Основным узлом магнитного сепаратора является барабан, изготовленный из немагнитного материала, с резиновой обклейкой, в котором расположена неподвижная магнитная система. Исходный материал в виде пульпы через загрузочную коробку подается на загрузочный лоток и направляется в магнитное поле.

Немагнитные частицы (отходы) под действием силы гравитации попадают вниз, а магнитные (концентрат) — притягиваются к барабану и увлекаются им до разгрузочного лотка. По выходу из зоны действия магнитного поля концентрат отстает от барабана и попадает на лоток. Кроме того, на барабан подается вода через так называемое брызгало, с равномерным и безнапорным переливом через порог по всей длине лотка и на поверхность барабана сепаратора выше концентрационного потока для смыва оставшегося на барабане концентрата.

В настоящее время в производстве концентрата применяются сепараторы четырех типоразмеров 90/250, 120/300, 150/200 и 150/300, где первая цифра соответствует диаметру барабана в сантиметрах, а вторая обозначает длину барабана в сантиметрах.

Производительность сепаратора с барабаном диаметром 120 см ориентировочно составляет 120 т/ч, а с барабаном 150 см — 250 т/ч. Однако производительность сепаратора сильно изменяется в зависимости от крупности, магнитных свойств материала, плотности пульпы.

При обогащении тонкоизмельченного материала в прямоточных сепараторах не все частицы рудного минерала успевают притянуться к барабану и попадают в отходы. Применение противотока устраняет этот недостаток — поток исходного материала движется навстречу вращающемуся барабану. Он увлекает наверх концентрат, который сливается через специальный порог, а немагнитные частицы проходят под барабаном через ванну и сливаются вниз. Такие сепараторы позволяют обеспечить извлечение железа до 90 %.

Прямоточный режим сепарации эффективен, когда содержание частиц класса менее 74 мкм не превышает 30 %, как правило, это первая стадия обогащения.

Если в питании сепаратора содержится от 30 % до 70 % частиц класса минус 74 мкм, применяют мокрые барабанные магнитные сепараторы, работающие в режиме противотока, т. е. сепараторы ПБМ-П (буква П после тире показывает, что сепаратор работает в противоточном режиме). Противоточный режим организуется так, что исходная пульпа с содержанием твердого 35 % — 40 % подается в ванну сепаратора, немагнитный продукт движется в том же направлении, что и исходное питание, а барабан вращается навстречу. При этом часть исходной пульпы увлекается барабаном (т. е. в основном магнитный продукт), а другая часть пульпы движется в своем направлении. В связи с тем, что глубина рабочей зоны не меняется, то гидродинамический режим в ванне становится интенсивным, так как скорость пульпы возрастает.

Полупротивоточный режим работы барабанных мокрых сепараторов применяется, когда содержание класса меньше 74 мкм становится более 70 % и может увеличиваться до 95 %.

Обозначение сепаратора записывается как ПБМ-ПП. Две буквы П после тире обозначают, что сепаратор имеет конструкцию ванны, при которой исходное питание — пульпа — подается снизу ванны, а барабан с магнитной системой вращается в направлении, противоположном движению немагнитного продукта.

Каждый из этих типов сепараторов имеет свои области применения, где они наиболее эффективны.

2.3.4 Обезвоживание: сгущение и фильтрование

Обезвоживанием называется процесс удаления воды (влаги) из продуктов обогащения.

Процесс обезвоживания состоит из операций механического удаления воды из продуктов обогащения — сгущения, фильтрации и термической сушки. В результате сгущения получают концентрат с содержанием твердого компонента в песках сгущения до 60 % — 75 %. При фильтровании содержание влаги в концентрате снижается до 7 % — 15 %, при сушке — до 0,5 % — 7 %.

На процесс обезвоживания оказывают влияние свойства поверхности минералов, их минералогический и гранулометрический состав, удельная поверхность, содержание твердого компонента в исходной пульпе, плотность твердой фазы, значение pH среды, температура пульпы и друге факторы.

Сгущение — процесс повышения содержания твердого компонента в пульпе путем осаждения и уплотнения твердых частиц с вытеснением слоя воды. Как правило, в сгустителях параллельно происходит усреднение концентрата, поступающего с нескольких технологических линий обогащения.

Фильтрованием называются операции обезвоживания мелкозернистых пульп и суспензий, основанные на принудительной, под давлением или вакуумом, фильтрации содержащейся в них воды через фильтрующую пористую перегородку (поверхность), непроницаемую для твердых частиц пульпы (суспензии). Твердые частицы, задержанные фильтрующей перегородкой, называются осадком, а вода, проходящая сквозь перегородку, — фильтратом. Фильтрование осуществляется на дисковых вакуум-фильтрах, ленточных, барабанных и пресс-фильтрах. Рабочим элементом дисковых

вакуум-фильтров является фильтрующая поверхность — перегородка. По обеим сторонам фильтрующей перегородки создается разность давлений для принудительной фильтрации воды за счет вакуума — разрежения воздуха — путем откачивания его из-под фильтрующей перегородки. В качестве фильтрующей перегородки используются специальная ткань, пористая керамика.

Фильтрование происходит следующим образом. Пульпа подается в ванну, в которую погружаются диски с секторами из фильтрующей поверхности. Под действием вакуума вода из пульпы фильтруется через осадок из твердых частиц и фильтрующую поверхность. После накопления достаточного слоя осадка подача пульпы на фильтрующую поверхность прекращается и осадок еще некоторое время просушивается прососом воздуха через него, а затем снимается с фильтрующейся поверхности (см. рисунок 2.12).

Фильтрование в пресс-фильтрах происходит за счет избыточного давления, создаваемого сжатым воздухом. Исходную суспензию под давлением подают одновременно во все камеры. При заполнении камер происходит процесс фильтрования. Жидкая фаза, проходя через слой фильтроткани, удаляется по специальным каналам между ребрами пластин и отверстиями в плитах. Твердые частицы удерживаются в фильтроткани. Фильтрование продолжается до полного заполнения камер осадком, затем осуществляют отжатие кека и отдувку осадка сжатым воздухом. По окончании фильтрования пластины раздвигаются, и готовый концентрат разгружается на ленточный конвейер. После окончания разгрузки и промывки пластин цикл фильтрования повторяют.

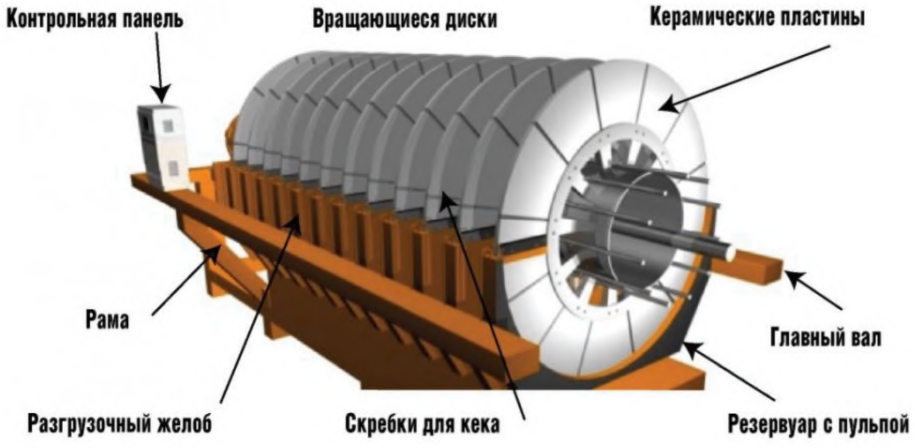


Рисунок 2.12 — Дисковый вакуумный фильтр

Фильтрация концентратов на обогатительной фабрике осуществляется на фильтровальном участке.

2.3.5 Сушка концентрата (аглоруды)

Сушка — широко распространенный (хотя и вспомогательный) процесс при обогащении твердых полезных ископаемых. Сушка — последняя стадия обезвоживания твердых материалов.

Влажность высушенных продуктов обогащения должна исключить возможность их смерзаемости в зимнее время при перевозке или хранении. Допустимая для транспортировки влажность продуктов руд и их концентратов составляет 3 % — 5 %.

Для сушки железорудного концентрата (аглоруды) могут применяться: барабанная конвективная сушка, трубы-сушилки (чаще всего применяется для материала крупностью до 15 мм), сушилки с кипящим слоем (сушка материала крупностью 6–10 мм). При конвективной сушке в качестве теплоносителя и одновременно агента сушки используются горячие дымовые газы от сгорания мазута или природного, доменного и др. газов.

Для контактной сушки используют подовые сушилки, в которых генератором тепла являются электропечь, барабанные трубчатые сушилки. При контактной сушке в качестве теплоносителя используется отработанный пар, тепло от которого передается агенту сушки (воздуху) и материалу через нагретые паром поверхности.

На обогатительных фабриках наибольшее распространение получили сушилки с конвективным способом сушки с прямым теплообменом (см. рисунок 2.13).

Паровые сушилки находят ограниченное применение.

В целях интенсификации теплообменных процессов внутри сушильных барабанов устанавливают внутренние насадки различной конструкции, в результате чего тепло материалу передается не только конвективным способом от газового потока, но и контактным способом от нагретых насадок.

При сушке продукты обогащения обезвоживаются за короткий промежуток времени до воздушно-сухого состояния. Процесс сушки зависит от влажности продукта, подвергаемого сушке, его гранулометрического состава, параметров теплоносителя.

Газовоздушные потоки направляются в системы очистки.

Улавливаемая пыль гидротранспортом направляется в хвостовой лоток. Во избежание потерь концентратов (аглоруды) дренажные смывки из отделений сушки перекачиваются раздельно в сгустители отделения сгущения.

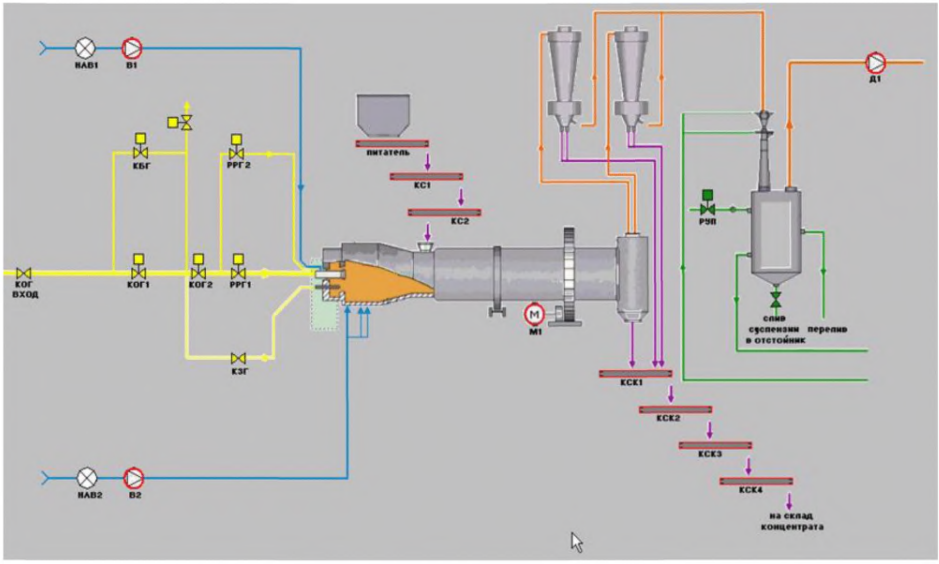


Рисунок 2.13 — Типовая схема сушки концентрата

Дымовые газы с температурой 600 °С — 900 °С поступают в сушильный барабан в виде газовоздушной смеси и проходят вдоль барабана в разгрузочную камеру, откуда вентилятором подаются в очистные устройства, а затем выбрасываются в атмосферу или частично направляются снова в процесс (см. рисунок 2.13).

При вращении барабана материал постепенно перемещается к разгрузочной камере. Сушильный агент движется в барабане под действием разрежения, создаваемого дымососом.

Сушильные барабаны выпускают диаметром 1–2,2 м, длиной 4–16 м и диаметром 2,5–3,5 м, длиной 14–27 м. Имеются также сушильные барабаны диаметром 4 и 4,5 м и длиной 28–35 м.

Для уменьшения потерь тепла наружную поверхность барабана покрывают кожухом из листовой стали, заполненным теплоизолирующим материалом. При этом температура наружной стенки не должна превышать 40 °С. На концах сушильного барабана устанавливают уплотнительные устройства с целью предотвращения подсосов воздуха.

Степень заполнения объема барабана в среднем составляет 10 % — 12 %, время пребывания материала в барабане — от 15 до 40 мин в зависимости от его начальной и конечной влажности.

Достоинства газовых барабанных сушилок: высокая надежность в работе, применимость для сушки продуктов широкого диапазона крупности — от тонкоизмельченных концентратов до кускового материала, сушка продуктов при высоких температурах нагретых газов, высокая производительность.

2.3.6 Складирование, транспортирование

Подготовка концентратов к отгрузке осуществляется на складах концентратов. Склады концентратов предназначены:

- для раздельного хранения готовых концентратов после обезвоживания или сушки;

- для шихтовки некондиционных концентратов по содержанию основных компонентов и по содержанию примесей.

Склады выполняют закрытыми, распределение концентратов производится ленточными конвейерами с передвижными самоходными штабелеукладчиками.

Разгрузка концентратов из склада, шихтовка некондиционных концентратов производится грейферными кранами, роторными заборщиками, реклаймерами. Выдача концентратов из склада производится ленточными конвейерами с передвижными самоходными бункерами, оборудованными ленточными питателями.

Погрузка концентратов предусматривается в открытые полувагоны ленточными конвейерами, управляемыми дистанционно из помещения железнодорожной весовой.

2.3.7 Оборотное водоснабжение, хвостовое хозяйство, сточные воды

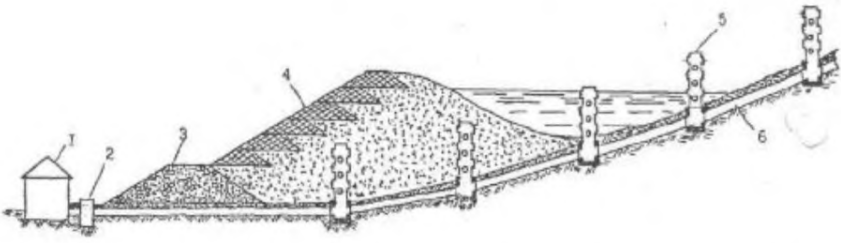
В процессе обогащения полезных ископаемых на обогатительной фабрике получают концентрат железорудный и хвосты (отходы мокрой магнитной сепарации, дешламации), которые по хвостовым лоткам из цехов обогатительных фабрик поступают в камеры распределения хвостов цеха хвостового хозяйства. В камерах происходит гидравлическая классификация хвостов в зумпфах — отстойниках на пески (крупную фракцию) и слив.

При сгущении хвостов основной задачей является выделение из пульпы ее твердой составляющей и получение осветленной воды, которая возвращается на обогатительную фабрику для повторного использования в технологическом процессе обогащения. Сгущенные хвосты транспортируются и складируются в хвостохранилище. Таким образом, на обогатительной фабрике применяется замкнутая схема оборотного водоснабжения.

Технологическая вода из насосных оборотного водоснабжения транспортируется в цеха ОФ по водоводам.

Хвостовым хозяйством называется комплекс сооружений и установок для гидравлического транспорта и гидравлической укладки хвостов обогатительной фабрики. В состав хвостовых хозяйств входят следующие сооружения: насыпные и намывные плотины, дамбы обвалования хвостохранилищ и вторичных отстойников, водосборные сооружения для отвода вод из хвостохранилищ, хвостовые насосные станции и насосные станции оборотного водоснабжения с энергетическим и гидромеханическим оборудованием, хвостопроводы и сооружения по трассе хвостопроводов (эстакады, дюкеры и др.), водоводы оборотного водоснабжения, электрические подстанции оборотного водоснабжения, сгустители для хвостов, сооружения для химической очистки хвостовых вод, аварийные бассейны, водоприемные и водосборные, сооружения для отвода ручьев и речек, подсобные сооружения, склады и помещения для обслуживающего персонала, связь и сигнализация.

Отвод осветленных вод из пруда хвостохранилища обычно производится с помощью водоприемных колодцев шандоронго или сифонного типа и водосбросного коллектора (см. рисунок 2.14).



1 — станция оборотного водоснабжения; 2 — водобойные колодцы; 3 — насыпная плотина; 4 — дамбы обвалования; 5 — водоприемные колодцы; 6 — водосбросной коллектор

Рисунок 2.14 — Схема отвода осветленной воды из хвостохранилища

Осветленная вода из пруда через сливные окна поступает внутрь водоприемных колодцев и по водосборному коллектору, уложенному с уклоном, перетекает на станцию оборотного водоснабжения, перед которой предусмотрены водобойные колодцы для снижения энергии движущегося потока.

Водосборные сооружения располагаются таким образом, чтобы обеспечивалась возможность отвода осветленной воды пруда-отстойника с различных ее горизонтов в процессе наращивания дамб обвалования. Положение водоприемных колодцев определяется топографическими условиями местности и обеспечением требуемого осветления воды. Это достигается тем, что в любой момент эксплуатации хвостохранилища расстояние от точки подачи хвостовой пульпы до сбора осветленной воды через отверстия в стенках водоприемного колодца должно быть достаточным для осаждения твердых частиц. Отвод осветленной воды из пруда производится с помощью водоприемных колодцев шахтного типа, которые выполняются с кольцевыми плоскими шандорами.

Водоприемные колодцы с отверстиями или пазами в стенках располагаются таким образом, чтобы при сбросе осветленной воды через верхнее отверстие одного колодца можно было произвести сброс воды через нижнее отверстие следующего. Обычно водоприемные колодцы перекрывают друг друга не менее чем на 1,5 м. Высота переливающегося слоя воды над отверстиями водоприемного колодца составляет 0,15–0,6 м. Минимальная глубина воды у водоприемного колодца с учетом толщины льда должна быть не менее 1,5 м.

Если через сливное окно колодца начинает поступать недостаточно осветленная вода, его перекрывают шандорой и прием воды производят со следующего по высоте окна. По мере заиливания ближайшего к плотине водоприемного колодца и повышения уровня воды в пруде прием осветленной воды производится со следующего колодца. Водоприемник полностью закрывается после того, как в верхний ряд окон начинает по-

ступать мутная вода, что показывает наличие в ней твердой фазы. После этого колодец плотно перекрывается и заливается хвостами.

Степень осветления воды в пруде хвостохранилища зависит от крупности частиц твердой фазы пульпы, времени отстаивания, реагентов, применяемых на обогатительной фабрике, и обычно определяется экспериментально.

Современные процессы обогащения полезных ископаемых основаны на использовании значительных количеств воды на технологические цели. Помимо расхода воды на технологические нужды, вода подается для вспомогательных и подсобных операций, для гидротранспорта продуктов, а также на охлаждение маслоохладителей и подшипников дробилок, масляных станций мельниц, вакуум-насосов, дымососов, гидроуборку просыпей, пылеподавление, аспирационные установки, мокрую уборку помещений, на растворение флотационных реагентов.

На обогатительную фабрику может подаваться свежая вода из естественного водоема, повторная вода после использования ее на других предприятиях или в быту и оборотная вода, подаваемая из хвостохранилища или отдельных переделов обогащения.

Таблица 2.7 — Основное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Описание
Дробилки	Дробление и измельчение материала	Конусные ККД 1500/230, КРД 700/100, КСД 2200, КМДТ-2200, щековые, валковые
Классификаторы	Разделение твердых частиц по размерам	Спирального типа, гидроциклоны, вибрационные грохота
Мельницы	Измельчение твердых частиц до размера менее 0,1 мм	Мельницы мокрого полусамоизмельчения, мельницы ММС90 × 30, ММС 9350 × 3100, ММС 9500 × 2900, рудно-галечные МРГ 55 × 75, шаровые мельницы МШРГУ45 × 60, 500 × 6000, МШЦ 45 × 60, МШР 40 × 50, стержневые мельницы МСЦ
Магнитный сепаратор	Обогащение — отделение магнитных частиц железа от немагнитных частиц пустой породы	Магнитные сепараторы барабанного типа ПБМ-П90/250, ПБМ-ПП 120/300, 150/200
Магнитные дешламаторы, гидросепараторы	Обогащение измельченных частиц методом гравитации	МД-9, МГС-9

Окончание таблицы 2.7

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Описание
Фильтр	Обезвоживание концентрата до содержания влаги менее 11 %	Вакуумные фильтры ДШ 100–2,5У, ДШ 63–2,5У, керамические фильтры
Сушильный барабан	Обезвоживание концентрата до содержания влаги менее 3 %	Сушильный барабан СБ 3,5 × 27-ЛС, СБ 3,5 × 27-НУ 03
Сгуститель	Сгущение пульпы, концентратов, хвостов с повышением содержания твердого компонента	Радиальные Ц-50, П-50, Ц-100, КРХ-2, периферические, пластинчатые сгустители
Насосы	Транспортирование жидких сред (вода, пульпа)	Центробежные, объемного типа, перистальтические и др.

2.4 Окускование. Производство железорудных окатышей

2.4.1 Общие сведения

Окускование — процесс укрупнения рудной мелочи или тонкоизмельченных концентратов с получением кусковых агрегатов различной формы и размеров путем физического, химического, термического или комбинированного воздействия. Применяют для подготовки сырья к металлургическому переделу, промышленному использованию или транспортировке полученных продуктов. Рост производства тонкоизмельченных концентратов обусловлен ростом вовлечения в промышленную переработку руд с содержанием полезного компонента менее 35 %.

Окусковываются материалы крупностью частиц менее 5 мм, так как использование их в такой крупности ухудшает газопроницаемость шихты и увеличивает вынос материала дутьем из металлургических печей. Применяют 3 способа окускования: агломерацию, брикетирование и окомкование (или окатывание). В результате окускования частиц получаются: при агломерации — агломерат крупностью 5–60 мм, при окомковании — окатыши в основном крупностью 5–18 мм, при брикетировании — брикеты различной геометрической формы необходимых габаритов и массы.

Окомкование (окатывание) — метод окускования пылевидной рудной мелочи или тонкоизмельченных концентратов, спекание которых затруднительно. Окомкование состоит из двух стадий: получение сырых окатышей в результате слипания влажных частиц исходного сырья в грануляторах и высокотемпературное упрочение окатышей (подсушка и обжиг).

Общая схема технологического процесса представлена на рисунке 2.15.

2.4.2 Исходные сырьевые материалы

Шихта для производства железорудных окатышей состоит из железорудной части — концентрата, связующей добавки — бентопорошка, иногда с добавлением полимерного связующего и флюсоупрочняющих добавок.

Определяющим показателем при выборе концентрата для окомкования является химический состав. Обычно для окомкования используют концентраты, содержащие более 60 % железа.

Высокие требования предъявляют к гранулометрическому составу концентратов, используемых для производства окатышей. Это связано с тем, что наиболее важным фактором, определяющим механическую прочность окатышей, является размер зерна, удельная поверхность концентрата: прочность сырых окатышей тем выше, чем больше контактов между отдельными частицами.

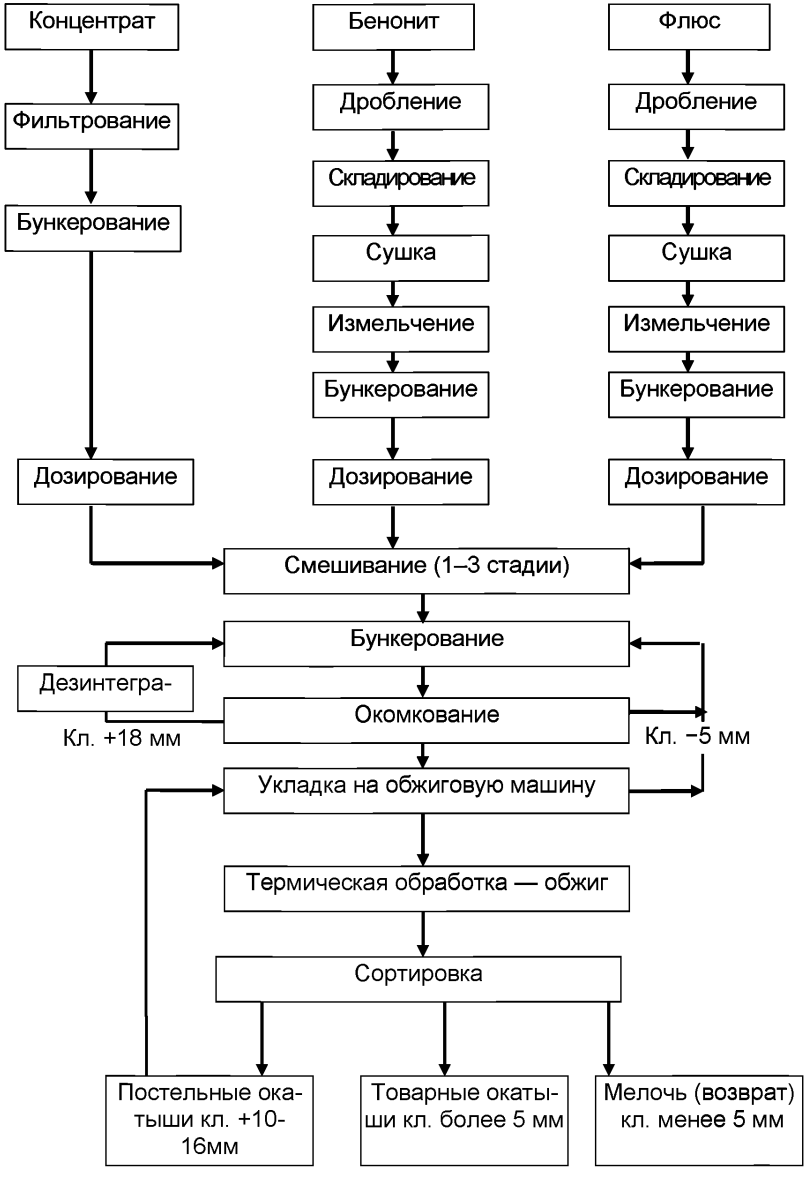


Рисунок 2.15 — Обобщенная структурная схема производства окатышей

Большое значение имеют форма и поверхность зерен концентрата после измельчения. Форма и поверхность зерен определяются минералогическим и химическим составом, а также предварительной обработкой концентрата. Форма зерен разнообразна: многогранники, сферы, пластинки, разветвленные дендриты. Основное влия-

ние на прочность сырых окатышей оказывает суммарная площадь контактов зерен, которая максимальна при многогранной форме зерен. Нежелательной является дендритная форма зерен, так как при окомковании они образуют только точечные контакты. Оценку поверхности частиц концентрата ведут по ее шероховатости.

Для получения сырых окатышей значение имеет влажность концентратов. Считается, что оптимальной влажностью является такое содержание влаги в шихте, которое обеспечивает максимальный выход сырых окатышей заданного размера. Влажность концентратов, используемых для производства окатышей, составляет 8,5 %÷ 10 %. Колебание влажности концентратов желательно не более 0,20 %÷ 0,25 %.

Железорудный концентрат при достаточной тонкости помола в сочетании с некоторым количеством воды без каких-либо добавок может комковаться с образованием сырых окатышей. Однако после высушивания такие окатыши имеют малую механическую прочность при ударе и раздавливании. Поэтому для придания сырым окатышам достаточной прочности используются различного рода связующие вещества.

В современной практике в качестве связки наиболее часто используют бентонит. Бентонитовые глины необходимы как связующие материалы для достижения требуемого гранулометрического состава и прочностных свойств окатышей.

Два основных свойства, присущие бентониту, определили его широкое использование в металлургической промышленности для получения окатышей: набухаемость, или способность сорбировать воду, и тиксотропность — способность субстанции уменьшать вязкость (разжижаться) от механического воздействия и увеличивать вязкость (сгущаться) в состоянии покоя.

Зачастую в шихту железорудных окатышей добавляют флюсоупрочняющие добавки. Основным назначением данных добавок является формирование требуемых металлургических свойств окатышей, таких как: «горячая» прочность, набухаемость, восстановимость, усадка в процессе восстановления.

2.4.3 Подготовка шихты

Основная задача технологической операции приготовления шихты заключается в правильном и точном дозировании ее компонентов и тщательном смешивании. Правильность дозирования обеспечивается расчетом шихты, а точность дозирования — работой дозировочного оборудования.

Из расходных бункеров концентрат, бентонит, полимер, флюсоупрочняющий материал дозируются на сборные конвейеры посредством различных питателей: дисковых, ленточных, шнековых (винтовых), весовых дозаторов. Производительность технологической линии дозирования регулируется количеством работающих питателей и их производительностью.

Операция смешивания шихтовых материалов является одной из важных, так как определяет однородность шихты, и характеризуется степенью или коэффициентом перемешивания.

Под степенью перемешивания в общем случае следует понимать взаимное распределение двух или большего количества веществ после совершенного перемешивания всей системы [1]. Степень перемешивания является, таким образом, показателем эффективности перемешивания.

Для расчета степени перемешивания I на основе анализа взятых проб применяются различные формулы. Чаще всего используется формула Хиксона и Тени [28]:

$$I = \frac{X_1 + X_2 + \ldots + X_n}{n},$$

где n — число взятых проб;

X_1, X_2 — относительные концентрации взятых проб, рассчитываемые по формуле

$$X_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{i0}},$$

где Φ_i, Φ_{i0} — объемные доли анализируемого компонента в i-й пробе и во всем аппарате соответственно.

Кроме того, существует много статистических методов для оценки степени перемешивания смеси на основе анализа взятых проб.

Смешивание может осуществляться в одну или несколько стадий в зависимости от вида применяемого смесителя. В приготовлении шихты для окомкования используются шнековые, роторные, барабанные смесители, смесители интенсивного перемешивания.

2.4.4 Окомкование, классификация

Тонкоизмельченные влажные сыпучие материалы, по гранулометрическому составу представляющие собой полидисперсную систему, обладают ярко выраженной способностью к самопроизвольной агрегации, особенно после приложения соответствующих механических воздействий. При этом окомкование происходит в том случае, когда образующиеся агрегаты подвергаются механическим воздействиям, меньшим по величине, чем разрушающие структуру усилия, действующие на эти агрегаты в процессе их деформирования.

По результатам значительного количества исследований и практики установлено, что эффективное окомкование сыпучих материалов возможно только при определенном (оптимальном) увлажнении последних, которое, в свою очередь, определяется гранулометрическим составом, степенью развития поверхности, содержанием коллоидной фракции и условиями взаимодействия смачивающей жидкости с комкуемым материалом.

Процесс получения сырых окатышей из шихты протекает в два этапа. На первом этапе из исходной шихты, загружаемой в окомкователь, образуются небольшие комочки — зародыши окатышей. На втором этапе процесса происходит рост и упрочнение окатышей: зародыши накатывают на себя слой концентрата с частицами связующего и флюсоупрочняющего компонентов, превращаясь в гранулы шарообразной формы. Под действием динамических нагрузок происходит уплотнение окатыша.

Окомкование шихты может производиться в конусных, чашевых (тарельчатых) или барабанных окомкователях и их различных сочетаниях (см. рисунки 2.16, 2.17).

Рисунок 2.16 — Барабанные окомкователи

Рисунок 2.17 — Линия чашевых окомкователей

Полученные сырые окатыши подвергаются классификации на роликовых грохотах. Как правило, происходит разделения на три класса крупности: менее 5 мм, свыше 16 (18) мм, годный класс крупности — менее 16 (18) мм и более 5 мм. Окатыши класса менее 5 мм и более 16 (18) мм являются возвратом в окомкователи, т. е. циркуляционной нагрузкой. Окатыши крупностью более 16 (18) мм проходят через разрушители.

К обжиговой машине годный класс сырых окатышей транспортируется по ленточным конвейерным трактам.

Ширина ленточных конвейеров, как правило, составляет 1200–1500 мм, а ширина обжиговых тележек — 3 или 4 м. Распределение окатышей по ширине обжиговой тележки осуществляется маятниковым или челночным укладчиком. Далее окатыши одним из двух способов укладываются на роликовый питатель — непосредственно укладчиком либо посредством конвейера с шириной ленты 4600 мм. Длина роликов питателя соответствует ширине обжиговой тележки. Качающиеся укладчики устанавли-

вают над роликовыми питателями так, чтобы поток сырых окатышей попадал между первым и третьим роликами.

Роликовый питатель (укладчик) выполняет несколько задач: отсев мелочи через зазоры между роликами, окончательное распределение окатышей по ширине машины и укладку слоя на обжиговые тележки.

Роликовые укладчики представляют собой наклонный роликовый конвейер. Роликовое полотно укладчика по технологическому назначению разделяется на активную (просеивающую) и транспортирующую зоны. Окатыши с помощью маятникового укладчика или широкого конвейера загружаются на активную зону роликового укладчика, где происходит распределение потока сырых окатышей по ширине и отсев мелочи размером менее 5–7 мм. За счет вращения всех роликов в одну сторону окатыши передаются в разгрузочную зону и далее ссыпаются на тележки обжиговой машины с минимальной высоты, что предохраняет окатыши от разрушения.

Роликовые укладчики различаются углом наклона транспортной зоны, длиной активной зоны, диаметром роликов и, соответственно, площадью отсеивающей поверхности.

2.4.5 Термический упрочняющий обжиг

Одним из наиболее сложных технологических переделов производства окатышей является их обжиг (см. рисунок 2.18). Основной целью его является получение обожженных железорудных окатышей, максимально отвечающих требованиям металлургического передела, сохраняющих свои свойства при транспортировках, перегрузках и хранении на открытых складах.

Обжиг окатышей может осуществляться в различных агрегатах, наибольшее распространение получили обжиговые машины конвейерного типа, реже установка «решетка — трубчатая печь — кольцевой холодильник». Остальные агрегаты отличаются невысокой производительностью.

Высокотемпературный теплоноситель, используемый в процессе термообработки, получают при сжигании природного газа.

В процессе термической обработки окатыши проходят последовательно следующие технологические зоны: сушку, нагрев, упрочняющий высокотемпературный обжиг, рекуперацию и охлаждение. В каждой технологической зоне поддерживается определенный температурный и аэродинамический режимы, регламентируемые картой технологического процесса.

Зона сушки предназначена для удаления влаги из сырых окатышей и подготовки их к высокотемпературному нагреву.

Механизм сушки окатыша можно разделить на 3 стадии:

- диффузия воды из центра окатыша в направлении к поверхности;
- испарение воды с поверхности, т. е. переход из жидкого состояния в газообразное;
- диффузия паров воды в объем газа, находящегося вокруг окатыша.

В соответствии с представленным механизмом скорость процесса сушки зависит от скорости передвижения воды в объеме окатыша, в пространстве между зернами концентрата, скорости образования водяного пара и скорости перемещения образо-

вавшегося пара с поверхности окатыша в поток теплоносителя, т. е. от градиентов температуры и влажности.

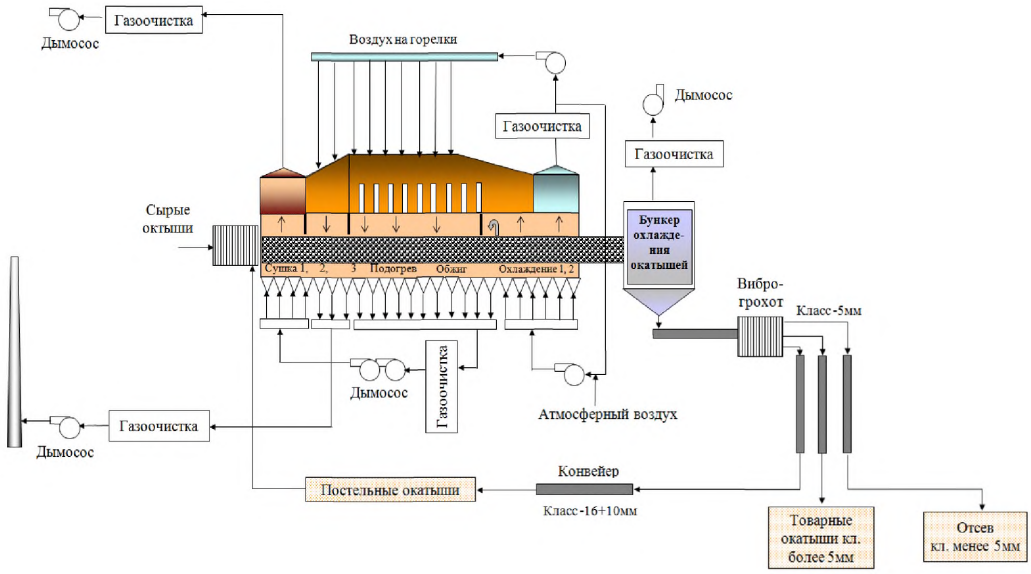


Рисунок 2.18 — Обобщенная схема термической обработки окатышей на обжиговой машине конвейерного типа

Зона нагрева предназначена для удаления остаточной влаги из средних и нижних слоев окатышей и подготовки окатышей к обжигу. В зоне активно идут процессы окисления магнетита, разложение карбонатов и гидратов концентрата, флюсующих добавок и бентонита, формирование прочностных свойств в верхней половине слоя.

Зона обжига обычно занимает 25 % — 30 % площади машины. В зоне установлены горелки. Обжиг идет прососом теплоносителя сверху вниз. В зоне обжига заканчиваются процессы разложения гидратов и карбонатов, идет процесс высокотемпературного упрочнения окатышей. Основная цель обжига окатышей сводится к упрочнению их до такой степени, чтобы они в дальнейшем выдерживали транспортировку, перегрузки и доменную плавку без значительных разрушений. Упрочнение окатышей (спекание частиц в прочную гранулу) происходит преимущественно путем твердофазного (без участия жидкой фазы) спекания. Твердофазное спекание начинается при температурах 800 °С — 900 °С. Жидкофазное спекание начинается при температурах 1200 °С — 1350 °С, в зависимости от минералогического состава железорудного концентрата и содержания флюсоупрочняющих добавок.

При этом в отличие от агломерации нельзя доводить процесс до перехода значительной части шихты в жидкое состояние. Если не ограничить верхний предел температуры (1320 °С — 1350 °С), то произойдет оплавление окатышей и сваривание их в крупные глыбы. В то же время понижение температуры обжига ниже 1200 °С — 1250 °С приводит к понижению прочности окатышей.

Зона охлаждения предназначена для охлаждения окатышей до температуры менее 150 °С.

Эффективность работы зоны охлаждения определяется количеством и температурой воздуха, просасываемого через слой, условиями теплообмена между воздухом и окатышами. Для дополнительного охлаждения окатышей в хвостовых частях обжиговых машин установлены бункеры — охладители, в которых производится доохлаждение и выравнивание температуры окатышей.

2.4.5.1 Физико-химические процессы, протекающие при термической обработке окатышей

В зоне сушки протекает физический процесс удаления влаги из окатышей. Механизм процесса сушки в первую очередь определяется связью влаги с материалом. Связь влаги с материалом может быть химическая, физико-химическая, физико-механическая.

Процесс термической сушки — это сложный теплофизический и физико-химический процесс, в котором происходит тепло- и массообмен между поверхностью окатыша и окружающей газовой средой. Сушку можно представить в виде двух основных процессов: переноса тепла и влаги внутри материала к поверхности испарения и переноса массы вещества (пара) с поверхности материала в окружающую среду. Данный процесс протекает вследствие разности давлений водяных паров у поверхности окатыша и в потоке теплоносителя, а также разности температур у поверхности и внутри материала.

Процесс переноса влаги внутри материала определяется его пористостью, формой связи влаги с твердым веществом и теплофизическими характеристиками. Внутри влажного материала вода перемещается в виде жидкости (под действием капиллярных и осмотических сил) и пара (под влиянием диффузных сил).

В процессе сушки удаляется только влага, связанная с материалом механически и физико-химически.

Химическая влага или разложение гидратов, происходит, как правило, в зоне нагрева при достижении температуры, характерной для конкретного гидрата, например разложение гидроксида кальция (гашеной извести) начинается при температуре 580 °С, тогда как разложение гидроксида магния может происходить в зоне сушки при температуре 350 °С, если он присутствует в шихте. Монтмориллонит, содержащийся в бентонитах, — $Al_3Mg[Si_4O_{10}](OH)_2nH_2O$ может удерживать воду до 800 °С — 1000 °С.

В зоне нагрева протекает ряд химических реакций в зависимости от достигаемой температуры нагрева материала и концентраций химических компонентов. При температурах ниже 800 °С в зависимости от состава и количества пустой породы в шихте могут протекать следующие реакции:

$$2FeO + SiO_2 \rightarrow Fe_2SiO_4$$

$$2Fe_3O_4 + 1/2O_2 \rightarrow 3Fe_2O_3$$

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$$

$$CaO + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$$

$$2CaO + SiO_2 \rightarrow Ca_2SiO_4$$

$$MgO + SiO_2 \rightarrow MgSiO_3$$

$$2MgO + SiO_2 \rightarrow Mg_2SiO_4$$

$$2MnO + SiO_2 \rightarrow Mn_2SiO_4$$

$$4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$$

При повышении температуры нагрева выше 800 °С до 1100 °С помимо выше приведенных реакций могут происходить следующие химические взаимодействия компонентов шихты:

$$CaO + Fe_2O_3 \rightarrow CaFe_2O_4$$

$$2CaO + Fe_2O_3 \rightarrow Ca_2Fe_2O_5$$

$$MgO + Fe_2O_3 \rightarrow MgFe_2O_4$$

$$MnO + Fe_2O_3 \rightarrow MnFe_2O_4$$

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

$$4FeS + 7O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 4SO_2;$$

При нагреве выше 1100 °С образуются новые минеральные составляющие системы, происходит взаимное спекание отдельных частиц, образуются жидкие фазы легкоплавких эвтектик. Происходит упрочнение окатыша.

Спекание реализуется посредством твердофазной диффузии, результатом этого процесса является усадка и уменьшение пористости окатыша. С появлением жидкой фазы происходит смачивание расплавом контактирующих поверхностей минеральных зерен внутри окатыша, происходит жидкофазное спекание.

Результатом протекания физико-химических процессов при термической обработке окатышей является их прочность на сжатие, удар и истирание.

Кроме того, в зоне обжига протекают реакции разложения сульфатов магния (1200 °С) и кальция (1300 °С).

$$CaSO_4 \rightarrow CaO + SO_2 + 0{,}5O_2$$

$$2CaSO_4 + SiO_2 \rightarrow Ca_2SiO_4 + 2SO_2 + O_2,$$

$$CaSO_4 + Fe_2O_3 \rightarrow Ca(FeO_2)_2 + SO_2 + 0{,}5O_2.$$

$$MgSO_4 \rightarrow MgO + SO_2 + 0{,}5O_2$$

Для получения однородных по прочности и пористости окатышей, а также снижения их разрушаемости при восстановлении слой необходимо нагревать на всю глубину до донной постели.

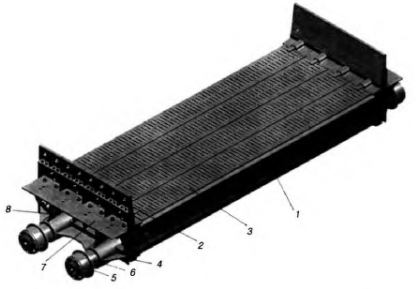
Процесс обжига полностью завершается в зоне рекуперации, где нижний горизонт слоя окатышей прогревается до температуры зоны обжига за счет переноса аккумулированного верхом слоя тепла к границе «окатыши — постель». При этом происходит охлаждение верха слоя, так как в слой подается теплоноситель из зоны охлаждения 1. Окатыши низа слоя приобретают необходимую прочность и массовую долю FeO. Температура нижних горизонтов слоя при этом должна приближаться к значениям температуры над слоем в зоне обжига. Контроль над степенью прогрева нижних горизонтов слоя должен осуществляться по температуре отходящих газов в вакуум-камерах зоны рекуперации и поддерживаться в соответствии с установленным режимом термообработки.

Охлаждение окатышей, как правило, производится в зонах охлаждения обжиговой машины, а также может охлаждаться в пристроенных к машине холодильниках.

2.4.5.2 Устройство обжиговой машины

В настоящее время для обжига окатышей чаще всего применяются обжиговые конвейерные машины. Было разработано несколько типов конвейерных машин, различающихся шириной обжиговых тележек, длиной, расположением горелок, способами сжигания топлива и рекуперации тепла, конструкцией переточного коллектора, способом охлаждения (см. таблицу 2.8).

Процесс тепловой обработки окатышей на конвейерной машине заключается в постепенном их нагреве до заданной температуры и последующем охлаждении. Для этого окатыши, а также постель равномерно укладывают на колосниковые тележки (см. рисунок 2.19), образующие ленту конвейера, непрерывно движущуюся по замкнутым направляющим.



1 — нижняя несущая часть; 2 — борта; 3 — колосники;
4 — отливки боковые; 5 — ходовые ролики; 6 — грузовые ролики;
7 — пластина горизонтальная

Рисунок 2.19 — Обжиговая тележка

Таблица 2.8 — Основные технические параметры и технологические показатели действующих обжиговых машин

Наименование показателя	Тип обжиговой машины							
	ОК-108	ОК-228	ОК-306	ОК-520	ОК-592	ОК-520	Л-480	О-768
Рабочая площадь машины, $м^2$	108	228	306	520	592	520	480	768
Высота слоя сырых окатышей, мм	300	330	320	325	420	430	310	
Относительная площадь зон сушки, %	17,2	10,5	22,8	20,0	24,3	22,4	15,0	18,7
Относительная площадь зоны нагрева, %	24,2	31,6	17,1	15,4	10,8	15,0	22,5	18,7
Относительная площадь зоны обжига, %	20,7	26,3	14,3	12,3	16,2	15,0	20	22,0
Относительная площадь зоны рекуперации, %	6,9	7,9	8,6	6,15	8,2	9,0	7,5	6,3
Относительная площадь зон охлаждения, %	31,0	23,7	37,1	46,15	40,5	38,6	35,0	34,5
Показатели при производстве неофлюсованных окатышей								
Удельная производительность, $т/(ч \cdot м^2)$	0,875	0,855	0,976	1,2875	1,066	0,913	Не применяется	Пусконаладка
Удельный расход газа, $м^3/т$	14,5	14,5	11,84	9,52	10,0	Нет данных		
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	32,4	29,0	39,951	34,98	36,0	Нет данных		
Удельный расход воды, $м^3/т$	Нет данных	Нет данных	2,8	8,32	8,4	Нет данных		
Время термообработки, мин	39,5	42,5	35,17	35,3	38	45,3		
Показатели при производстве офлюсованных окатышей								
Удельная производительность, $т/(ч \cdot м^2)$	Не применяется	Не применяется	0,85	1,15	Не применяется	Не применяется	1,0	
Удельный расход газа, $м^3/т$			13,85	13,78			9,4	

Окончание таблицы 2.8

Наименование показателя	Тип обжиговой машины							
	ОК-108	ОК-228	ОК-306	ОК-520	ОК-592	ОК-520	Л-480	О-768
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т			47,8	38,84			39,9	
Удельный расход воды, $м^3$/т			2,8	8,16			0,326	
Удельный расход сжатого воздуха, $м^3$/т (для Л-480 учтены затраты на пневмотранспорт и фильтрацию)			2,56	Нет данных			22,3	
Время термообработки, мин			37,8	Нет данных			40,0	

Из всех деталей обжиговой тележки колосники испытывают воздействие наиболее высоких температур, поэтому их изготавливают из высоколегированных материалов или чугуна.

Над рабочей ветвью ленты обжиговых тележек с окатышами расположено печное пространство, образованное горнами и колпаками, а под рабочей ветвью конвейера — газовоздушные камеры, служащие для прососа и продува газов и воздуха через слой окатышей.

Тележки с окатышами последовательно проходят все технологические зоны обжиговой машины.

Обжиговые тележки двигаются под горном по рельсам, переворачиваются на разгрузке, высыпая обожженные окатыши в бункер, и по холостой ветви, расположенной под рабочей веткой, возвращаются в головную часть на загрузку.

Горн представляет металлический кожух, футерованный изнутри огнеупорным и теплоизоляционным материалом. По длине горн разделен на отдельные технологические зоны. В боковых стенках горна установлены горелочные устройства для получения определенного количества теплоносителя с заданной температурой. Горелки в зоне охлаждения используются при сушке футеровки и разогреве обжиговой машины после остановки.

Под обжиговыми тележками расположены газовоздушные камеры, соединенные патрубками с коллекторами.

Поперечные перегородки в горне машины устанавливают между зонами нагрева и обжига, обжига и рекуперации и охлаждения 1 и 2. На машине установлены технологические вентиляторы для обеспечения движения газовых потоков по зонам обжиговой машины через слой окатышей. Пылеочистка газов предусмотрена не только для газовых потоков, сбрасываемых в дымовую трубу, но и для рециркулируемых потоков теплоносителя, подаваемых в зону сушки (сушка 1, 2), и воздуха из зон охлаждения.

2.4.5.3 Тепловые схемы обжиговых машин

Качественные показатели готовых железорудных окатышей определяются не только составом шихтовых материалов, но и температурно-временным режимом термической обработки, который определяется работой обжиговой машины, ее тепловой схемой.

Особенность обжиговых машин конвейерного типа заключается в различии тепловых схем. Тепловая схема обжиговой машины учитывает распределение рабочей площади машины по технологическим зонам и систему обеспечения этих зон необходимым и достаточным количеством тепло- и хладагентов с заданной температурой для конкретных условий производства и требований к качеству готовой продукции.

Тепловая схема обжиговой машины определяет направление перемещения газовых потоков: подачу в отдельные зоны машины необходимого количества теплоносителя или хладагента, а на горелки — вторичного воздуха; отсос низко- и высокотемпературного потоков газов из вакуум-камер и необходимую аспирацию рабочих площадок. Функционирование тепловой схемы осуществляется путем перемещения потоков по отдельным газовым трактам.

Тепловая схема включает в себя: вентиляторы и дымососы для подачи воздуха и транспортировки газов; переточную систему для передачи нагретого в зоне охлажде-

ния воздуха; горелочные устройства; газоочистное оборудование; газоходы; дроссельные заслонки для регулирования расхода воздуха и теплоносителя, подаваемого в конкретную технологическую зону машины или участок газоходной системы.

Основной задачей тепловой схемы является реализация необходимого режима термообработки для получения требуемого количества обожженных окатышей с заданным качеством. Очевидно, что от тепловой схемы и отдельных ее элементов будут зависеть и основные показатели эффективности производства обожженных окатышей: удельная производительность, удельный расход энергоносителей, состав и количество газов, сбрасываемых в атмосферу.

Основные тепловые схемы обжиговых машин представлены на рисунках 2.20–2.26.

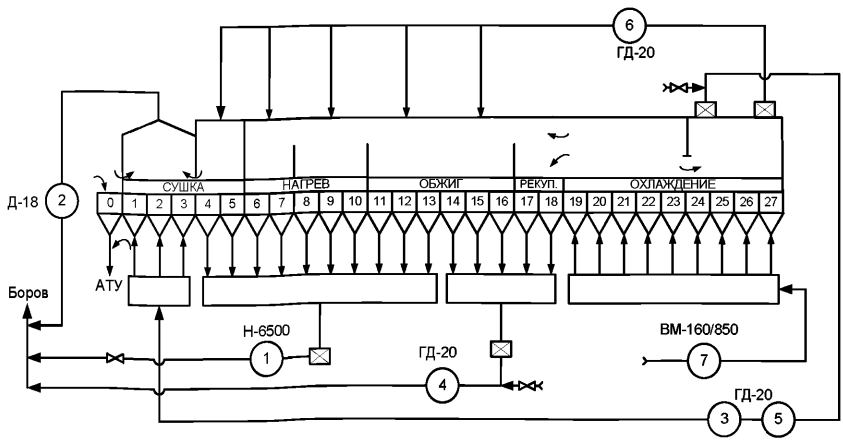


Рисунок 2.20 — Тепловая схема действующей ОК-108

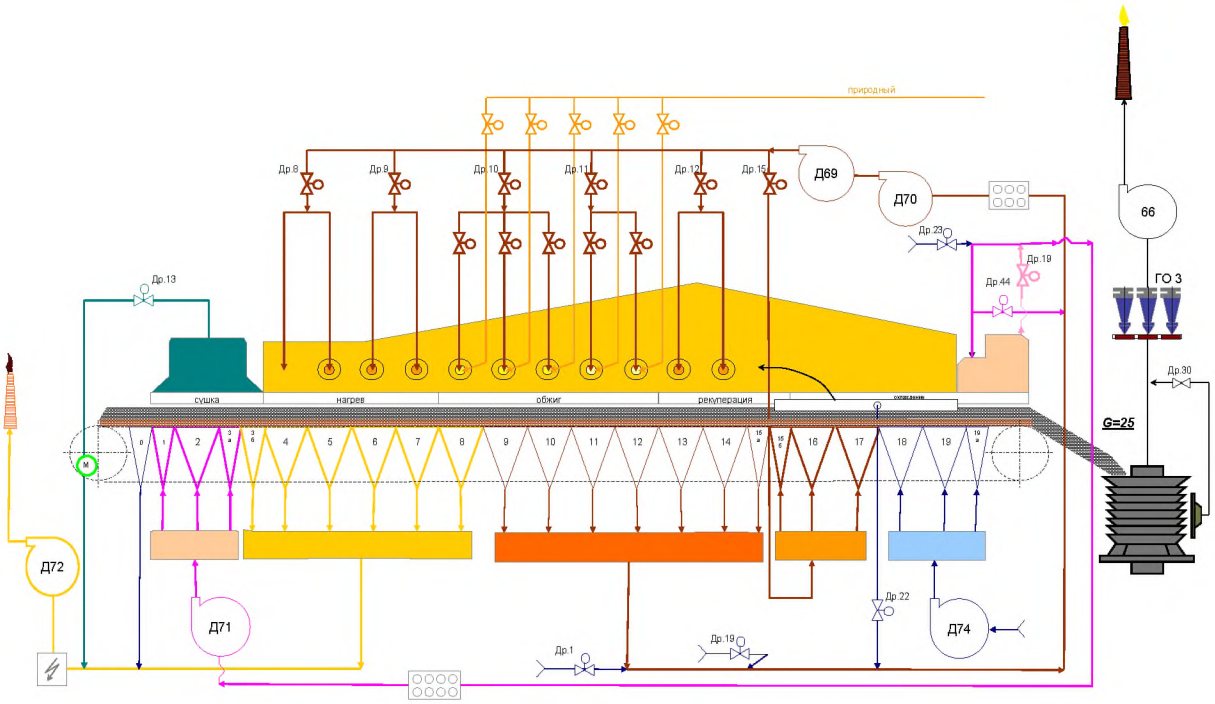


Рисунок 2.21 — Тепловая схема действующей модернизированной ОК-228

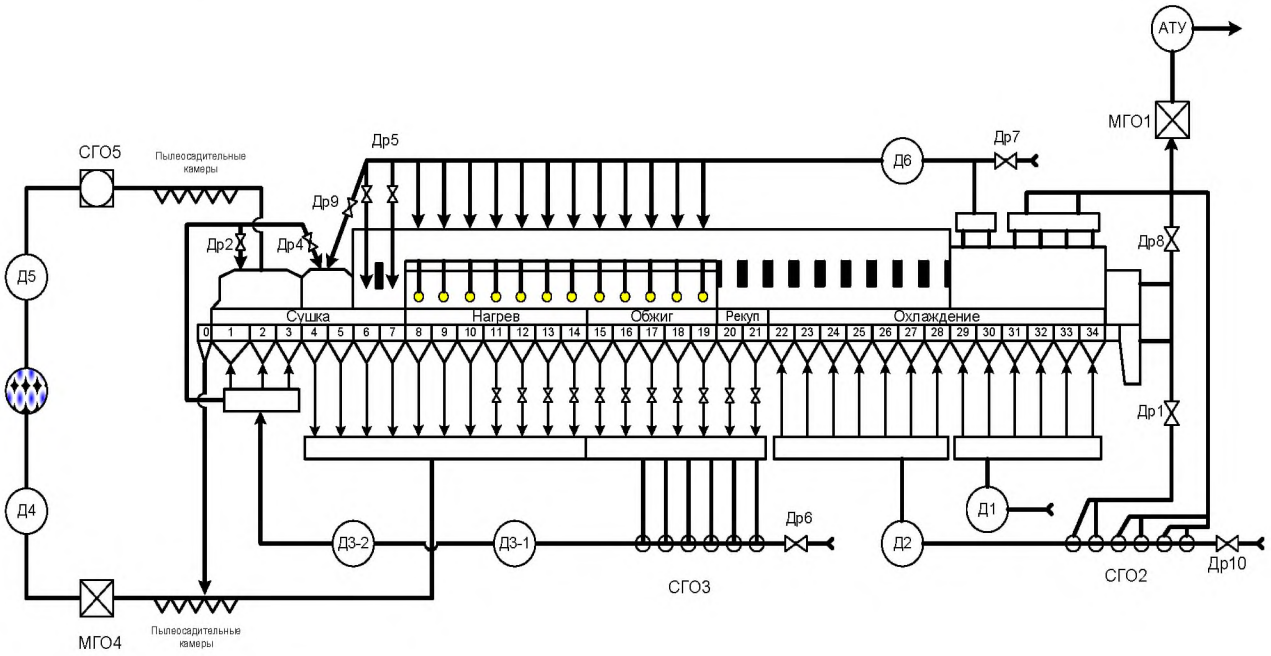


Рисунок 2.22 — Схема газовых потоков обжиговой машины ОК-306

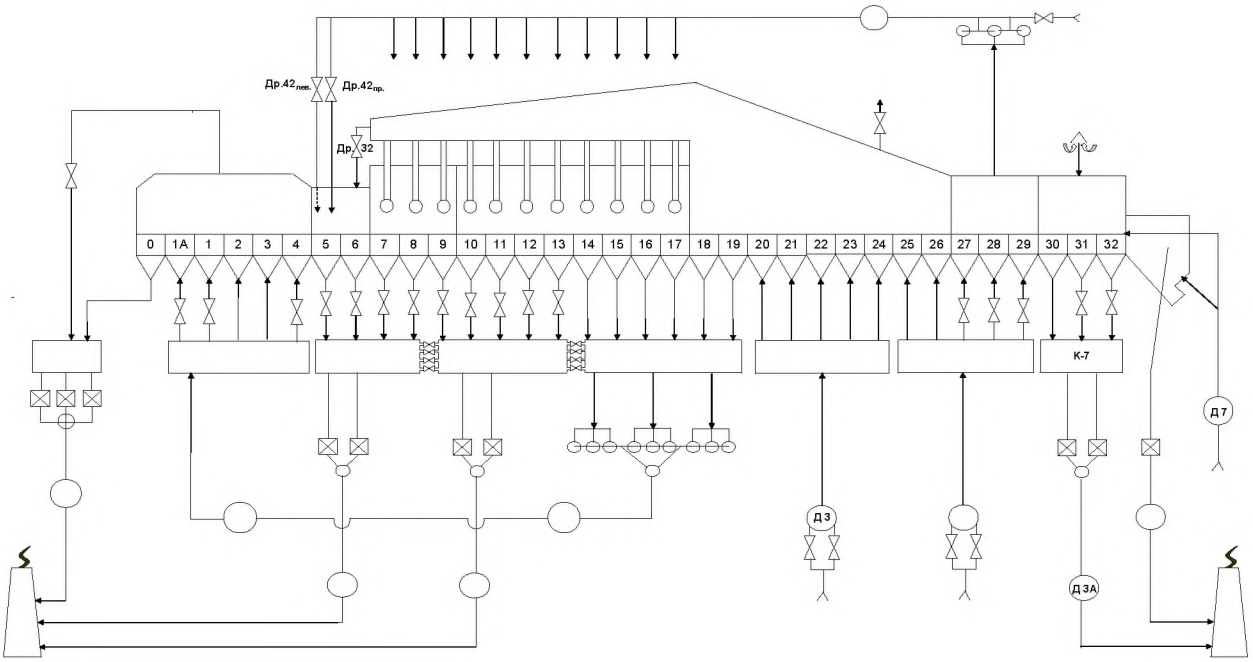


Рисунок 2.23 — Тепловая схема ОК-520

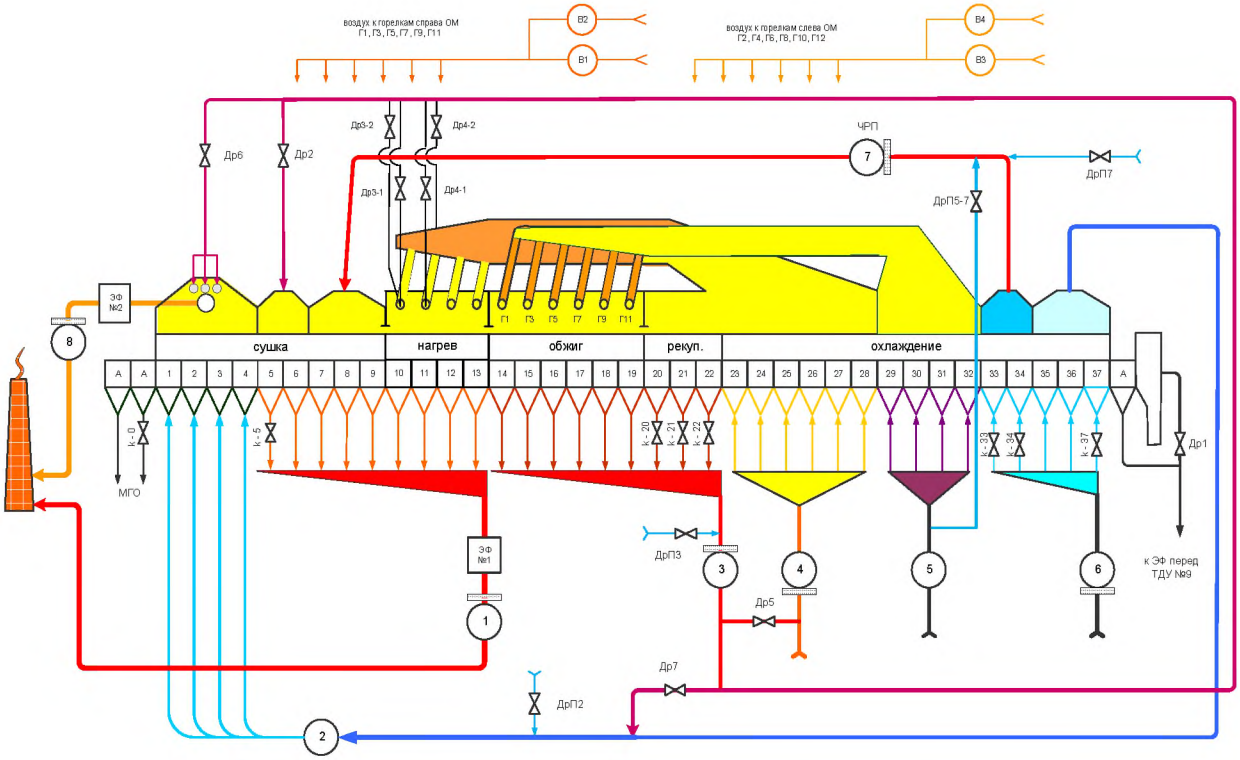


Рисунок 2.24 — Схема газовых потоков обжиговой машины МОК-1-592М

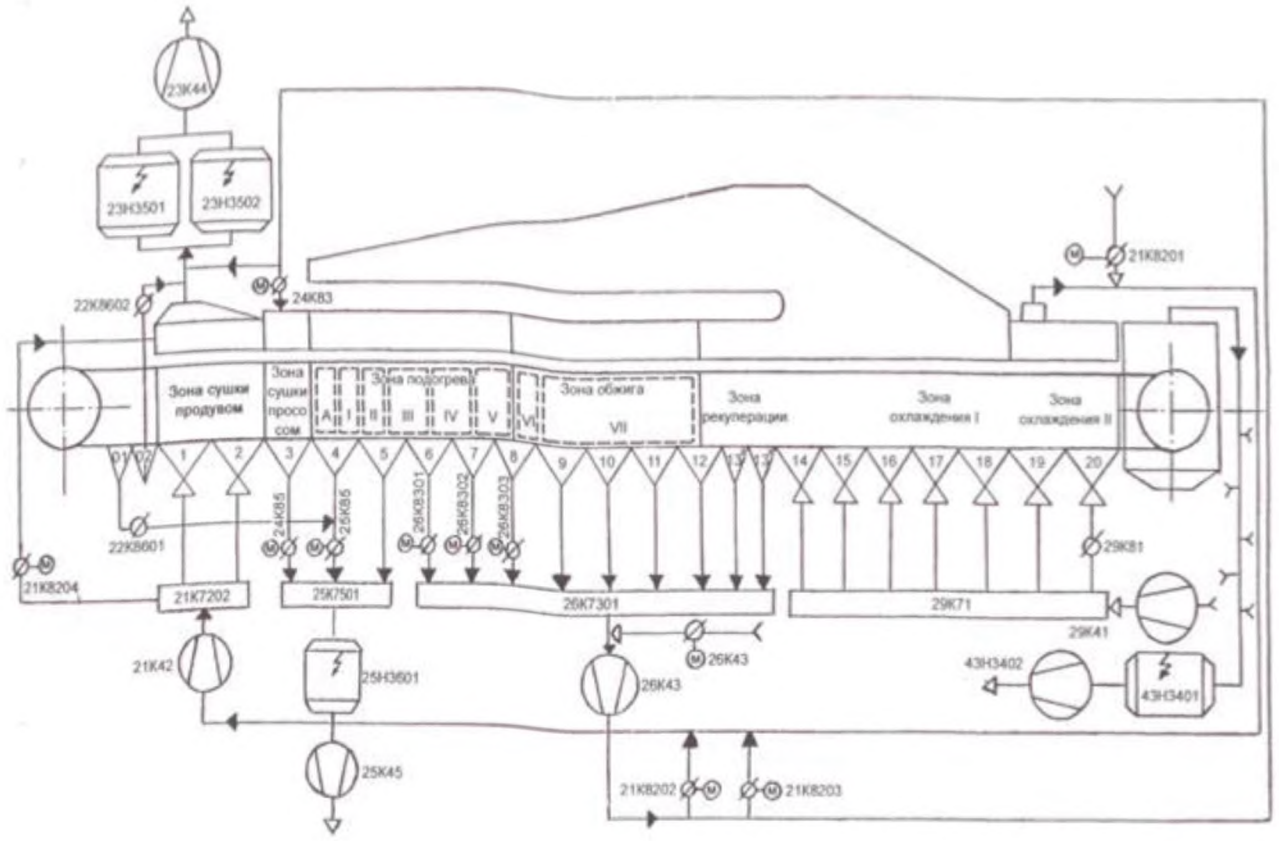


Рисунок 2.25 — Схема газовых потоков обжиговой машины Л-480

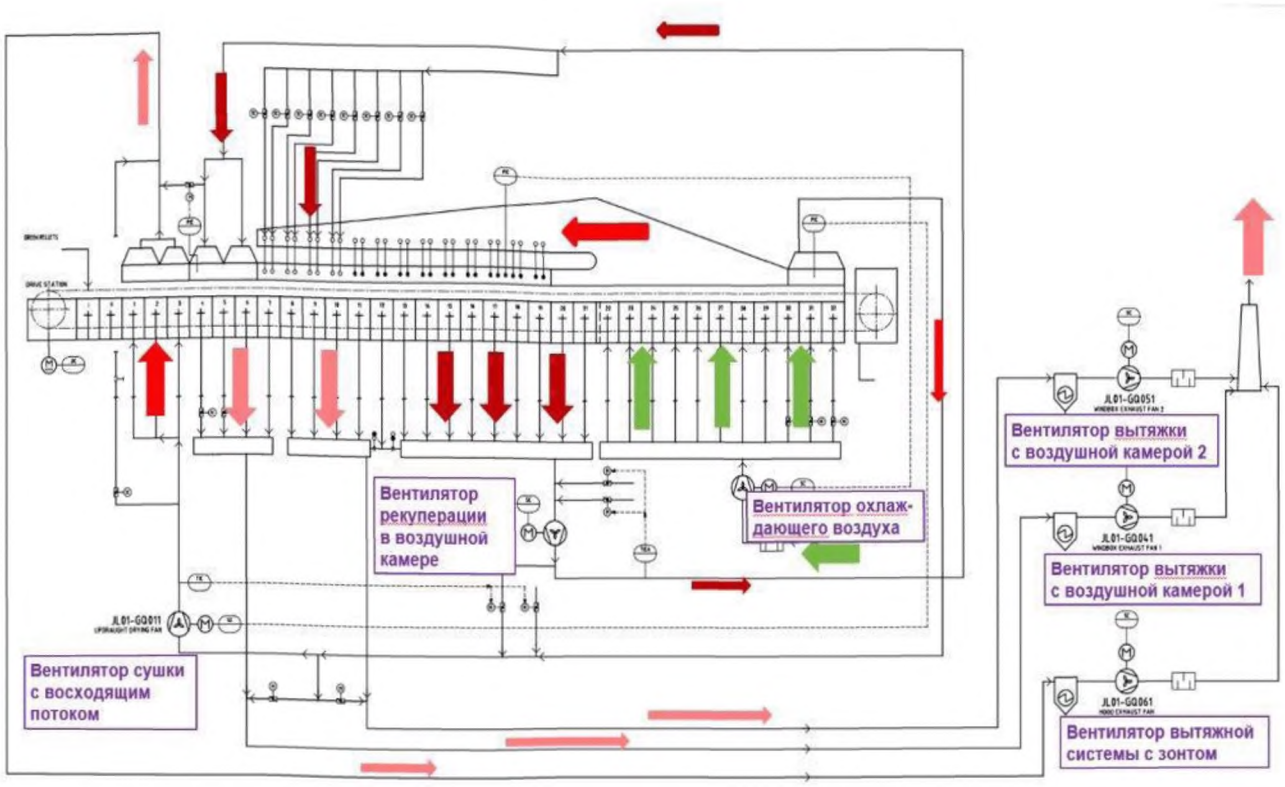


Рисунок 2.26 — Схема газовых потоков обжиговой машины О-768

2.4.5.4 Горелочные устройства

Обжиговые конвейерные машины для производства железорудных окатышей, имеют значительные перетоки вторичного воздуха из зон охлаждения в зоны горна и нагрева. Кроме того, подогретый воздух используется в качестве воздуха, подаваемого на горелочные устройства. Горелочные устройства являются неотъемлемой частью горна и работают совместно с форкамерой, в которую из переточного коллектора подается воздух с температурой от 800 °С до 1200 °С (см. рисунок 2.27).

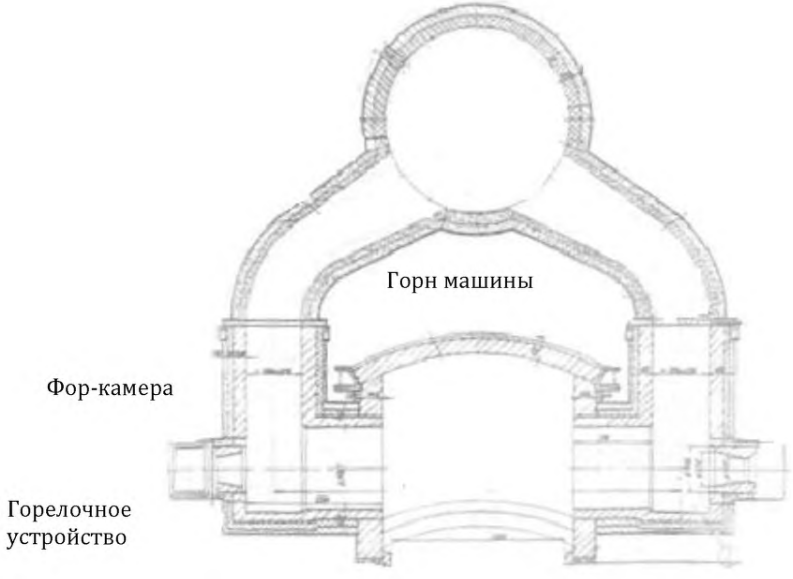


Рисунок 2.27 — Поперечное сечение горна обжиговой машины

Виды горелок, применяемых на обжиговых машинах:
- инжекционные горелки горнов обжиговых машин;
- вихревые горелки;
- вихревые газомазутные горелки;
- комбинированные горелки;
- горелки для сжигания газа в слое.

В зависимости от эффективности работы горелочного устройства изменяется состав дымовых газов, сбрасываемых в атмосферу. Наиболее предпочтительны модели, обеспечивающие полное сжигание горючих компонентов, без образования оксидов азота.

В последние годы высокую популярность завоевали инжекционные горелки и горелочные устройства с двухступенчатой подачей воздуха.

2.4.5.5 Холодильники

Режим охлаждения окатышей является очень важным фактором, влияющим на свойства окатышей, конструкцию и производительность оборудования, применяемого для обжига. С точки зрения максимальной производительности более выгодной является высокая скорость охлаждения, причем этап охлаждения окатышей не является ограничивающим звеном технологического цикла. Однако при высокой скорости охлаждения свойства продукта ухудшаются. Противоречивость этих двух следствий требует определения оптимальной скорости охлаждения, при которой оборудование для обжига будет производить качественные окатыши при одновременной высокой производительности.

Наибольшую прочность при раздавливании имеют окатыши, охлажденные со скоростью 70 °С/мин — 80 °С/мин. Изменение скорости охлаждения в интервале 20 °С/мин — 100 °С/мин сопровождалось незначительными изменениями прочности окатышей при раздавливании.

Причиной снижения прочности окатышей, охлаждаемых с большой скоростью, является возникновение внутренних напряжений, вызванное изменениями структуры, о чем обычно свидетельствует и изменение пористости окатышей.

Воду для охлаждения окатышей применять не рекомендуется.

Зона охлаждения

Зона охлаждения предназначена для охлаждения окатышей до температуры менее 160 °С. Охлаждение происходит в две стадии. Охлаждение осуществляется путем продувки атмосферного воздуха. Зона разделена на две секции:

- зона охлаждения 1, где формируется теплоноситель — переточный воздух;
- зона охлаждения 2, где формируется теплоноситель — воздух горения и воздух охлаждения 1.

Хладагентом для зон охлаждения служит атмосферный воздух.

Эффективность работы зоны охлаждения определяется количеством и температурой воздуха, просасываемого через слой, условиями теплообмена между воздухом и окатышами.

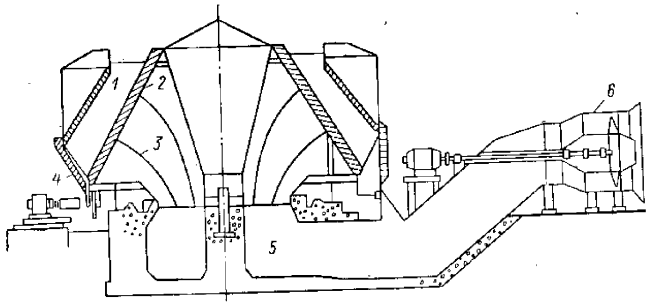
Разгрузка обожженного продукта производится в бункер — выравниватель температуры, куда подается атмосферный воздух и происходит доохлаждение и выравнивание температуры окатышей.

Выносные охладители

Существует несколько видов охладителей, например:

- охладители с неподвижным слоем.

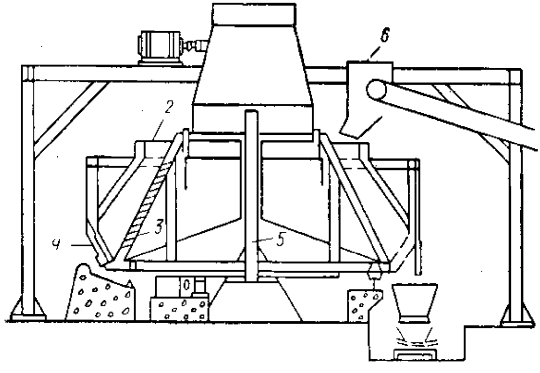
Таким охладителем явился камерный вращающийся круглый охладитель, который распространен на зарубежных фабриках (см. рисунок 2.28).



1 — бункер охладителя; 2 — жалюзи; 3 — направляющие воздуха;
4 — донная крышка; 5 — воздуховод; 6 — осевой вентилятор

Рисунок 2.28 — Камерный охладитель с дутьем воздуха снизу

Камерный охладитель с дутьем воздуха сверху показан на рисунке 2.29.



1 — дутьевой вентилятор; 2 — бункер агломерата; 3 — жалюзи;
4 — донная крышка; 5 — центральная колонка; 6 — загрузка охладителя

Рисунок 2.29 — Камерный охладитель дисперсного материала с дутьем воздуха сверху

Кольцевой охладитель

Кольцевой охладитель функционально аналогичен колосниковому конвейеру, за исключением того, что имеет форму кольца. Горячие окатыши, выходящие из печи, распределяются в кольцевом охладителе равномерным слоем высотой 750–800 мм. Холодный атмосферный воздух нагнетается по восходящей через транспортирующие элементы в слой окатышей (см. рисунок 2.30).

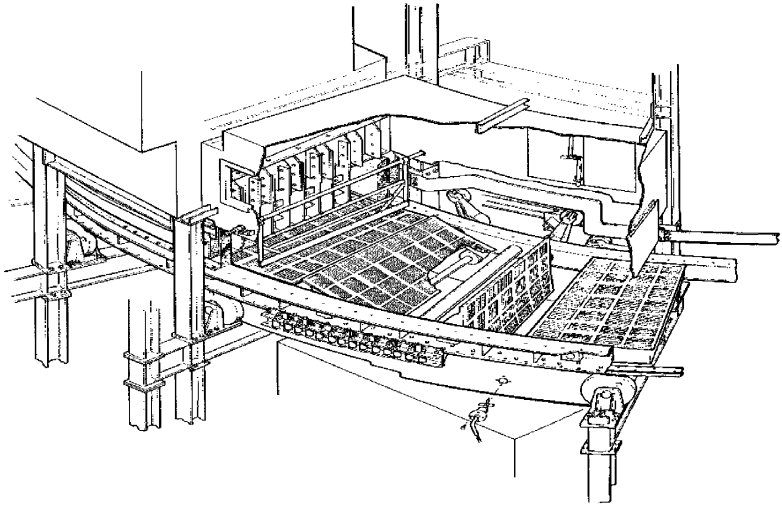


Рисунок 2.30 — Кольцевой охладитель

Кольцевой охладитель обычно разделен на несколько зон воздушных коробов под слоем окатышей, при этом охлаждающий воздух подается в каждую зону независимым вентилятором. Пространство над слоем также разделено на соответствующее количество зон, что позволяет осуществлять рациональную рекуперацию нагретого воздуха.

Охлажденные окатыши выгружаются через разгрузочный бункер охладителя с регулируемой скоростью на конвейер конечного продукта.

2.4.6 Сортировка, складирование, транспортирование, отгрузка готовых обожженных окатышей

Сортировка обожженного продукта осуществляется методом грохочения. На грохотах происходит распределение продукта на: класс крупности менее 5 мм (отсев железорудных окатышей), класс крупности менее 16 и свыше 5 мм (товарные окатыши) и класс крупности более 10 мм («постель»). Отделение мелкого класса окатышей от товарных производится не на всех обжиговых машинах.

Товарные окатыши отгружаются в железнодорожный транспорт посредством погрузочных бункеров или конвейерными трактами в следующий технологический передел. В случае необходимости окатыши могут складироваться на складе с помощью штабелеукладчика.

2.4.7 Водоподготовка, оборотное водоснабжение

Основными потребителями воды на фабрике окомкования являются обжиговые машины, тягодутьевое оборудование, системы маслосмазки, газоочистные и аспирационные системы. Вода также используется для смыва просыпей с отметок, уборки рабочих мест. Используется техническая вода из системы оборотного водоснабжения предприятия.

Система водоохлаждения обжиговой машины предусматривает подвод воды к водоохлаждаемым опорным плитам горна, секциям бортового уплотнения, поперечным водоохлаждаемым балкам от общей магистрали водяного охлаждения машины. Слив воды осуществляется через сливные воронки, соединенные трубами с магистральным сливным трубопроводом.

2.4.8 Обращение с эмиссиями

Обжиговые машины являются основными источниками выделения технологических газов и пыли.

От обжиговых машин дымовые газы через сборный коллектор отсасываются дымососами и очищенными выбрасываются в дымовую трубу. Очистка газов, сбрасываемых в атмосферу, осуществляется мокрым способом в установках «труба Вентури — скруббер — каплеотделитель», в циклонах. На современных фабриках окомкования в качестве газоочистных установок применяются электрофильтры, обеспечивающие эффективность очистки газов от пыли до 99,8 %.

Газоочистные устройства предназначены для очистки до санитарных норм выбрасываемых в атмосферу газов, защиты роторов дымососов от абразивного износа пылью. Отключение воды, подаваемой на газоочистные устройства, работающие по мокрому способу, при работающих дымососах не допускается. Отключение воды можно произвести только по истечении 20–30 мин после остановки дымососов.

В цехах шихтоподготовки, на линиях измельчения комовых материалов, а также при дозировании измельченных материалов для очистки отходящих газов применяются электрофильтры, циклоны, рукавные фильтры. В качестве аспирационных установок используют «мокрые» циклонные установки. На некоторых фабриках еще используется мокрая газоочистка с применением установки «труба Вентури» — скруббер — каплеотделитель». Однако использование мокрой газоочистки приводит к значительным технологическим потерям измельчаемого материала.

Шламы фабрики окомкования, как правило, содержат достаточно высокое количество железа — более 60 %, поэтому данный материал либо возвращается в отделение фильтрации фабрики обогащения, либо в шихту окатышей, при этом рециркулирующий шлам может проходить дополнительное измельчение, что более предпочтительно. Обобщенная схема рециклинга шламов представлена на рисунке 2.31.

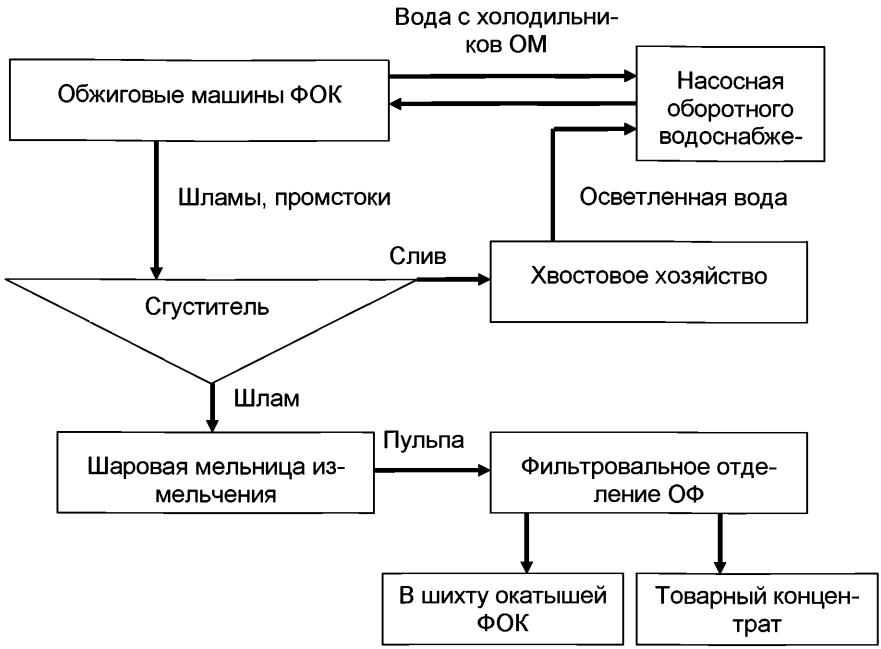


Рисунок 2.31 — Обобщенная схема движения шламов фабрик окомкования

Таблица 2.9 — Основное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Описание
Дробилки	Дробление и измельчение комовых глинистых материалов	Молотковые, валковые
Сушильный барабан	Снижение массовой доли влаги в глинистых материалах	Барабанного типа
Мельницы	Измельчение комовых глинистых материалов до размера частиц менее 0,071 мм	Мельницы шарового измельчения, вертикальные
Фильтры	Снижение массовой доли влаги в концентрате менее 10 %	Вакуумные фильтры (тканевые, керамические). Пресс-фильтры
Дозаторы	Получение шихты заданного состава	Ленточные, шнековые, дисковые

Окончание таблицы 2.9

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Описание
Смесители	Перемешивание шихты, обеспечение однородного состава шихты	Роторные, барабанные, интенсивного перемешивания, шнековые
Окомкователи	Формирование гранул в виде шариков определенного размера	Чашевые, барабанные
Грохот	Классификация сырых окатышей в заданном диапазоне размеров	Роликовый
Укладчик сырых окатышей	Укладка сырых окатышей на обжиговую машину	Маятниковый, челночного типа, роликовый (работает в комплекте с вышеуказанными)
Обжиговая машина конвейерного типа	Термическая обработка окатышей с целью упрочнения	См. таблицу 2.8
Охладитель	Охлаждение обожженных окатышей до температуры ниже 150 °С	Кольцевой, пересыпного типа
Конвейер	Транспортирование сырых и обожженных окатышей	Ленточный, пластинчатый
Грохот	Классификация обожженных окатышей в заданном диапазоне размеров	Вибрационный
Штабелеукладчик	Укладка готовых обожженных окатышей в штабель на складе	Стрелового или реверсивного челночного типа
Роторный заборщик	Перегрузка обожженных окатышей со склада на конвейеры	Стрелкового или мостового типа
Дымососы, вентиляторы	Транспортирование газовых потоков	Центробежного типа

2.5 Производство железа прямого восстановления

2.5.1 Общие сведения

В основе производства металлизованного продукта лежит процесс прямого восстановления железа (ПВЖ), заключающийся во взаимодействии потоков восстановительного газа и руды или окатышей, происходящий при температуре около 900 °С. Исходным сырьем для получения железа прямого восстановления в шахтных печах являются офлюсованные окатыши с массовой долей железа более 66,5 %.

По своим качественным характеристикам железо прямого восстановления превосходит чугун и используется на многих сталеплавильных предприятиях мира наряду с ломом. Однако, в отличие от металлического лома, использующегося в настоящее время как основное сырье для получения стали в электросталеплавильных печах, металлизованный продукт является первородным сырьем, не содержащим примеси пластмасс и цветных металлов, существенно ухудшающих качество стали.

Процессы металлизации в шахтных печах во многом похожи на процессы, протекающие в шахте доменных печей в области умеренных температур. Однако имеются и значительные отличия: в шахтной печи отсутствует кокс; важную роль в процессах восстановления оксидов железа играет водород; восстановительный газ является единственным источником тепла, обеспечивающим все тепловые потребности процесса [5].

Основными процессами, протекающими в шахтной печи, являются теплообмен между газом-теплоносителем и восстанавливаемым материалом, восстановление оксидов железа и динамическое взаимодействие между опускающейся шихтой и поднимающимся газом. Кроме того, на показатели работы шахтной печи оказывают влияние разрушение железорудных материалов в процессе нагрева и восстановления, науглероживание и спекание губчатого железа [6].

В мировой практике производства ПВЖ газовыми восстановителями наибольшее распространение получила технология MIDREX–60 %, технология HYL/Energiron — 14 %, остальное количество (25,5 %) производится агрегатами прямого восстановления железа, основанными на использовании угля или пылеугольной смеси и других технологических процессах (0,5 %).

В Российской Федерации промышленные установки по производству ПВЖ работают по двум технологиям: MIDREX и HYL-III. Отличие этих технологий заключается в использовании различных способов реформирования природного газа, отличительных газодинамических и температурных режимах работы печей, что обуславливает конструкционные различия печей и установок в целом.

Обобщенная технологическая схема производства металлизованного продукта представлена на рисунке 2.32.

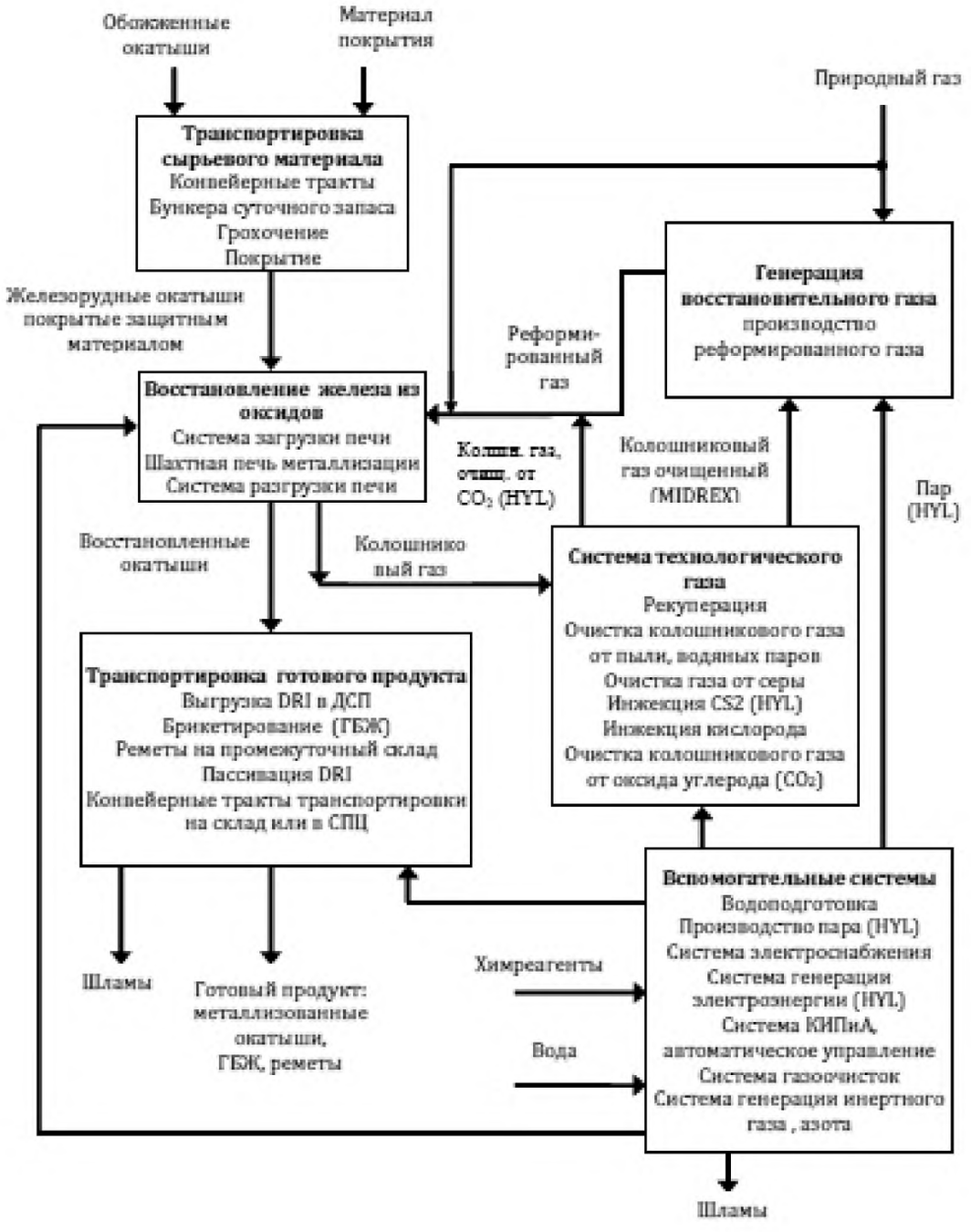


Рисунок 2.32 — Обобщенная технологическая схема производства железа прямого восстановления

Технологическая схема HYL-III представлена на рисунке 2.33.

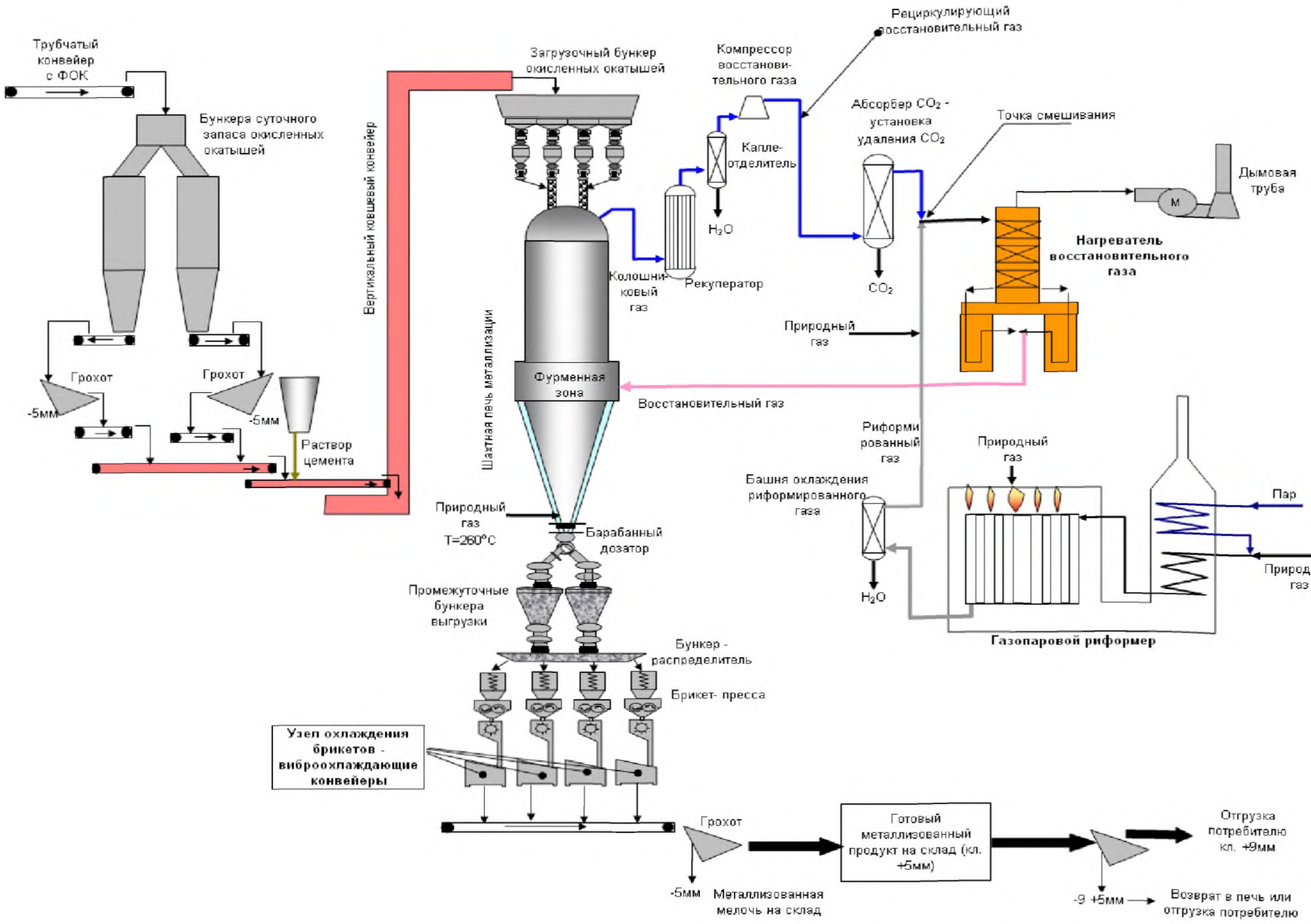


Рисунок 2.33 — Технологическая схема HYL-III

Технологическая схема MIDREX представлена на рисунке 2.34.

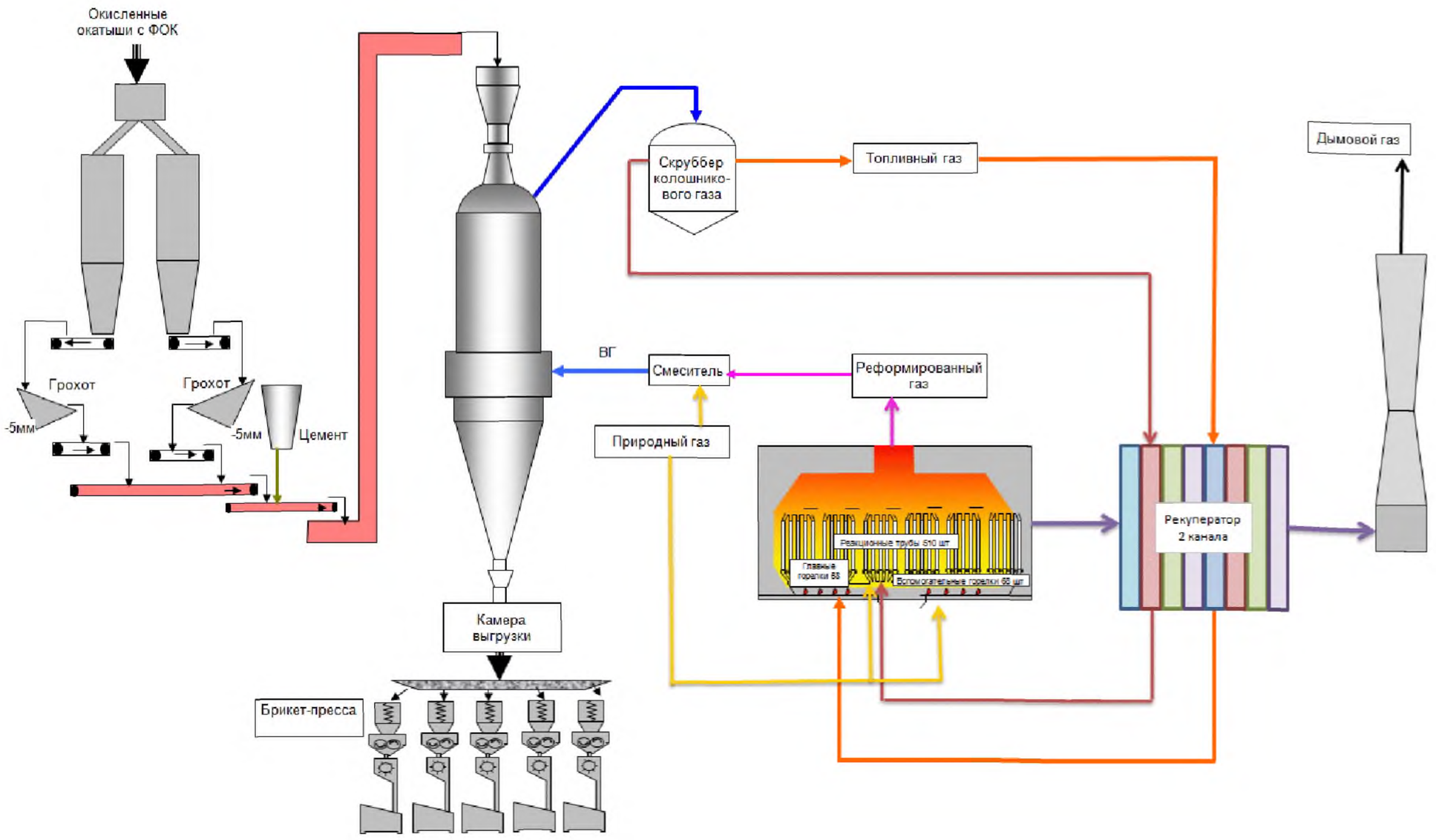


Рисунок 2.34 — Технологическая схема MIDREX

Доля железа, восстановленного до металлического, α-Fe (Fe_3C), %, называется степенью металлизации и определяется как отношение железа металлического к железу общему в DRI или HBI:

$$M = \frac{Fe_{мет}}{Fe_{общ}} \cdot 100\%$$

$$M = \frac{Fe_{мет}}{Fe_{общ}} \cdot 100\ \%,$$

где M — степень металлизации, %;

$Fe_{мет}$ — железо металлическое, которое включает α-Fe и соединение железа с углеродом (Fe_3C), %;

$Fe_{общ}$ — общее железо в железе прямого восстановления, являющееся суммой железа металлического, железа в виде карбида железа (Fe_3C) и остаточного железа в виде окислов, %.

В зависимости от степени металлизации продукт делят на предварительно восстановленный материал (реметы) и железо прямого восстановления (DRI или HBI).

Если степень металлизации составляет менее 85 %, продукт является предварительно восстановленным, а если металлизация не менее 85 %, такой продукт является DRI (HBI).

Восстановление:

Степень восстановления продукта определяется отношением кислорода, удаленного из железной руды или окатышей, к первоначальному количеству, содержащемуся в исходной железорудной шихте:

$$R = \frac{O_{2\,удаленный}}{O_{2\,исходный}} \cdot 100\%$$

$$R = \frac{O_{2\,уд}}{O_{2\,исх}} \cdot 100\ \%,$$

где R — степень восстановления, %;

$O_{2\,уд}$ — кислород, удаленный из железорудной шихты (окатышей или руды), %;

$O_{2\,исх}$ — количество кислорода, содержащегося в исходной железорудной шихте, %.

2.5.2 Физико-химические процессы, протекающие при металлизации в шахтных печах

Процесс прямого восстановления заключается в удалении кислорода из окисленных окатышей при температуре ниже точки плавления железа, при этом получается продукт с высоким содержанием металлического железа, известный как железо прямого восстановления (DRI).

Кислород удаляется с помощью восстановительного газа, который состоит в основном из смеси водорода и оксида углерода.

В процессе прямого восстановления окисленных окатышей газом между твердой и газообразной фазами протекают гетерогенные реакции.

а) Твердая фаза

Окисленные окатыши нагреваются до температуры восстановления горячим восстановительным газом. Удаление кислорода из окатышей осуществляется с помощью химических реакций с водородом и оксидом углерода.

Механизм восстановления можно представить приведенным ниже способом.

Шаги восстановления твердых окисленных окатышей:

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$$

Восстановление водородом

Полная реакция:

$$Fe_2O_3 + 3H_2 = 2Fe + 3H_2O$$

Восстановление оксидом углерода

Полная реакция:

$$Fe_2O3 + 3CO = 2Fe + 3CO_2$$

Восстановление оксидов железа водородом является эндотермическим процессом, а восстановление оксидом углерода — экзотермическим процессом.

Науглероживание оксидом углерода:

$$3Fe + 2CO = Fe_3C + CO_2$$

$$2CO = C + CO_2$$

$$CO + H_2 = C + H_2O$$

Науглероживание метаном:

$$3Fe + CH_4 = Fe_3C + 2H_2$$

$$CH_4 = C + 2H_2$$

б) Газообразная фаза

Газообразная фаза в процессе прямого восстановления является смесью нескольких газов, которые должны обладать высокой восстановительной способностью, другими словами, должно быть высокое соотношение восстановительной смеси к окислительной (более 85 %).

Еще одним очень важным аспектом процесса восстановления является рабочая температура. Восстановительные газы должны подаваться с высокой температурой, чтобы реакции восстановления могли быть не только термодинамически возможны, но и кинетика реакций была удовлетворительной.

В газообразной фазе между компонентами могут произойти некоторые реакции, в зависимости от температуры, давления и стадии процесса. Они могут произойти на стадии реформинга, во время частичного сгорания, если оно включено в процесс, и во время восстановления.

В основном в газообразной фазе проходят следующие реакции.

Реакция реформинга:

$$CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$$

Реакция водяного газа:

$$CO + H_2O = H_2 + CO_2$$

В зависимости от температуры и давления эти реакции могут стать обратимыми.

Представленные выше химические реакции восстановления протекают в шахтных печах металлизации независимо от вида технологического процесса.

2.5.3 Требования к исходному сырью

В связи с тем что процессы металлизации при получении губчатого железа протекают при умеренных температурах (без расплавления), пустая порода и примеси в исходном сырье полностью переходят в металлизованный продукт. Известно, что содержание железа и кислой пустой породы в губчатом железе существенно влияют на стоимость выплавки стали, расход электроэнергии для расплавления образующегося шлака, расход извести, потери железа со шлаком. С этих позиций содержание железа должно быть максимальным, а содержание кремнезема минимальным.

Расчеты и практика производства показали, что содержание железа в железорудных материалах желательно иметь в пределах не менее 66,7 %, а количество кислых оксидов не должно превышать 3 % (в металлизованном продукте не более 5 %), так как в противном случае использование методов бездоменного получения металла становится экономически невыгодным.

Присутствие в шихтовых материалах оксидов кальция и магния повышает их восстановимость и прочность при восстановительно-тепловой обработке, уменьшает разрушение и склонность к слипанию в процессе восстановления, улучшает условия науглероживания ПВЖ. Присутствие щелочных оксидов ухудшает процесс науглероживания восстановленного железа.

Эффективность процесса восстановления в движущемся слое в значительной степени зависит от высокой газопроницаемости столба шихты, способствующей хорошему контакту газовой и твердой фаз. Высокая газопроницаемость достигается при применении материалов с узким фракционным составом и высокой прочностью на сжатие и истирание. Так, для шахтных печей металлизации доля окатышей фракции 9,5–16 мм должна составлять 93 % — 95 %. Прочность окатышей на сжатие должна составлять 250–300 кг/ок. Широкий диапазон вариации объясняется особенностями конкретного технологического процесса, наличием в печи внутренних толкателей, высотой столба шихты (мощностью печи). Кроме того, данный показатель не всегда согласуется с показателем «горячей» прочности, который является определяющим для шахтных печей металлизации. По результатам испытаний исходного сырья во вращающемся барабане доля фракции более 6,35 мм должна составлять не менее 95 %, доля фракции менее 0,63 мм — не более 4 %.

Пористость окатышей должная быть не менее 20 %.

Металлургические характеристики исходного железорудного сырья:

а) индекс спекаемости:

- при 950 °С непокрытые — не более 30 %;
- после покрытия — не более 45 %.

Определяет тенденцию кусков железной руды или железорудных окатышей спекаться и образовывать крупные конгломераты — спеки, а также налипать на стены восстановительной печи.

Спекаемость обуславливает серьезные проблемы, связанные с потоком твердых тел и газа канальным ходом в слое, приводя к неоднородному качеству DRI;

б) индекс набухаемости:

- при 800 °С — не более 10 %;
- при 950 °С — не более 10 %.

Во всех железных рудах при восстановлении происходят изменения в объеме, так как в молекулярной структуре происходят кристаллографические изменения в зависимости от различных состояний восстановительного процесса.

Разность начального и конечного объемов, отнесенная к начальному объему, названа индексом набухаемости, выражается в процентах и отражает процент изменения объема.

Явление набухаемости наблюдается в начале восстановительного процесса, до 30 % — 40 % уровня восстановления. На этом уровне восстановления достигается максимальная степень набухаемости, которая находится в таком состоянии до тех пор, пока все оксиды железа, содержащиеся в исходном материале, не перейдут в форму вюстита. После этого начинается усадка объема слоя, продолжающаяся до окончания восстановления;

в) низкотемпературное разрушение:

- 500 °С; +6,3 мм — не менее 88 %;
- 500 °С; −3,2 мм — не более 10 %.

Оно определяется как образование мелочи в процессе восстановления и вызвано восстановительными реакциями.

2.5.4 Транспортировка исходного сырья, его классификация, покрытие перед восстановлением

Система оборудования транспортирования железорудного сырья — офлюсованных окатышей (далее — окатыши) предназначена для загрузки окатышей в печь металлизации.

Окатыши системой конвейерных трактов передаются с фабрики окомкования в цех металлизации и загружаются в бункера суточного запаса, которые необходимы для обеспечения непрерывной подачи сырья в печь в случае неплановой остановки конвейерного тракта.

Выгрузка окатышей из бункеров суточного запаса осуществляется последовательно через вибрационные питатели, грохоты, взвешивающие бункера, взвешивающие ленточные питатели. На грохотах происходит отсев мелочи — класс менее 5 мм. Отсев окатышей накапливается в бункере отсева, по мере заполнения бункера производится его выгрузка в автомобильный транспорт, далее отсев вывозится на склад.

Взвешивающие бункера и ленточные питатели предназначены для регулирования подаваемой нагрузки на сборный конвейер, а затем в печь. Количество подаваемых окатышей зависит от производительности установки металлизации. Сборные конвейеры снабжены металлоулавливателями для предотвращения попадания мелких металлических предметов. Между сборным конвейером и вертикальным конвейером подачи окатышей в печь или перед атмосферным бункером размещают установки оцементования, предназначенные для покрытия окатышей инертным материалом перед подачей в печь.

В качестве инертного материала используют цемент, мел или известняк в виде водной суспензии. Плотность суспензии варьируется от 1,15 до 1,3 кг/л в зависимости от применяемого материала и особенностей технологического процесса.

Покрытие окатышей инертным материалом предотвращает их слипание в конгломераты. Образование спеков в печи металлизации нарушает процесс восстановления и равномерный сход шихты, при высокой доле образования спеков может произойти остановка печи.

2.5.5 Описание печей восстановления

Шахтная печь металлизации является центральным блоком установки прямого восстановления. Окатыши транспортируются ленточными конвейерами в верхнюю часть печи восстановления и поступают при атмосферном давлении в открытый бункер, затем передаются в промежуточный бункер под давлением, откуда поступают в печь.

Горячий восстановительный газ (температура 900 °С — 930 °С), приходящий из реформера или газонагревателя, входит в печь металлизации через кольцевой канал, где отнимает кислород от оксидов железа, при этом часть водорода и оксида углерода окисляются до водяного пара и углекислого газа. Газ распределяется равномерно по каналу и поступает в печь через конические фурмы, которые направляют газ противотоком к железорудной шихте — железорудным окатышам. Так как восстановительный газ поднимается вверх, он восстанавливает железорудную шихту, идущую потоком вниз. При таком методе восстановительный потенциал газа используется максимально.

После зоны восстановления металлизованные окатыши с температурой 840 °С — 860 °С попадают в коническую секцию печи, расположенную сразу под восстановительной зоной. Если производится холодный металлизованный продукт (DRI), в конусную часть печи подают охлаждающий природный газ, если печи с горячей выгрузкой, то в конусную часть подают подогретый природный или восстановительный газ с целью науглероживания восстановленного продукта.

В нижней части печи располагается устройство разгрузки, в зависимости от технологии оно имеет различную конструкцию. Независимо от технологического процесса разгрузочное устройство предназначено для обеспечения равномерного выхода восстановленных (металлизованных) окатышей.

Шахтная печь металлизации в технологии HYL-III

Шахтная печь металлизации представляет собой сосуд, сконструированный из листов углеродистой стали. Верхняя часть представляет собой свод, далее идет цилиндрическая секция, которая соединяется с конической частью, которая переходит в другую цилиндрическую секцию, большего диаметра, чем предыдущая, и в конце находится нижняя коническая секция (см. рисунок 2.35).

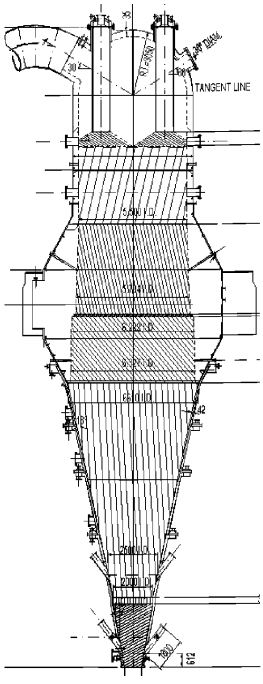


Рисунок 2.35 — Общий вид шахтной печи металлизации HYL-III

За исключением нижней конической секции, печь футерована внутри изоляционным бетоном и огнеупорным кирпичом. Через верхний свод в печь входят четыре трубы для подачи и для равномерного распределения железорудной шихты.

Железорудная шихта из окатышей или кусковой руды или смеси обоих загружается через верхнюю часть печи, и поток самотеком направляется вниз.

Горячие металлизованные окатыши выгружаются через барабанный дозатор, расположенный на поде нижней конической секции.

Печь металлизации разделена на две зоны:

а) зона восстановления — это часть печи, где протекают реакции восстановления.

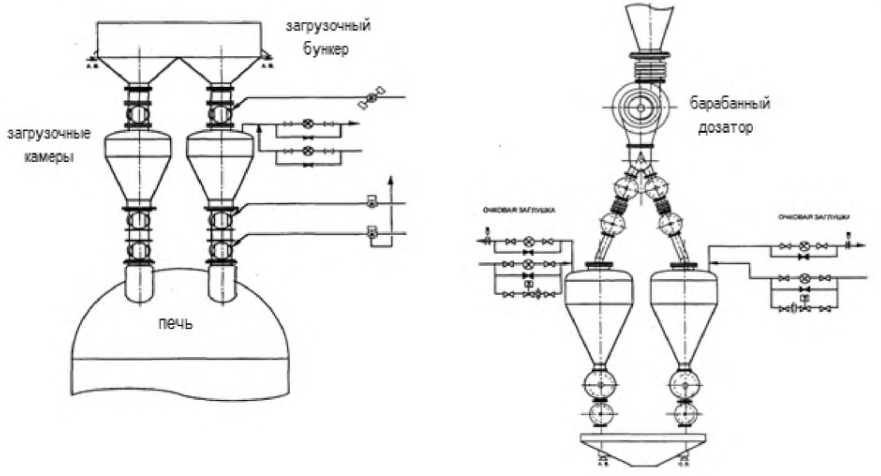
Горячий восстановительный газ, приходящий из газонагревателя, входит в печь через фурмы кольцевого канала. Движение газа и шихты противоточное.

Прежде чем выйти из печи, газ собирается в верхней части в разреженном пространстве без железорудной шихты — на колошнике;

б) подовая зона — это коническая секция, расположенная в нижней части шахтной печи сразу под восстановительной зоной. Она не футерована внутри и представляет собой гладкую металлическую поверхность, чтобы сделать возможным свободное продвижение окатышей.

Конусная часть печи снабжена водоохлаждаемой рубашкой.

Системы загрузки и разгрузки шахтной печи имеют важное значение (см. рисунок 2.36). Их назначение — обеспечить непрерывный поток железорудной шихты внутри печи. В секции загрузки железорудная шихта подается по вертикальному конвейеру и попадает в загрузочный бункер шихты, а в системе разгрузки металлизованные окатыши выгружаются и подаются в герметичные бункеры продукта, затем на брикетировочное оборудование.



а б

Рисунок 2.36 — Системы загрузки (а) и разгрузки (б) печи

Система загрузки работает в цикличном режиме, но печь при этом получает непрерывный поток железорудной шихты. Система загрузки получает железорудную шихту при атмосферном давлении и подает ее в печь при рабочем давлении в печи — 4 атм избыточного давления. Для того чтобы обеспечить это, система имеет специальные уплотняющие механизмы.

Работа системы разгрузки подобна работе системы загрузки, но в этом случае происходит сброс давления в бункере и разгрузка идет прерывисто, однако шахтная печь работает непрерывно.

Барабанный дозатор, расположенный в нижней части печи, регулирует непрерывный гравитационный поток шихты через печь. Восстановленные окатыши удаляются автоматизированными механизмами, состоящими из бункеров под давлением и комбинации отсечных клапанов твердых частиц и пробковых клапанов.

Так как в печи поддерживается высокое давление, каждый бункер продукта под давлением оборудован комплектом уплотнительных клапанов, которые изолируют печь от атмосферы. Кроме уплотнительных клапанов, эти бункеры снабжены отсечными клапанами, функция которых заключается в предотвращении контакта восстановленных окатышей с уплотнительными клапанами.

Бункеры продукта под давлением разгружаются в общий промежуточный бункер-накопитель, в котором всегда поддерживается некоторое количество восстановленных

окатышей для непрерывной загрузки материала в брикет-прессы. Этот бункер всегда работает с избыточным давлением 0,15 кг/см^2.

Промежуточный бункер-накопитель питает распределительный бункер. Этот бункер оборудован пятью выходными каналами: четырьмя для каждого брикет-пресса и пятым для обхода их байпасом, когда материал поступает непосредственно на охлаждающие конвейеры.

Шахтная печь металлизации в технологии MIDREX с горячей выгрузкой

Печь условно состоит из нескольких секций или зон, каждая из которых имеет свою специальную функцию. В верхней части печи расположена система загрузки, которая состоит из загрузочного бункера, центральной загрузочной трубы, верхнего отсечного шибера, верхнего газодинамического затвора, распределительного устройства.

Окатыши поступают из загрузочного бункера в центральную загрузочную трубу, снабженную компенсатором. Для предотвращения выброса газов из печи система загрузки снабжена газодинамическим затвором и отсечным шибером, работающим автоматически.

Из центральной загрузочной трубы через распределительное устройство окатыши попадают в 16 загрузочных труб, входящих в купол печи, чем достигается равномерный уровень засыпи.

Общий полезный объем шахтной печи условно делится на 5 зон:

1) колошник (пустая часть);
2) зона восстановления;
3) переходная зона;
4) зона повторного нагрева;
5) передаточная зона.

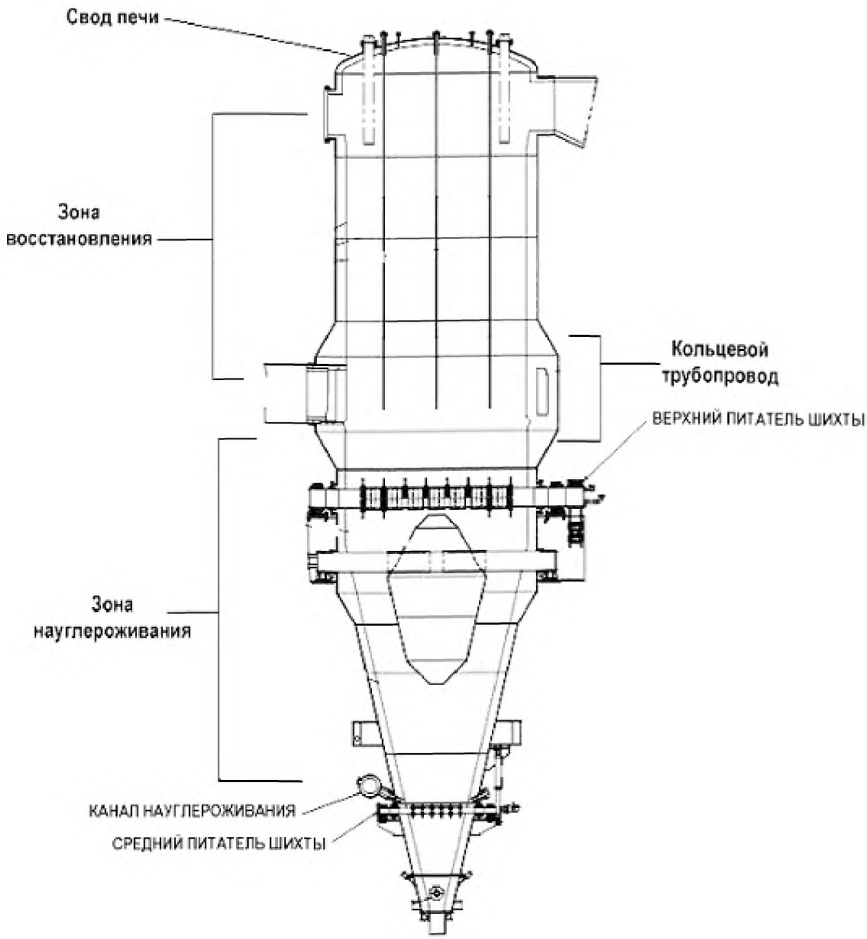


Рисунок 2.37 — Общий вид шахтной печи металлизации MIDREX

Печь внутри выложена огнеупорным материалом. Восстановительный газ по трубопроводу восстановительного газа поступает в кольцевой газопровод (фурменный пояс) шахтной печи на отметке. Для равномерного распределения потока восстановительный газ из кольцевого газопровода поступает в печь через каналы (фурмы), расположенные по периметру печи в два ряда. Первый (верхний) ряд фурм состоит из каналов диаметром 98 мм в количестве 90 шт., второй (нижний) ряд состоит из каналов диаметром 127 мм в количестве 90 шт. Всего 180 фурм, расположенных под углом 48° к вертикальной оси шахтной печи. За счет давления в газовой системе установки восстановительный газ проникает в глубину слоя сходящего материала и поднимается вверх, вступая в реакцию с оксидами железа, в результате чего образуется металлизованный продукт. Далее металлизованный продукт движется в переходную зону шахтной печи.

Для обеспечения равномерного движения материала в печи установлены: вставка выравнивания потока шихты, верхние питатели постоянного действия, средние пи-

татели постоянного действия, нижние питатели постоянного действия. Питатели установлены перпендикулярно к вертикальной оси печи. Для обеспечения работоспособности питатели оборудованы системой густой смазки.

Для науглероживания металлизованного продукта на оси верхних питателей постоянного действия подведен природный газ переходной зоны шахтной печи. Основной поток природного газа разделяется на четыре потока для обеспечения равномерного распределения газа по сечению печи.

Для контроля температуры внутри шахтной печи вертикально установлены термопары в количестве 16 шт., которые закрыты пятью защитными трубами. Периферийные защитные трубы (4 шт.) снабжены тремя термопарами разной длины. В центральной защитной трубе установлены 4 термопары разной длины.

Горячий металлизованный продукт выдается из печи через нижний газодинамический затвор. Между конусной частью печи и нижним газодинамическим затвором располагается нижний компенсатор, который предназначен для компенсации температурных расширений. Горячие металлизованные окатыши выгружаются с помощью маятникового разгрузочного устройства и попадают на роликовые грохота, которые отделяют крупный материал от стандартных окатышей размером 5–30 мм. Камера выгрузки продукта выполнена из огнеупорного материала и оборудована стимулятором потока, дверцами для сброса некондиционного материала, шиберной заслонкой байпасного питателя, пятью шиберными заслонками ответвления загрузки брикет-прессов. Из камеры выгрузки продукта спекшийся материал удалятся через систему разгрузки надрешетного продукта, а годный по размеру материал (размером 5–30 мм) выдается в пять загрузочных труб брикет-прессов, а также при запуске или остановке печи — в загрузочную трубу байпасного питателя.

Шахтная печь металлизации в технологии MIDREX с холодной выгрузкой

Печь MIDREX с холодной выгрузкой отличается от вышепредставленной печи наличием зоны охлаждения в конусной части (см. рисунок 2.38).

Горячий металлизованный продукт, опускающийся из зоны восстановления вниз, в зоне охлаждения охлаждается до температуры около 50 °С. Охлаждающий инертный газ при этом нагревается до температуры около 440 °С. Охлаждающий газ поступает в зону охлаждения через соответствующий распределитель, который разделяет общий поток охлаждающего газа на отдельные кольцевые потоки, направленные вниз (см. рисунок 2.39).

Выход охлаждающего газа находится под верхним питателем постоянного действия. Затем охлаждающий газ поступает в скруббер охлаждающего газа, где он очищается от пыли и охлаждается до температуры 10 °С — 20 °С. Охлажденный газ компрессором охлаждающего газа возвращается в зону охлаждения.

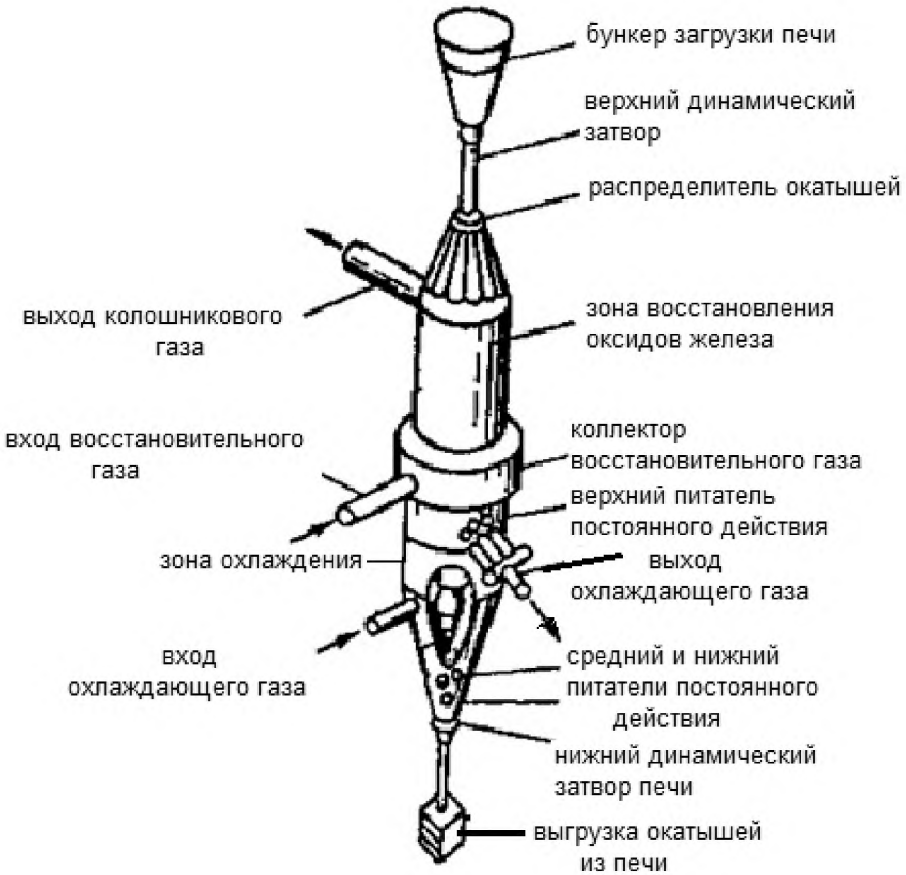


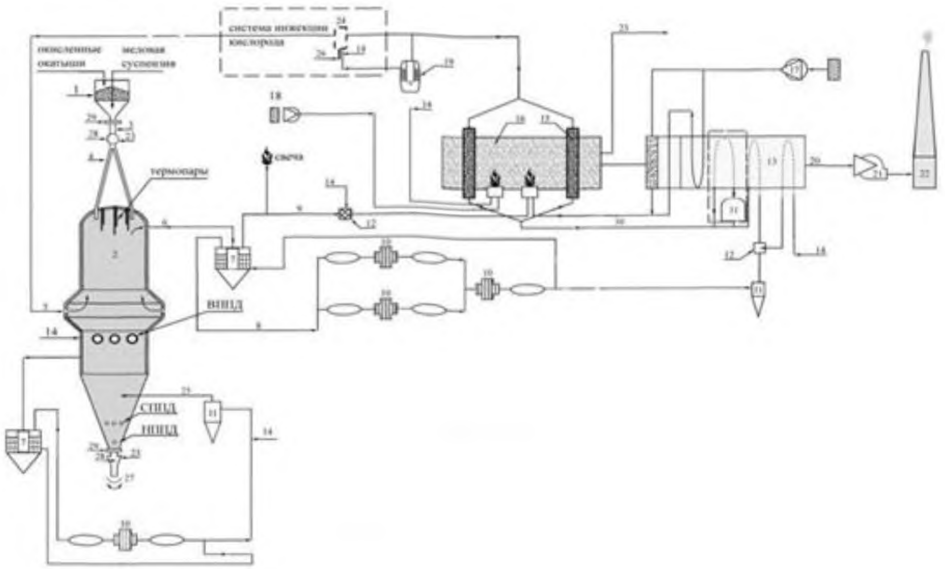
Рисунок 2.38 — Общий вид шахтной печи металлизации MIDREX с холодной выгрузкой окатышей

Выгрузка металлизованных окатышей из печи производится маятниковым разгрузочным устройством, расположенным в нижней части печи.

Для предотвращения утечки горючих газов и пыли из шахтной печи установлены верхний и нижний газодинамические затворы — ВГДЗ и НДЗ, оснащенные отсечными шиберами.

Металлизованные окатыши распределяют в три бункера хранения продукта перед электросталеплавильным цехом комбината и в три бункера промежуточного хранения перед отгрузкой потребителям (на установке отгрузки окатышей установлено еще два бункера).

Реметы — металлизованные окатыши, имеющие низкую степень металлизации (менее 90 %), транспортируются от шахтной печи на закрытый склад реметов или на открытый склад окисленных окатышей для повторной металлизации (т. е. реметы дозированно направляются в поток шихты, загружаемой в установку металлизации).



1 — промежуточный бункер; 2 — шахтная печь; 3 — загрузочная труба;
4 — распределительные трубы; 5 — восстановительный газ;
6 — колошниковый газ; 7 — скруббер; 8 — технологический газ;
9 — топливный газ; 10 — компрессор; 11 — каплеотделитель;
12 — смеситель; 13 — рекуператор; 14 — природный газ;
15 — реакционные трубы; 16 — реформер; 17 — главная воздуходувка;
18 — вспомогательная воздуходувка; 19 — холодильник; 20 — дымовые газы; 21 — дымосос; 22 — дымовая труба; 23 — инертный газ;
24 — смеситель инжекции кислорода; 25 — охлаждающий газ;
26 — кислород; 27 — маятниковое разгрузочное устройство;
28 — газовые динамические затворы; 29 — отсечной шибер;
30 — смешанный газ; 31 — десульфуризатор

Рисунок 2.39 — Схема газовых потоков установки металлизации MIDREX с холодной выгрузкой DRI

Мелочь металлизованных окатышей подвергают брикетированию (смешивание со связующим веществом — мелассой и прессование в брикеты). При прессовании металлизованной мелочи значительно снижается активная поверхность восстановленного железа. Брикеты, как и металлизованные окатыши, подают в сталеплавильный цех.

Питатели постоянного действия предназначены для обеспечения равномерного движения материала внутри печи.

Для предотвращения выделения горючего охлаждающего газа на нижнем конце шахтной печи в нижний динамический газовый затвор также вдувается инертный газ.

Для создания циркуляции в цикле технологического и охлаждающего газов установлены ротационные компрессоры.

Компрессия технологического газа происходит в трех компрессорах технологического газа в двух ступенях.

Для повышения давления охлаждающего газа используется один компрессор.

2.5.6 Генерация восстановительного газа

Отличительной особенностью установок прямого восстановления является использование газового восстановителя, который формируется установкой генерирования восстановительного газа — реформером.

Существует три типа конверсии природного газа: паровая, углекислотная, кислородная.

Причем получение восстановителя может протекать как в отдельном агрегате, так и в самом агрегате восстановления. Так, способы Армко и Пурофер используют только реформер. Процессы Мидрекс и ХиЛ сочетают в себе оба принципа. Здесь природный газ подается одновременно и в реформер, и в шахтную печь. Многие процессы используют оборотный цикл восстановителя. Колошниковый газ очищается от паров воды и других вредных веществ, а затем направляется в реформер или контур восстановительного газа. Использование оборотного цикла повышает производительность, снижает расход природного газа, исключает необходимость производства кислорода. По принципу рециркуляции работают процессы Мидрекс, ХиЛ, Пурофер. В способе Армко вначале использовалась кислородная конверсия в шахтной печи, а затем конверсия углекислотой отходящего газа.

На установках металлизации, действующих в Российской Федерации, технология получения восстановительного газа основана на углекислотной (процесс MIDREX) или паровой (HYL) конверсии природного газа, которые протекают по реакциям:

$$\Delta H \text{ реакции } (кДж/м^3)$$

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \; -8650$$

$$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2 \; -10\,500$$

Для равновесия протекания в указанном направлении вышеуказанные реакции не должны быть завершены. Всегда должен быть избыток H_2O и CO_2 в газовой смеси для реформинга во избежание отложения углерода на трубах реформера. В результате чего в горячем реформированном газе остается H_2O плюс CO_2 (CO и H_2 около 95,0 % плюс CO_2 и H_2O — 5,0 %).

Каталитический реформинг (конверсия) природного газа происходит на никелевом катализаторе в реакционных трубах реформера при температуре в пределах от 900 °С до 1000 °С. Реакции конверсии вызывают приблизительно 30 % увеличения в объеме газа.

Реформированный газ характеризуется восстановительной способностью (ВСГ), которая определяется отношением:

$$R = \frac{O_{2\text{удаленный}}}{O_{2\text{исходный}}} \cdot 100\%,$$

где H_2O, CO_2, H_2, CO — содержание соответствующих компонентов в восстановительном газе, %.

Для эффективного процесса восстановления восстановительная способность газа, поступающего в печь металлизации, должна быть не ниже 93 %.

Промышленные печи для каталитической конверсии представляют собой агрегаты с большим числом вертикальных труб с внутренним диаметром от 130 до 260 мм, в зависимости от мощности реформера, и обогреваемой частью длиной 5–15 м. Печное пространство облицовано огнеупорным кирпичом; обогрев печей ведут дымовыми газами, образующимися при сжигании углеводородных газов в специальных горелках. Распределение потока исходного газа по отдельным трубам, заполненным катализатором, а затем сбор конвертированного газа обеспечиваются системой газоподводящих и газоотводящих труб. В конвективном теплообменнике идет вторичное использование тепла выходящих из печи дымовых газов.

Только высоколегированные хромоникелевые стали с относительно высоким содержанием углерода дают возможность применять сравнительно высокие давления в современных процессах трубчатой конверсии. В условиях эксплуатации трубы подвергаются воздействию внутреннего давления, массы трубы, термических напряжений. Моменты напряжения, возникающие под воздействием массы труб, заполненных катализатором, действуют в аксиальном направлении и должны быть, насколько возможно, полнее скомпенсированы соответствующим противовесом или пружинной подвеской. Исключительное значение в трубчатой конверсии имеет безотказная работа коллекторной системы, питателей и некоторых других узлов технологического оборудования.

Первым этапом любого варианта конверсии метана является удаление из него сернистых соединений, которые являются каталитическими ядами для большинства используемых катализаторов и действуют необратимо.

Необратимость отравления катализатора выражается в том, что при прекращении поступления сероводорода на катализатор в составе исходной смеси, активность катализатора не восстанавливается.

Наличие в исходном газе сернистых соединений обусловлено как определенным их содержанием в самом природном газе, так и наличием в транспортируемом природном газе соединений типа меркаптанов — сильно пахнущих веществ, которые добавляют в добываемый природный газ.

Удаление серы, содержащейся в природном газе в виде сероводорода, происходит в результате следующей реакции:

$$ZnO + H_2S = ZnS + H_2O$$

Данная реакция осуществляется в десульфураторах, заполненных цинковым поглотителем.

Перевод серосодержащих соединений (меркаптанов и сероуглеродов) в сероводород происходит в гидрогенизаторе с кобальтомолибденовым катализатором по следующим реакциям:

$$RSH + H_2 = RH + H_2S$$

$$COS + H_2 = CO + H_2S$$

Эти реакции протекают при температуре 330 °С — 370 °С, которая достигается путем подогрева природного газа в змеевиках рекуператора, использующего тепло дымовых газов, образующихся в реформере при сжигании топлива.

Водород, необходимый для реакций гидрогенизации, поступает либо с частью реформированного газа, либо из баллонов (при первоначальном пуске), либо с частью колошникового газа и при помощи компрессора гидрогенизатора подается в линию

природного газа, смешиваясь с ним. Газовая смесь должна содержать не менее 4 % водорода по объему.

Отработанный адсорбент регенерируют с получением свободного сероводорода, используемого для производства газовой серы.

Содержание серы в очищенном природном газе не должно превышать $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ % (по объему), при превышении массовой доли серы выше указанного значения, производят замену цинкового поглотителя (ZnO).

Реформер на установке металлизации в технологии HYL-III

Участок по производству реформированного газа включает в себя газопаровой реформер природного газа, установку десульфурации природного газа, рекуператоры, парогенераторы и башню охлаждения реформированного газа (см. рисунок 2.40).

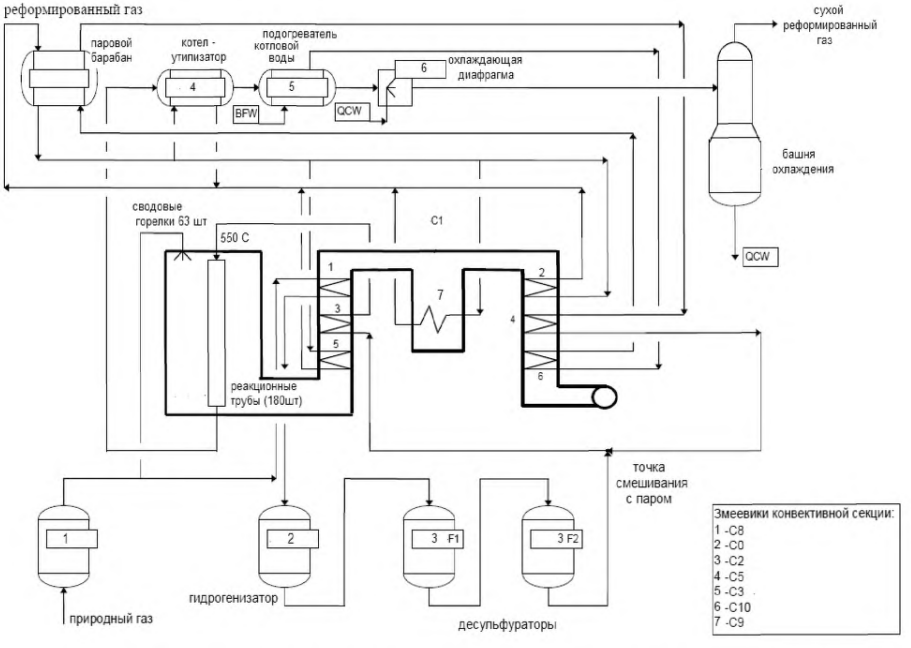


Рисунок 2.40 — Участок по производству реформированного газа на установке HYL-III

Система десульфурации включает барабанный сепаратор природного газа, змеевиковый подогреватель природного газа, расположенный в конвективной секции реформера, один гидрогенизатор, два компрессора гидрогенизации и две установки десульфурации.

Природный газ под давлением 11–12 кг/см^2 поступает в барабанный сепаратор природного газа 1, где происходит удаление конденсата, содержащегося в газе. Природный газ смешивается с частью реформированного газа (в первоначальный момент запуска вместо реформированного газа используют водород) и проходит через змееви-

ки подогрева смешанного газа, расположенные в конвективной секции реформера (С8), где он нагревается до температуры 370 °С.

После подогрева газ поступает на установку десульфурации, состоящую из гидрогенизатора 2 и двух десульфураторов 3, где происходит удаление серы, содержащейся в природном газе, до максимально допустимого уровня (не более $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ % (по объему)) для предотвращения отравления катализатора в трубах реформера. После этого смешанный газ, не содержащий серы, поступает в точку смешивания с перегретым паром в соотношении пар/углерод приблизительно 2,2:1 по объему.

Смесь направляется в змеевики конвективной секции реформера (С2), где подогревается до температуры 550 °С, и далее в трубы реформера, заполненные катализатором на никелевой основе, находящиеся в секции радиационной секции реформера, в которых проходят реакции конверсии природного газа с паром. В результате этих реакций получается реформированный газ. Потребность в тепловой энергии для секции генерирования реформированного газа удовлетворяется за счет сгорания газообразной топливной смеси, состоящей из природного газа и сбросного газа с цикла восстановления.

Так как для предотвращения осаждения углерода на катализаторе конверсия происходит при значительном избытке окислителя (пара), реформированный газ на выходе из реформера содержит большое количество влаги, которую необходимо удалить путем конденсации в результате охлаждения газа. Реформированный газ, выходящий из реформера при температуре 830 °С и давлении 7 кг/см^2, проходит через котел-утилизатор 7 и подогреватель котловой воды 5, где происходит утилизация тепла потока реформированного газа с целью генерирования насыщенного пара. Затем реформированный газ проходит через систему охлаждения с целью удаления воды: охладительная диафрагма 6, башню охлаждения и газосепаратор. После удаления влаги реформированный газ направляется к точке смешивания с рециркулирующим восстановительным газом и поступает в секцию восстановления.

Тип реформера — радиационно-конвективный с дутьевым и вытяжным вентиляторами, работающими от электродвигателей, технические характеристики реформера представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 — Технические характеристики реформера HYL-III

Показатель	Единица измерения	Усредненное значение
Расход природного газа	кг/ч	13 400
Соотношение пар/газ	моль/ат	2.2
Общий расход смеси (газ + пар)	кг/ч	45 355
Молярная масса (вход/выход)		17,33/11,25
Плотность (вход/выход)	кг/м^3	2,49/0,94
Рабочая температура (вход/выход)	°С	550/830
Количество труб	шт.	180
Количество рядов	шт.	6
Внутренний диаметр	мм	127
Максимальная температура труб	°С	874
Проектное давление	кг/см^2	12

Окончание таблицы 2.10

Показатель	Единица измерения	Усредненное значение
Проектная температура	°С	933
Объем катализатора	$м^3$	25,1
Тип катализатора		DYCAT 890
Размер и форма катализатора	мм	16 × 16 × 7, кольцо
Массовая плотность	$кг/м^3$	1050
Топливо:		
- расход природного газа	кг/ч	3870
- низшая теплотворная способность	ккал/кг	11 770
- избыток воздуха	%	10
- расход топливного (сбросного) газа	кг/ч	5690
- низшая теплотворная способность	ккал/кг	5745
- избыток воздуха	%	10

Радиационная секция реформера состоит из комплекта нержавеющих стальных труб, наполненных никелевым катализатором, где протекают реакции реформинга. Теплота, необходимая для эндотермических реакций реформинга подается горелками природного газа и сбросного (остаточного) газа, расположенными в верхней части реформера, а воздух для горения подается дутьевым вентилятором реформера.

Так как дымовые газы, выходящие из радиационной секции реформера, переносят немало тепла, в конвективной секции реформера установлено несколько змеевиков утилизации тепла для улучшения его теплового КПД.

В конвективной секции также есть горелки природного газа, расположенные между подогревателем реагентов и высокотемпературным пароперегревателем, внутри и на поде радиационного экрана бойлера.

Дымовые газы выходят из радиационной секции реформера, проходят через змеевики, расположенные в конвективной секции, и сбрасываются в атмосферу дымососом реформера.

Тепло реформированного газа используется для получения пара высокого давления в котле-утилизаторе и для предварительного нагрева котловой воды в преднагревателе. Газ охлаждается до 61 °С в охладительной диафрагме в результате прямого контакта с водой. Далее газ охлаждается до 31 °С в башне охлаждения (см. рисунок 2.40), где удаляется влага из реформированного газа. На выходе из башни охлаждения в реформированном газе содержится менее 1 % воды.

При установившейся работе установки давление реформированного газа на выходе из башни охлаждения поддерживается на уровне 6,2 $кг/см^2$.

Горячие дымовые газы, выходящие из высокотемпературной части реформера, используются для нагрева змеевиков конвективной секции реформера.

Для регулирования производства пара и для аварийного производства пара в зимних условиях, когда реформер в холодном состоянии, используется вспомогательное горение с помощью пяти горелок, расположенных в конвективной секции. В случае отсутствия природного газа в качестве топлива может использоваться керосин.

Это тепло используется для генерации пара в змеевиках вспомогательного бойлера, змеевиках бойлера II, змеевиках пароперегревателя.

Оставшееся тепло используется для подогрева котловой воды в змеевиках и воздуха для горения. Дымовые газы при средней температуре 160 °С выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу при помощи дымососа.

Требования к газовым средам, поступающим в реформер

Природный газ, поступающий на установку десульфурации, должен отвечать следующим требованиям:

Химический состав, % (по объему):

CH_4, не менее	98,6
C_2H_6, не более	0,4
C_3H_8, не более	0,1
N_2, не более	0,9
$S_{общее}$, не более	$9 \cdot 10^{-6}$
$S_{проект}$, не более	$25 \cdot 10^{-6}$
Давление, не менее кг/см^2	12
Температура, °С (средняя)	25
Температура максимальная, °С	40
Расход минимальный, м^3/ч	7180
Расход, м^3/ч (средний)	17 950
Высшая теплота сгорания, ккал/кг	11 770

Природный газ, поступающий к точке смешивания с паром после десульфурации, должен содержать серу не более 0,5·10 % $^{-6}$ % (по объему).

Охлажденный реформированный газ, подаваемый к точке смешивания с технологическим газом, должен отвечать следующим требованиям:

Химический состав, % (по объему):

H_2	73,6
CO	16,75
H_2	73,6
CO_2	5,8
CH_4	3,0
H_2O	0,62
N_2	0,23
Давление, кг/см^2	6,2
Температура, °С	31
Расход, нм^3/ч	70 200

Для отопления реформера используется четыре вида топлива:

- топливный сбросной газ из цикла восстановления как приоритетное топливо. При полной производительности установки это топливо удовлетворяет главную потребность в тепле;

- природный газ как подпиточное топливо для поддержания калорийности (и при запуске) и как основное топливо для горелок вспомогательного бойлера;

- реформированный газ в течение коротких или плановых остановок секции восстановления, когда в наличии нет сбросного газа, но реформер работает;

- может использоваться керосин в течение зимнего периода на горелки вспомогательного бойлера, когда нет в наличии природного газа.

Воздух для горения поступает из воздуходувки, предварительно нагреваясь в бойлере барабана непрерывной продувки и змеевиках подогревателя воздуха горения до температуры 190 °С. Воздух на вспомогательные горелки поступает из той же воздуходувки, минуя преднагреватель с температурой окружающей среды, а в зимнее время с температурой 5 °С, используя рециркуляцию горячего воздуха (подогреватель воздуха горения). Воздух подогревается до 190 °С.

Избыток воздуха в зоне радиационной секции реформера составляет 10 %, во вспомогательной зоне — до 15 % при полной производительности.

Дымовые газы удаляются из топки через конвективную секцию при помощи дымососа. В топке реформера поддерживается разрежение 4 мм вод. ст. при помощи заслонки тяги дымососа. Дымовые газы сбрасываются в атмосферу через дымовую трубу при температуре не ниже 113 °С для предотвращения конденсации дымовых газов и кислотной коррозии. Максимальная температура точки росы кислоты в дымовом газе при нормальной работе — 113 °С.

Система пара

На участке реформера производится большое количество пара. Часть его используется для реакций реформинга, а остальная часть идет на турбогенератор.

Котловая вода, используемая для производства пара, поступает из деаэратора при температуре 110 °С и подогревается в подогревателе котловой воды, далее подогревается до температуры 250 °С в змеевиках подогрева перед подачей в паровой барабан. Количество котловой воды регулируется потоком пара, выходящего из парового барабана, и уровнем воды в нем, основанном на трехэлементном контроле.

Пар (давление 65,5 кг/см^2) образуется посредством естественной циркуляции котловой воды через бойлер утилизации тепла реформера, бойлеров дымового газа и змеевики вспомогательного бойлера. Выработанный пар перегревается в змеевиках перегревателя и поступает в коллектор пара высокого давления (HP — высокое давление). Пар из коллектора среднего давления (MP — среднее давление) используется как пар процесса реформинга. Дополнительный насыщенный пар высокого давления поступает напрямую из парового барабана на контроль давления пара среднего давления как пар для процесса. Змеевики пароперегревателя имеют ребра для увеличения поверхности теплообмена. Уровень загрязнения труднорастворимых солей в паровом барабане поддерживается постоянной продувкой из парового барабана в барабан непрерывной продувки.

Реформер на установке металлизации в технологии MIDREX

Установка реформинга представляет собой печь с подовым нагревом, верхней тягой и топкой с радиационным поверхностным нагревом. Она выполнена в виде футерованной огнеупорами газонепроницаемой сварной металлоконструкции, содержащей вертикально заполненные катализатором реакционные трубы, расположенные в 6 рядов по 5 труб, которые образуют так называемую секцию. Корпус реформера состоит из 17 секций и спроектирован таким образом, чтобы компенсировать тепловое расширение, которое происходит при достижении рабочего температурного режима. Однородность температурного поля достигается с помощью отводов дымового газа в боковых стенах секций реформера, используются отводы разного сечения для равномерного отвода дымового газа (см. рисунок 2.41).

Реакционные трубы (с внутренним диаметром 260 мм) заполнены катализатором на носителе, содержащем в качестве активного компонента никель. Трубы расположе-

ны рядами разной высоты с различными функциями, специально рассчитанными на нужды установки.

Предварительно нагретый питающий газ, представляющий собой смесь очищенного от пыли и сжатого колошникового газа с природным газом, подается в нижнюю часть реакционной трубы и восходящим потоком протекает через стационарный слой катализатора. Природный газ подвергается стехиометрической конверсии оксидом углерода и водяным паром, содержащимися в колошниковом газе, в результате чего получается горячий реформированный газ с высокой концентрацией монооксида углерода (CO) и водорода (H_2). Реформированный газ, выходя из верхней части каждой трубы, собирается в коллекторах. При нормальных условиях эксплуатации колошниковый газ содержит достаточное количество водяного пара, чтобы можно было обойтись без нагнетания воды или вдувания пара.

Гильзы для катализаторных трубок в нижней части печи реформинга герметизированы для защиты от атмосферных воздействий гофрированными мембранами. Топка установки реформинга снабжена тепловой изоляцией, выполненной с использованием соответствующих огнеупорных материалов. Смотровые окна оборудованы специальным термостойким стеклом.

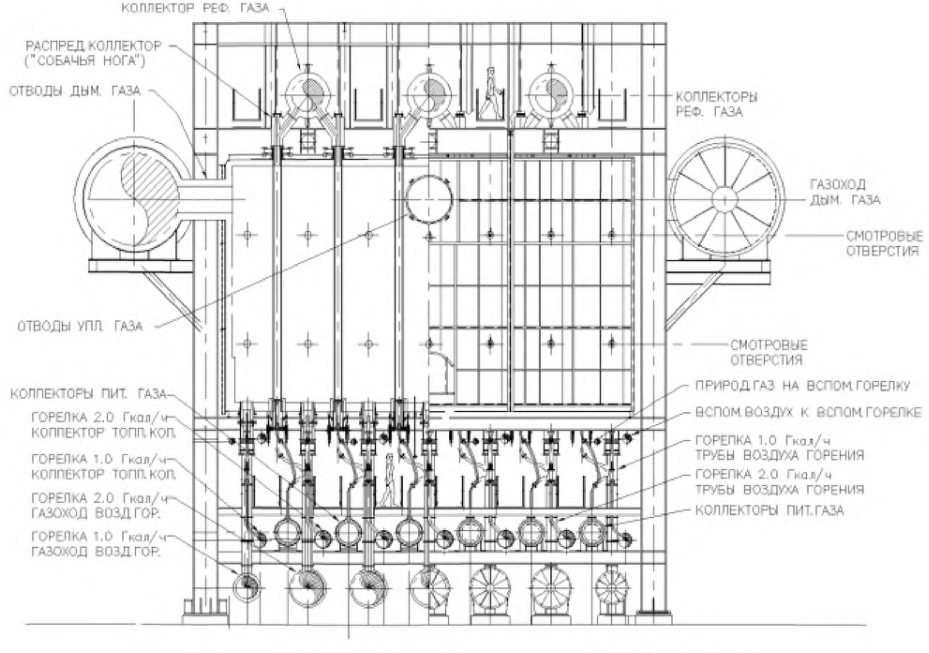


Рисунок 2.41 — Реформер установки MIDREX. Вид с торца

Для уменьшения ползучести материала в трубах (постоянный рост в течение длительного периода эксплуатации при высоких температурах) трубы опираются на

систему пружинных опор под подом печи реформера, которая воспринимает часть общей весовой нагрузки труб.

Температура реформированного газа может быть выше температуры, необходимой для его прямого вдувания в шахтную печь в качестве газа для кольцевого воздухопровода. Охлаждение горячего реформированного газа производится путем подачи небольшого количества газа от компрессора технологического газа, компрессора охлаждающего газа и/или путем обогащения реформированного газа природным газом.

Реформер оснащен главными и вспомогательными горелками. Воздуходувка основного воздуха подает предварительно нагретый до 550 °С — 600 °С воздух для горения к главным горелкам, где он добавляется к топливной смеси природного газа и колошникового топливного газа. Воздуходувка вспомогательного воздуха подает воздух на вспомогательные горелки, где воздух смешивается с природным газом и сжигается.

Главные горелки расположены симметрично между всеми рядами трубок и обеспечивают длинное узкое пламя для эффективного нагрева реакционных труб по длине, вспомогательные горелки, используемые в качестве запальных и пилотных горелок, установлены в четыре ряда между главными горелками.

Вспомогательные горелки применяют для нагрева печи во время запуска, а также для поддержания требуемой топочной температуры во время краткосрочных остановок (работа установки в холостом режиме). При работе в холостом режиме горелки поддерживают температуру печи реформинга на величину чуть ниже рабочей температуры для предупреждения возникновения нежелательных напряжений в реакционных трубах и огнеупорной футеровки вследствие изменений температуры. Обе горелочные системы работают на искусственной тяге с подачей воздуха горения со стороны вентиляторов. Воздух горения для главных горелок подается главным вентилятором и затем нагревается в рекуператоре; на вспомогательные горелки подается холодный воздух от вспомогательного вентилятора.

Горение в печи реформера осуществляется с высокой эффективностью. Это обеспечивается почти герметичной конструкцией печи, предупреждающей проникновение воздуха, а также точным регулированием соотношения топливного газа с воздухом, которое является близким к стехиометрическому. Получающийся в результате дымовой газ печи реформера по причине низкого содержания кислорода в нем представляет собой пригодный источник для производства инертного газа.

Дымовой газ собирается в двух коллекторах, расположенных с каждой стороны печи реформера. Коллекторы дымовых газов футерованы огнеупорами. Для компенсации теплового расширения между отдельными секциями коллекторов установлены компенсаторы. Дымовые газы, выходящие из печи реформера при температуре примерно 1150 °С, подаются на рекуператор для утилизации тепла.

Реформинг в процессе MIDREX определяется как стехиометрический реформинг. Работа при условиях, настолько близких к стехиометрическим, требует постоянно правильной и точной работы реформера. Неправильная работа может привести при реакциях с выпадением углерода к загрязнению катализатора, разложению катализатора или повреждению высокотемпературных легированных труб реформера.

Технические характеристики реформера представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 — Технические характеристики реформера

Наименование параметра	Единица измерения	Усредненное значение
Длина	м	59,500
Ширина	м	15,200
Высота	м	9,820
Количество секций	шт.	17
Количество реакционных труб	шт.	510
Количество горелок	шт.	306
Количество основных грелок с тепловой производительностью 1,5 Гкал/ч и диаметром сопла 100 мм	шт.	170
Количество основных грелок с тепловой производительностью 0,75 Гкал/ч и диаметром сопла 65 мм	шт.	68
Количество вспомогательных горелок	шт.	68

Большая часть реформированного газа, необходимого для восстановления в печи, производится в реформере и вводится в печь с восстановительным газом (газом кольцевого трубопровода). Однако некоторая часть реформинга проходит в печи. Такой реформинг называется внутренним (in-situ reforming).

Внутренний реформинг происходит из-за наличия в печи метана и окислителей. Природный газ добавляется в печь для увеличения количества углерода как продукта реакции. Количество метана в печи возрастает при добавлении обогащенного природного газа в смеситель реформированного газа и путем ввода природного газа непосредственно в печь в переходную зону.

После восстановления оксида железа до металлического железа CO и H_2 преобразуются в окислители CO_2 и H_2O. Каталитическая поверхность восстановленного железа (DRI) позволяет окислителям реагировать с некоторым количеством метана или тяжелыми углеводородами в природном газе, образуя больше CO и H_2 внутри печи.

При реформинге с CO_2 образуются равные количества H_2 и CO, а при реформинге с H_2O образуется в три раза больше H_2, чем CO. Поэтому отношение H_2/CO в реформированном газе определяется на основании относительных количеств CO_2 и H_2O в подаваемом в реформер газе. Реакция реформинга с CO_2 медленнее, чем реакция с H_2O. Количество тепла, необходимое для протекания реакций реформинга, представлено в таблице 2.12. Так как реформер использует и CO_2, и H_2O, то для увеличения скорости реакции он должен работать при более высоких температурах, чем стандартный паровой реформер.

Таблица 2.12 — Теплота реакции для реформинга

Температура, °C	Эндотермическая теплота реакции, ккал/нм^3 CH_4	
	Реформинг с CO_2	Реформинг с H_2O
700	2785	2407
800	2787	2418
900	2784	2425
1000	2776	2428

При реакциях реформинга происходит объемное расширение. Однако при реакциях восстановления оксида железа изменений в объеме не наблюдается. Так как количество воды, конденсирующейся в скруббере колошникового газа, меньше объемного расширения при реформинге, всегда из скруббера колошникового газа выходит больше газа, чем требуется для подачи в реформер. Это избыточное количество колошникового газа используется как топливный колошниковый газ на главных горелках реформера.

Катализаторы реформера

Катализатор — это вещество, ускоряющее химическую реакцию, не участвуя в ней. В реформере установки металлизации катализатор ускоряет реакции конверсии:

$$CH_4 + CO_2 \leftrightarrows 2CO + 2H_2$$

$$CH_4 + H_2O \leftrightarrows CO + 3H_2$$

Катализатор состоит из активного компонента — никеля и основы — глинозема высокой чистоты.

Питающий газ, представляющий собой смесь природного газа с паром в паровом реформере или смесь природного газа с колошниковым в углекислотном реформере, поступает в реакционную трубу, в которой в хаотичном расположении находится катализатор. За счет внешней подачи тепла и газ, и катализатор нагреваются до высоких температур (см. рисунок 2.42).

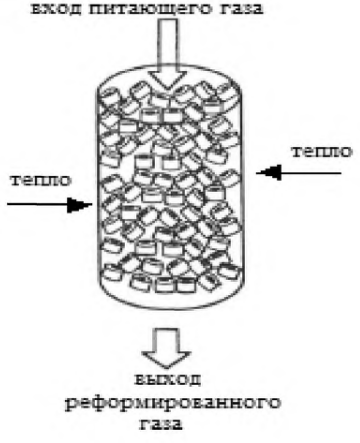


Рисунок 2.42 — Реакционная труба реформера, заполненная катализатором

В реформере используют два или три вида катализатора Reformex. В нижнюю часть трубы загружают очень прочный малоактивный катализатор.

Далее в один или два слоя загружается активный катализатор.

Катализатор представляет собой материал, который ускоряет реакцию и при этом не поглощается и не меняется в ходе реакции.

Реформинг — это гетерогенная каталитическая реакция, потому что реагенты находятся в газообразном состоянии, а катализатор — в твердом. Катализаторы реформинга являются составными (сложными), так как они содержат более одного химического компонента, т. е. активную составляющую и носитель. Эффективность катализатора зависит от собственных химических и физических свойств катализатора и в некоторой степени от его разложения при использовании в реформере.

Активность катализатора очень важна для успешного стехиометрического реформинга. Активность катализатора зависит от первичного химического состава его активной составляющей и носителя. Активная составляющая для большинства катализаторов реформинга — это никель, но иногда для катализаторов используется кобальт. При низкой температуре никель активнее кобальта. При высокой температуре активность никеля и кобальта примерно одинакова. Чем выше содержание активной составляющей, тем выше активность катализатора. Носителем для большинства катализаторов реформинга является глинозем высокой степени чистоты.

Выпадение углерода на катализатор снижает эффективность работы катализатора. Большое значение для эксплуатации реформера имеют форма и размер гранул катализатора. Они должны обеспечивать минимальное гидравлическое сопротивление потоку газа за счет высокой порозности слоя и максимальную передачу тепла в слое за счет высокой турбулентности потока. Максимальный размер частиц катализатора ограничен диаметром реакционной трубы. Он должен быть <1/5 ее диаметра, что обеспечивает равномерную загрузку трубы катализатором. Минимальный диаметр ограничен перепадом давления.

В реформерах установок металлизации используются три типа катализатора различной степени активности. Во впускной части трубы (низ трубы) до отметки, где температура питающего газа реформера позволяет появление углеродных отложений, требуется очень твердый катализатор низкой активности (содержание никеля до 3 %). Далее расположен слой катализатора средней активности (3 % — 7 %). От области трубы, где питающий газ реформера нагревается до температуры выше 700 °С, до выхода из трубы используются высокоактивные катализаторы (7 % — 15 %). Активность этих катализаторов должна быть как можно выше, чтобы довести до максимума реакционную способность трубы, одновременно избегая отложения углерода.

Катализатор с высокой теплопроводностью приводит к высокой теплопередаче к центру слоя и улучшает производительность. Поэтому плотный носитель предпочитается легкому носителю из-за лучшей теплопроводности.

На работу катализатора могут оказывать влияние отравляющие вещества.

Каталитические яды — вещества, отрицательно влияющие на никелевый катализатор и подпадающие под категории: временные и постоянные.

Многие вещества, встречающиеся в природном газе, могут расщепляться и образовывать углерод в пустотах вокруг частей катализатора. Расщепление этих веществ, как правило, не приводит к разрушению катализатора. Углерод, образованный при расщеплении этих веществ, может быть удален методом выжигания, при котором используются дымовые газы, содержащие 1,0 % — 2,0 % O_2.

Известными временными ядами, которые могут быть обнаружены в потоке питающего газа, являются: сера и все соединения серы, хлорин и другие галогены.

При присутствии в питающем газе эти каталитические яды вызывают временную потерю активности катализатора. Временный яд уменьшается до нормальных уровней, катализатор возвращает свою нормальную активность в течение нескольких дней.

Известными постоянными ядами, которые могут обнаруживаться в питающем газе, являются: мышьяк, фосфор, ванадий, медь, щелочь, серебро, свинец, цинк, щелочные редкоземельные металлы. Данные вещества вызывают постоянные, необратимые потери активности катализатора.

Даже минимальные дозы (<0,1 ppm) вышеуказанных компонентов могут вызвать постоянную потерю производительности со временем при нанесении покрытия на катализатор и блокировке доступа к порам. Несмотря на то, что довольно редко встречается руда, содержащая заметное количество таких элементов, как мышьяк и свинец, все равно необходимо проверять наличие в руде этих компонентов, потому что потеря активности катализатора необратима.

2.5.7 Системы технологического газа

Особенность технологии получения ПВЖ в шахтных печах заключается в том, что используется газовый восстановитель — смесь водорода и оксида углерода в различных соотношениях, в зависимости от конкретной технологии. Кроме того, в восстановительный газ может добавляться природный газ и кислород с целью осуществления внутренней конверсии (внутри печи на восстановленном железе), что позволяет интенсифицировать процессы восстановления оксидов железа.

Схема движения технологического газа в контуре восстановления установки металлизации HYL-III представлена на рисунке 2.43.

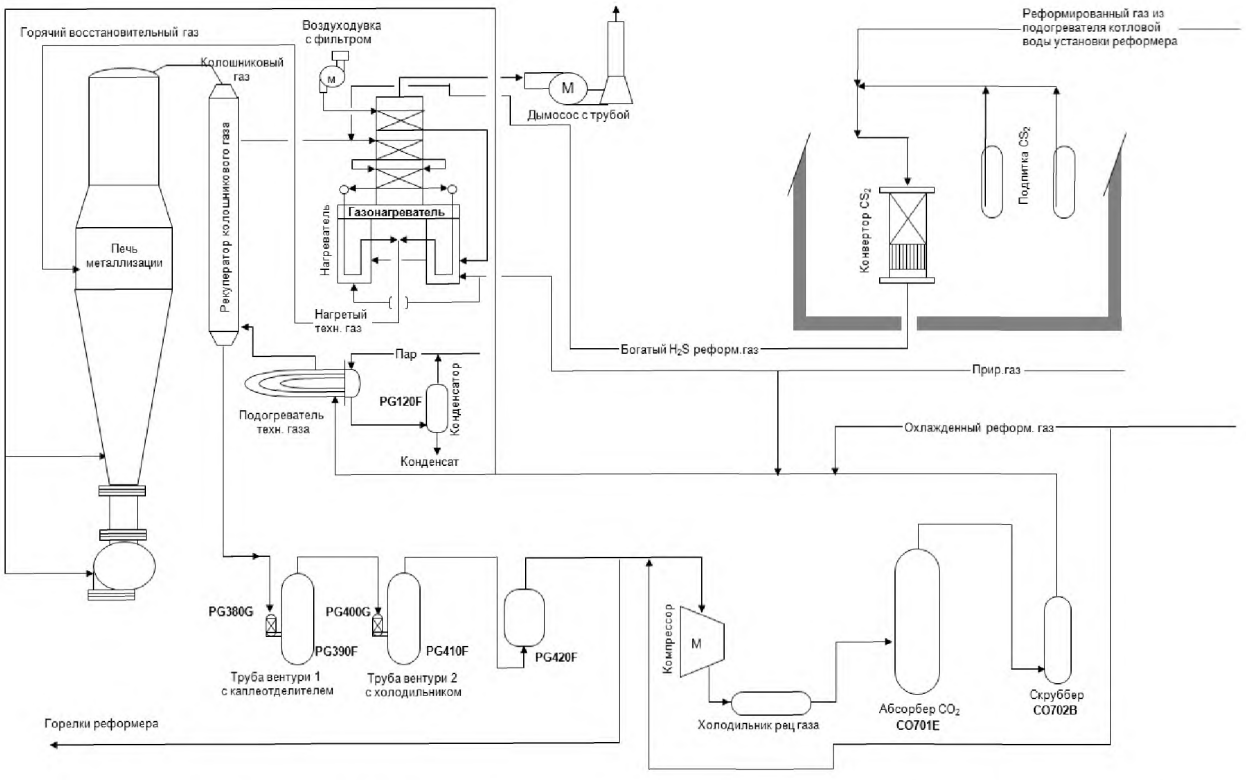


Рисунок 2.43 — Контур технологических газов установки металлизации HYL-III

Когда технологический газ выходит из зоны восстановления (колошниковый газ), он последовательно проходит через следующее оборудование:

а) теплообменник восстановительного газа;

б) охладительная диафрагма восстановительного газа;

в) каплеотделитель трубы Вентури I;

г) охладительная башня (холодильник) трубы Вентури II и восстановительного газа;

д) каплеотделитель рециркулирующего газа;

е) компрессоры рециркулирующего газа;

ж) абсорбция CO_2;

з) нагреватель технологического газа.

Теплообменник восстановительного газа расположен на выходе из шахтной печи. Здесь осуществляется подогрев восстановительного газа, идущего в нагреватель технологического газа за счет утилизации теплосодержания колошникового газа.

Отработанный колошниковый газ, приходящий из теплообменника восстановительного газа, направляется в охладительную диафрагму восстановительного газа. Здесь впрыскивается производственная вода, чтобы охладить газ и отделить твердые частицы, приходящие с газовым потоком. Трехфазный поток, т. е. вода, газ и попавшие твердые частицы направляются в каплеотделитель трубы Вентури I, где отделяется шлам.

В трубе Вентури I впрыскивается производственная вода, а в каплеотделителе — охлаждающая вода для оборудования. Вода, отделенная в Вентури I и каплеотделителе, направляется в трубу охлаждающей воды технологического процесса, а затем в осветлитель. Поток очищенного газа, приходящий из каплеотделителя трубы Вентури I, охлаждается в трубе Вентури II; для этих целей используется вода, предназначенная для охлаждения оборудования. Возвратная вода направляется в систему воды для охлаждения оборудования. Каплеотделитель рециркулирующего газа используется для отделения конденсата, переносимого отработанным газом из холодильника технологического газа. Это цилиндрический сосуд, установленный в вертикальном положении, внутри которого находятся насадки, способствующие отделению капель воды от газового потока.

Очищенный и осушенный технологический газ поступает на компрессор рециркулирующего газа. Компрессор рециркулирующего газа — это центробежный компрессор, работающий от электродвигателя. Его проектная мощность — 196,882 $нм^3$/ч. Основное назначение компрессора — рециркулировать определенный объем газа в пределах контура восстановления. Рабочие условия на входе — 310 °С и 4,57 $кг/см^2$ абс., а на выходе — 770 °С и 6,72 $кг/см^2$ абс. В линии разгрузки компрессора есть клапан рециркуляции, который направляет поток на всас компрессора. Этот клапан используется для предотвращения помпажа, а также для контроля потока технологического газа для газонагревателя. В линии разгрузки компрессора имеется также байпасная линия системы CO_2.

Очищенный колошниковый газ после компрессора направляется как поток рециркулирующего восстановительного газа в абсорбер CO_2. Система абсорбции CO_2 предназначена для очистки технологического газа от образовавшегося в печи металлизации диоксида углерода — CO_2 с целью повышения восстановительного потенциа-

ла рециркулирующего газа. Система состоит из одной башни абсорбции, одной башни десорбции, теплообменников, насосов и вспомогательного оборудования.

Технологический газ подается в нижнюю часть абсорбера, проходит вверх противотоком к абсорбирующему раствору. В качестве абсорбирующего раствора используется водный раствор метилдиэтаноламина ($CH_3N(CH_2CH_2JOH_2)$), содержащий добавку для повышения абсорбции CO_2 — пиперазин $HN(CH_2CH_2)_2NH$.

Метилдиэтаноламин (MDEA) является неагрессивным амином третичной обработки. Являясь более слабым основанием по сравнению с другими алканоламинами (такими как метилэтаноламин или диэтаноламин), активированный раствор MDEA не коррозийный, не требует ни процедур пассивации, ни дополнительного стабилизатора. Раствор имеет высокую химическую и термическую стабильность при температурах регенерации. Он нетоксичен и склонен к биораспаду.

Высокое рабочее давление и низкая температура абсорбера ускоряют передачу массы CO_2 и H_2S от газа к жидкости, где они абсорбируются. Восстановительный газ из абсорбера идет в скруббер обезуглероженного газа, где он охлаждается и очищается от абсорбирующего раствора, принесенного из абсорбера противопотоком воды. Восстановительный газ из скруббера обезуглероженного газа подается в рекуператор тепла колошникового газа и потом в нагреватель технологического газа.

Нагреватель технологического газа предназначен для обеспечения необходимой температуры технологического восстановительного газа, чтобы получить необходимую энергию для восстановления железорудных окатышей. Тип нагревателя технологического газа — конвективно-радиационный. Он спроектирован для увеличения температуры восстановительного газа до 933 °С.

Дымовые газы, образующиеся в радиационной зоне, подогревают змеевики, расположенные в верхней части нагревателя конвективной зоны. Эти дымовые газы выходят из конвективной зоны, проходят через змеевик теплообменник воздуха и сбрасываются через дымосос реформера. Сжигание газа происходит с помощью горелок природного газа, которые расположены на поде и стенках радиационной секции. Нагреватель имеет вытяжной и дутьевой вентиляторы и использует подогретый воздух для горения.

Технологический газ, 295 °С и 6,21 кг/см^2 изб., попадает в нагреватель конвективной зоны. Это первый этап нагрева, где достигается начальная температура 500 °С. Потом газ идет в радиационную зону или окончательный этап нагрева, где газ нагревается до 933 °С и собирается в линии передачи, которая соединяется с зоной восстановления шахтной печи металлизации.

Трубы газового нагревателя подвергаются газовой коррозии в атмосфере восстановительного газа — так называемый процесс металл-дастинг (metal dusting — образование металлической пыли). Metal dusting обычно происходит в атмосфере восстановительного газа в присутствии большого количества углеводородов в интервале температур от 450 °С до 900 °С. Для предотвращения данного процесса проводят предварительное окисление труб газонагревателя с целью образования слоя окиси хрома на наружной поверхности труб. Кроме того, производят инжекцию соединений серы в поток технологического газа, поступающего в газонагреватель. Целью инжекции серы является пассивирование металлической поверхности труб, которые катализируют реакции науглероживания. Соединения серы инжецируются в поток технологического газа, обычно 20–30 ppm H_2S по объему, и добавляются в технологический поток. Го-

рячий восстановительный газ с температурой 930 °С, приходящий из газонагревателя, входит в печь металлизации через кольцевой канал (фурменный пояс), проходя через слой железорудных окатышей, взаимодействует с окислами железа, последовательно его восстанавливая до чистого α-железа.

Упрощенная схема циркуляции технологического газа на установке HYL-III представлена на рисунке 2.44.

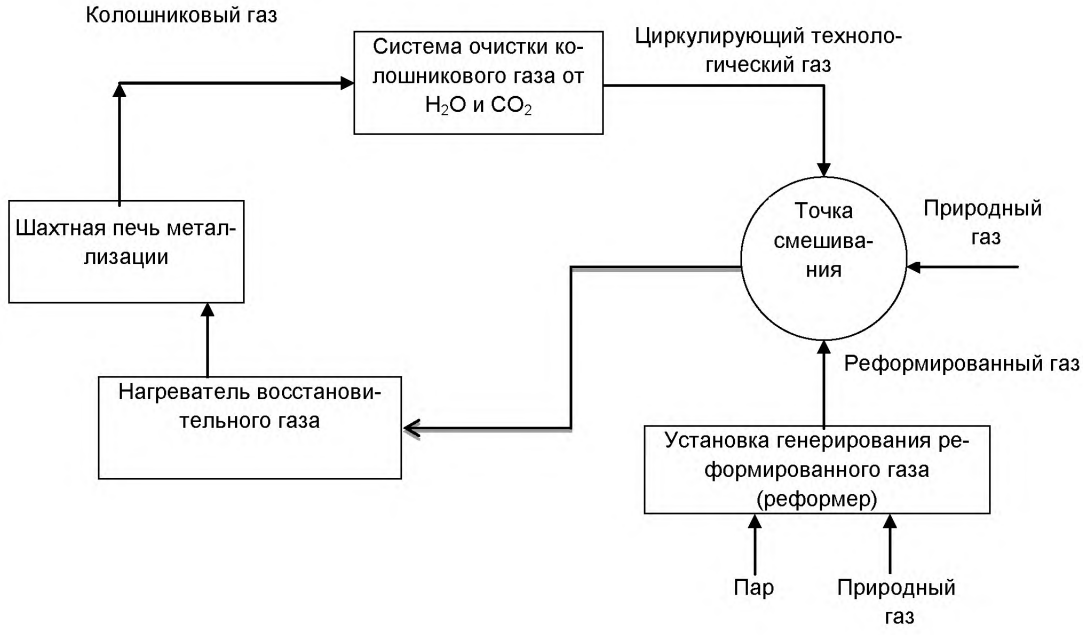


Рисунок 2.44 — Схема циркуляции технологического газа в системе HYL-III

Усредненные химические составы газов, участвующих в формировании восстановительного газа, представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 — Усредненные химические составы циркулирующих газов [19]

Наименование газа	Химический состав, % (об.)					
	CH_4	H_2	CO	CO_2	H_2O	N_2
Природный	98,6	0-	0	0	0,8	0,6
Колошниковый	7,3	50,7	10	8	22	2
Реформированный природный газ	4,5	73	17	5	0,3	0,2
Рециркулирующий технологический газ	10	69	17	1,5	0,9	1,6
Технологический восстановительный	11,5	71	16	3,5	0,4	0,6

Наименование газа	Химический состав, % (об.)					
	CH_4	H_2	CO	CO_2	H_2O	N_2
Реформированный природный газ — конвертированный природный газ после скруббера; рециркулирующий восстановительный газ — колошниковый газ, очищенный от CO_2; технологический восстановительный газ — смесь первых двух газов в объемном соотношении 1:2,33 и природный газ — 0,6 % — 0,8 % от общего объема.						

Схема движения технологического газа в контуре восстановления установки металлизации MIDREX представлена на рисунке 2.45.

Отработанный горячий, запыленный, выходящий из шахтной печи газ (колошниковый газ) по футерованному трубопроводу поступает в скруббер колошникового газа, в котором происходит его очистка и охлаждение. Охлаждение и очистка производятся внутри емкости скруббера в три этапа. Газ сначала проходит через трубу Вентури, где происходит удаление пыли и первоначальное охлаждение, затем он проходит через насадку, выполненную из нержавеющей стали, и, наконец, через каплеотделитель. Газ, выходящий из трубы Вентури скруббера колошникового газа, разделяется на два потока (технологический газ и топливный газ), которые проходят через две отдельные секции внутри скруббера. Топливный газ направляется на главные горелки реформера.

Выходящий из скруббера очищенный и охлажденный технологический газ подается на всас установленных последовательно компрессоров технологического газа, где путем сжатия в два этапа обеспечивается необходимое давление газа в замкнутой системе газовых потоков. Из второй ступени горячий копремированный газ подается в систему рекуперации тепла отходящих газов печи реформинга (реформер), где после предварительного нагрева и удаления серы в десульфураторах, заполненных катализатором ZnO, смешивается с нагретым технологическим природным газом.

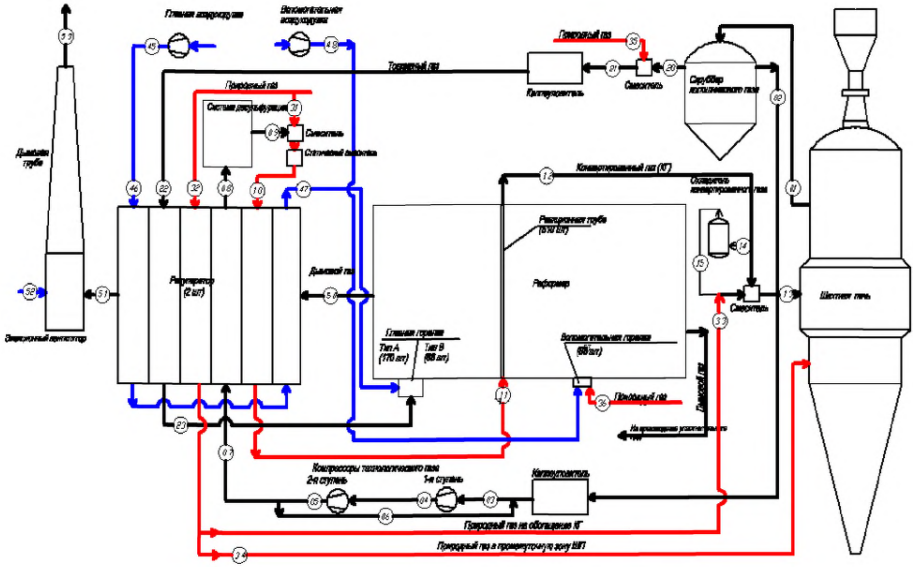


Рисунок 2.45 — Схема потоков технологических газов на установке MIDREX

После окончательного нагрева в рекуператорах этот смешанный газ подается в каталитические трубы реформера, где происходит его преобразование в реформированный газ. Для обеспечения необходимого содержания углерода в металлизованном продукте поток реформированного газа смешивается с природным газом и направляется в фурменный пояс шахтной печи как восстановительный газ. Регулирование температуры восстановительного газа осуществляется путем охлаждения части конвертированного газа в холодильнике реформированного газа. Трубопровод реформированного газа выполнен из огнеупорного материала. При необходимости для предотвращения потерь тепла трубопровод может быть оборудован защитным металлическим кожухом.

Для регулирования температуры металлизованного продукта часть реформированного газа, расход которого регулируется клапаном горячего газа, подается в конусную часть шахтной печи через кольцевой трубопровод повторного подогрева.

2.5.8 Системы рекуперации тепла

На установке HYL-III реформер имеет конвективную секцию, так как дымовые газы, выходящие из радиационной секции реформера, переносят немало тепла. В конвективной секции реформера установлено несколько змеевиков утилизации тепла для улучшения его теплового КПД.

В конвективной секции реформера устанавливаются следующие змеевики утилизации тепла:

а) подогреватель реагентов «В» смеси природного газа/пара;

б) бойлер с радиационным экраном «А»;

в) высокотемпературный пароперегреватель;

г) низкотемпературный пароперегреватель;

д) подогреватель смеси реагентов «А»;

е) подогреватель природного газа;

ж) бойлер дымового газа;

з) экономайзер котловой воды;

и) подогреватель воздуха для горения.

Из шахтной печи металлизации HYL-III выходит горячий колошниковый газ с температурой 350 °С — 450 °С. В целях рационального использования тепла установка снабжена рекуператором технологического газа, который представляет собой кожухотрубный противоточный теплообменник (см. рисунок 2.46).

Рекуператор используется для передачи тепла от колошникового газа, выходящего из шахтной печи, холодному восстановительному газу для его предварительного нагрева.

Со стороны кожуха, т. е. в межтрубном пространстве, движется холодный восстановительный газ с давлением 6 МПа абс. и температурой на входе около 75 °С. В рекуператоре восстановительный газ подогревается до температуры 270 °С — 300 °С. Горячий колошниковый газ поступает в трубы рекуператора с температурой 380 °С — 420 °С и охлаждается до температуры около 200 °С.

Проектная теплоотдача составляет 21,7 Гкал/ч.

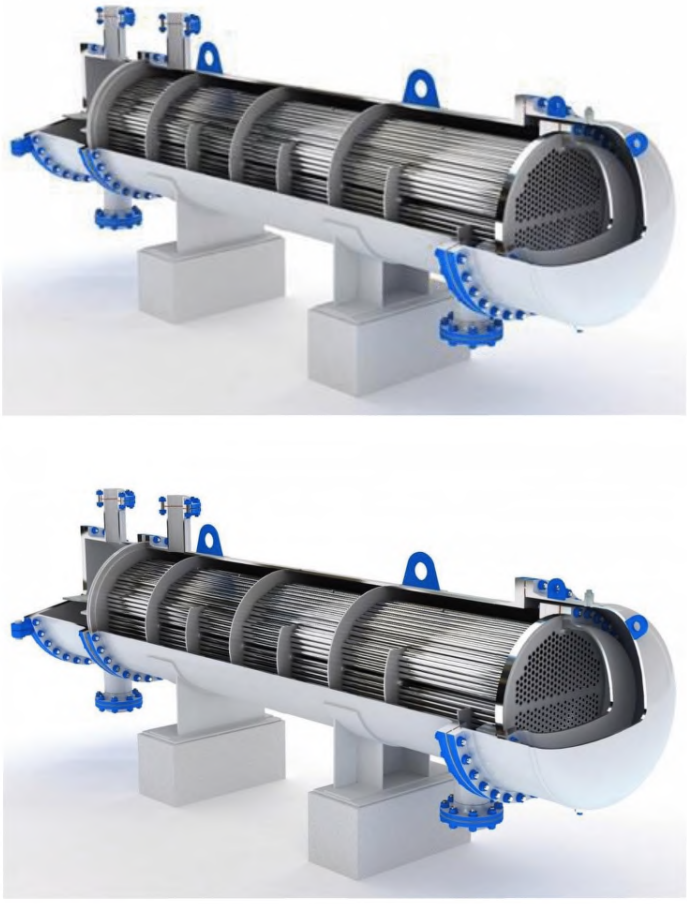


Рисунок 2.46 — Кожухотрубный противоточный рекуператор технологического газа

Для предотвращения засорения внутренних стен труб рекуператора, по которым движется колошниковый газ, восстановительный газ предварительно нагревается до температуры около 75 °С в подогревателе восстановительного газа. Подогреватель восстановительного газа работает с паром низкого давления и представляет собой петлевой кожухотрубный теплообменник.

Кроме того, процессы рекуперации тепла используются в газовом нагревателе восстановительного газа.

Подогретый до 295 °С поток восстановительного газа после рекуператора технологического газа поступает в газонагреватель (см. рисунок 2.47). Общий поток восстановительного газа к нагревателю разделяется на два потока и направляется в конвективную секцию нагревателя на змеевики подогрева технологического газа С4, а затем на змеевики подогрева технологического газа С3. Из конвективной секции подогретый

до 550 °С восстановительный газ через два наружных коллектора поступает в радиационную часть. Радиационная часть газонагревателя состоит из двух секций, в каждой секции расположены 45 радиационных змеевиков, где восстановительный газ нагревается до температуры 930 °С. Нагретый восстановительный газ направляется в шахтную печь через сборный коллектор.

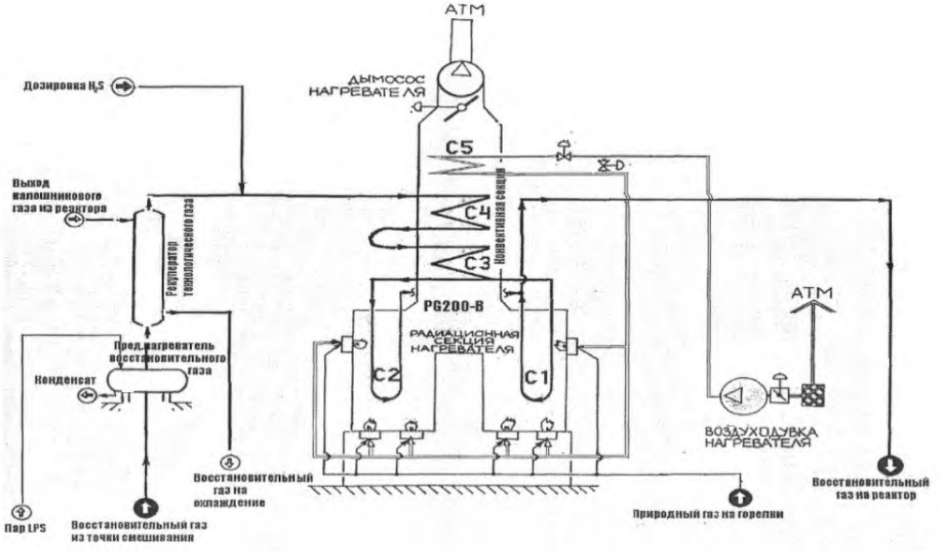


Рисунок 2.47 — Нагреватель восстановительного газа

Дымовой газ из радиационной секции направляется в конвективную секцию. После утилизации тепла в конвективной секции дымовой газ проходит змеевики подогрева воздуха (С5, см. рисунок 2.47), охлаждаясь до 190 °С. В подогревателе воздуха горения воздух подогревается, забирая тепло дымового газа, и направляется на горелки газового подогревателя.

После этого дымовой газ выбрасывается в атмосферу при помощи дымососа.

Для уменьшения потребления энергии на установке прямого восстановления железа MIDREX используется рекуператор, в котором осуществляется утилизация тепла горячих дымовых газах, поступающих от реформера. Рекуператор выполнен из огнеупорного материала и включает в себя:

- нагреватель воздуха горения для главных горелок реформера;
- нагреватель смешанного газа;
- нагреватель природного газа;
- нагреватель топливного газа;
- нагреватель технологического газа.

Система рекуперации тепла состоит из двух идентичных параллельных рекуператоров. Каждый рекуператор представляет собой корпус из углеродистой стали с двумя теплообменниками, футерованный изнутри. Корпус выполняет роль канала,

направляющего дымовой газ через теплообменники к дымовой трубе (см. рисунок 2.48).

После рекуператора дымовой газ сбрасывается в атмосферу через инжекторную трубу, оборудованную вентилятором для принудительной подачи воздуха для создания необходимого разряжения в топке реформера и рекуператоре.

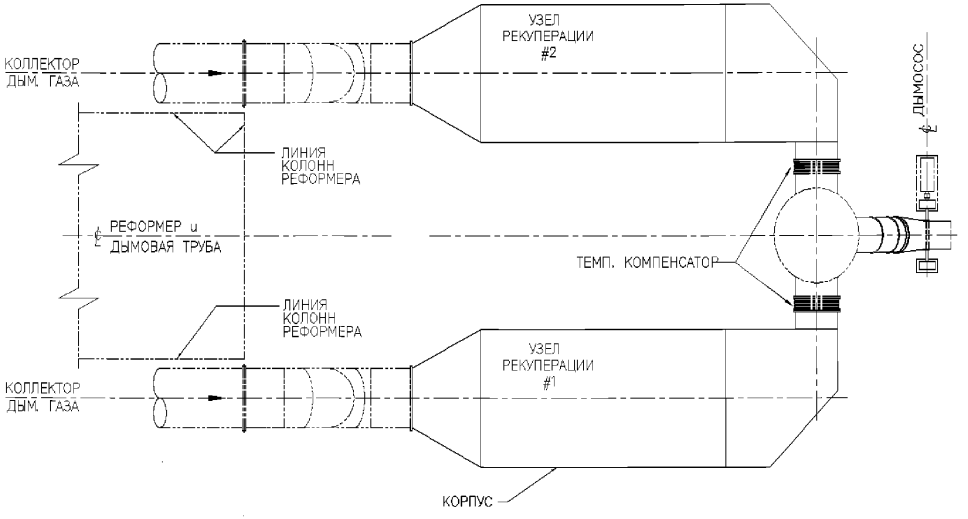


Рисунок 2.48 — Схема системы рекуперации тепла на установках MIDREX

Основные технологические показатели работы установок металлизации HYL-III мощностью 1000 тыс. т/г ГБЖ и MIDREX мощностью 1400 тыс. т/г ГБЖ представлены в таблицах 2.14 и 2.15.

Таблица 2.14 — Основные технологические показатели работы установки металлизации HYL-III

Наименование показателя	Единицы измерения	Численное значение
Объем производства	тыс. т/г	1000
Проектная производительность печи	т/ч	128,2
Температура восстановительного газа на входе в печь	°С	920–930
Температура в зоне восстановления	°С	840–850
Температура газа на выходе из печи	°С	400–450
Расход природного газа в конус печи	тыс. $м^3$/ч	1,1–1,3
Расход природного газа в фурменную зону	тыс. $м^3$/ч	1,6–1,8
Расход восстановительного газа	тыс. $м^3$/т	1,64–1,79
Расход реформированного газа	$м^3$/т	546
Расход природного газа, всего	$м^3$/т	327–330

Таблица 2.15 — Основные технологические показатели работы установки металлизации MIDREX

Наименование показателя	Единицы измерения	Числовое значение
Объем производства	тыс. т/г	1400
Проектная производительность печи	т/ч	179,5
Температура восстановительного газа на входе в печь	°С	880–900
Температура в зоне восстановления	°С	820–830
Температура газа на выходе из печи	°С	310–330
Расход природного газа в конус печи	тыс. $м^3$/ч	3,5–5
Расход природного газа в фурменную зону	тыс. $м^3$/ч	11–15
Расход восстановительного газа	тыс. $м^3$/т	1,5–1,7
Расход реформированного газа	$м^3$/т	1500–1600
Расход природного газа, всего	$м^3$/т	290–350

2.5.9 Способы снижения вторичного окисления прямо восстановленного железа

Как известно, свежий твердый металлизованный продукт обладает склонностью к вторичному окислению. Вторичное окисление связано с наличием избыточной энергии массы металлизованного материала, которая главным образом связана с большой величиной поверхности кусков и, следовательно, высокой величиной поверхностной энергии. Окисление свежевосстановленного губчатого железа может развиваться очень бурно, тепло, выделяемое при окислении, расходуется на разогрев массы металлизованного материала, тем самым ускоряя процесс окисления, что может привести к самовозгоранию губчатого железа. Даже если самовозгорания не происходит, снижается степень металлизации продукта, а следовательно, его металлургическая ценность. Поэтому при производстве губчатого железа необходимо принимать меры для подавления вторичного окисления.

Для этого используют такие способы, как пассивация металлизованного материала либо его брикетирование, которое обеспечивает резкое снижение поверхностной энергии.

Окислительная пассивация восстановленных окатышей

В результате медленного окисления на сухом воздухе активность губчатого железа может снижаться максимально в 100 раз, а в результате пассивации слабо окислительными газами при повышенных температурах — в 1000–5000 раз. Однако это не предохраняет от вторичного окисления при попадании влаги. Это обусловлено высокой дефектностью и неоднородностью образованной пленки, которая гидратируется, приобретает рыхлую структуру и уже не может служить защитой от коррозии.

При температуре обработки не выше 250 °С процесс окисления развивается только с поверхности окатыша, образуя пленку окислов толщиной 0,1–0,2 мм. Окисления металлического железа в ядре не происходит. При более высоких температурах процесс окисления развивается на всю глубину окатыша, при этом окислы железа не образуют сплошной защитной пленки на его поверхности.

Пассивация окатышей производится в бункерах в газовой среде с содержанием кислорода около 2 % при температуре окружающей среды в течение 36–72 ч.

Горячее брикетирование восстановленных окатышей и охлаждение ГБЖ

Существенно замедлить процесс вторичного окисления позволяет метод горячего брикетирования восстановленных окатышей.

В процессе брикетирования происходит сжатие низкоплотного и высокогранулированного материала — металлизованных окатышей с помощью двух валков, имеющих полости, которые, вращаясь и надавливая друг на друга, с помощью шнекового питателя вдавливают материал в полости. Материал, попавший в них, вынужден уменьшать свой объем. После сжатия гранулированного материала пустые пространства в его внутренней структуре и между его гранулами минимальны. Составляющие металлические частицы связываются, образуя более плотный твердый материал, имеющий профиль, определенный полостями валков.

В процессе брикетирования важна температура прессуемого материала, так как сжатие происходит более эффективно, когда материал мягкий. Таким образом, в случае с металлизованным железом его температура должна быть не менее 650 °С — чем мягче материал, тем лучше связывание частиц и выше плотность брикетов [18].

Технологическая схема системы брикетирования горячего губчатого железа из кусковой руды или окатышей основана на использовании волковых брикет-прессов и применяется на нескольких установках внедоменного получения железа. Линия горячего брикетирования металлизованных окатышей состоит из следующих элементов:

- система разгрузки металлизованных окатышей;
- валкового пресса со шнековым питателем;
- делителя брикетной ленты;
- вибрационного охладителя брикетов.

Загрузка валкового пресса осуществляется шнековым питателем. С помощью шнекового питателя регулируется подача необходимого количества горячих металлизованных окатышей на участок прессования. Шнековый питатель приводится в действие гидродвигателем с регулируемой скоростью [18].

Брикетный пресс оснащен комплектом из двух валков: плавающего и неподвижного. Привод валков брикет-пресса осуществляется с помощью электродвигателя с регулируемой скоростью. Двигатель соединяется с редуктором, который соединен с валками брикет-пресса.

Прессующими элементами валков являются сегменты, укрепленные на корпусе валков прижимными кольцами с водяным охлаждением (см. рисунок 2.49).

Пространство на раме и вокруг валков закрыто изолирующим корпусом. Таким образом, тепловое излучение не передается на другие части машины. В то же время создается объем, который можно инертизировать. Это помогает снизить окисление пыли губчатого железа и предотвращает перегрев.

Пресс снабжен системой инертного газа, которая состоит из впрыскных патрубков (форсунок) с внутренними линиями в прессе и соединительных фланцев, к которым подсоединяется внешняя система линий инертного газа.

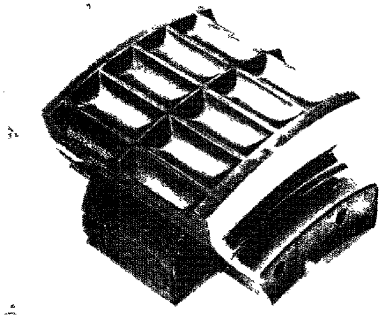


Рисунок 2.49 — Сегмент пресса горячего брикетирования

Достаточное количество инертного газа предотвращает повторное окисление продукта и таким образом неконтролируемое выделение тепла, воздействующее на механизмы пресса. Впрыск инертного газа на сегменты служит не только для инертизации пространства вокруг роликов, но и для охлаждения поверхности сегментов.

Брикетная лента выходит из валков по диагонали через разгрузочный желоб валков, направляющий брикетную ленту на разделитель ленты или разделитель брикетов, на котором брикетная лента делиться на отдельные брикеты.

После разделения брикеты через соединительный канал поступают на охлаждение (см. рисунок 2.50).

Охлаждение брикетов происходит на охлаждающих конвейерах методом водяного охлаждения. Существует несколько способов водяного охлаждения: погружение в ванну с водой, струйное, медленное охлаждение посредством форсунок тонкого распыла, что обеспечивает почти мгновенное превращение капель воды в пар, и тогда брикет не подвергается высоким температурным напряжениям.

Вибрационный холодильник брикетов работает по принципу резкого водного охлаждения. Горячий материал падает в воду, которая подается потоком в противоположном направлении транспортировки материала через холодильник. Для охлаждения 50 т/ч продукта от 700 °С до 80 °С требуется приблизительно расход 250 $м^3$/ч воды. Варьируя количество поступающей воды и выдержку брикетов во времени, можно регулировать их температуру разгрузки. Рекомендуется температура 80 °С, потому что остаточное тепло препятствует проникновению воды в поры и соответствует условиям более быстрого высыхания поверхности брикетов.

Пар, образовавшийся при прямом контакте охлаждающей воды технологического процесса с горячими брикетами, сбрасывается в атмосферу естественной тягой.

Вибрационный холодильник брикетов оборудован приводом регулируемой скорости, который позволяет настраивать время выдержки продукта в воде. Охлажденный продукт передается на ленточный конвейер, оснащенный термостойкой лентой, и далее системой конвейеров транспортируется на склад открытого хранения готового продукта. Транспортируемый продукт имеет температуру около 70 °С — 80 °С.

Основные технологические показатели работы брикет-пресса представлены в таблице 2.16.

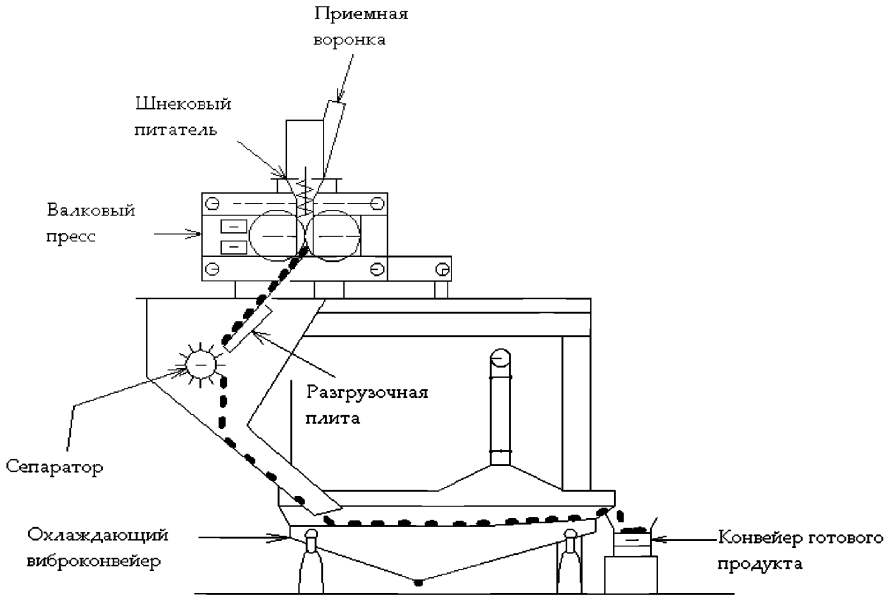


Рисунок 2.50 — Схема установки брикетирования и охлаждения брикетов

Таблица 2.16 — Основные технологические показатели работы брикет-пресса и виброохлаждающего конвейера

Наименование показателя	Единицы измерения	Численное значение
Производительность	т/ч	55
Температура прессуемого материала	°С	680–750
Диаметр ролика	мм	1000
Рабочая ширина ролика	мм	220
Диапазон скоростей вращения роликов	об./мин	4,2–17
Рабочий зазор роликов	мм	4
Общее прессующее усилие	кН	2400–3080
Удельное прессующее усилие	кН/см	110–140
Давление в гидравлической системе	бар	166–191
Скорость шнекового питателя	об./мин	0–150
Потребляемая электроэнергия	кВт	674
Расход воды на охлаждающий вибрационный конвейер	$м^3$/ч	250

Медленное охлаждение брикетов ГБЖ осуществляется на конвейерах охлаждения с помощью мелкодисперсных водяных струй (см. рисунок 2.51).

Данная система охлаждения включает в себя конвейеры охлаждения, систему пароудаления, систему аварийного охлаждения, систему форсунок тонкого диспергирования, насосную станцию охлаждающей воды, классификатор шлама брикетов.

Особенностью системы медленного охлаждения является мелкодисперсное распыление воды, обеспечиваемое высоким давлением подачи воды на все форсунки. Охлаждение брикетов осуществляется водяными струями тонного распыла, которые создают «водяной туман», что обеспечивает медленное охлаждение брикетов, снижение расхода воды. Данный фактор обуславливает большую длину охлаждающего конвейера.

Охлаждающий конвейер представляет собой лотковый конвейер — это металлический конвейер, изготовленный из износостойкой, специальным образом термически обработанной толстолистовой стали. Ячейки конвейера перекрывают друг друга для формирования практически пыленепроницаемой конвейерной секции. Боковая стенка приваривается к концам каждой пластины.

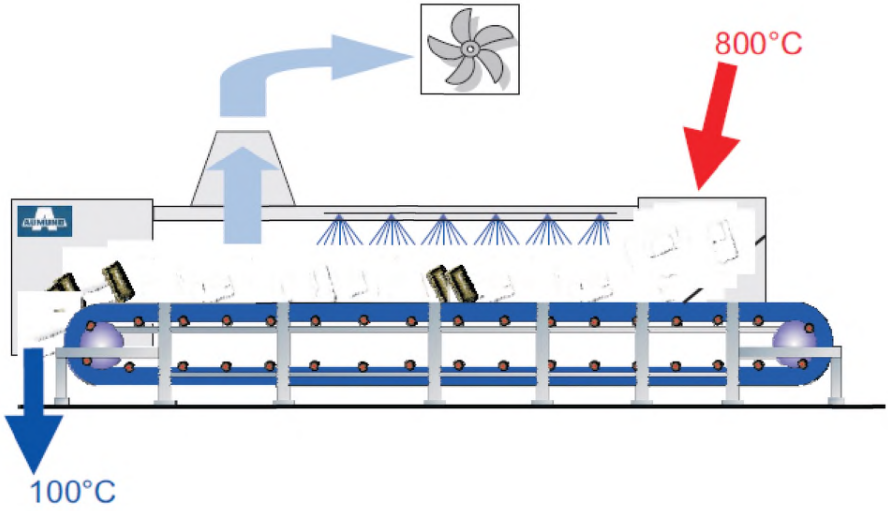


Рисунок 2.51 — Принцип действия конвейера медленного охлаждения

Через каждые две пластины на основании конвейера располагаются колеса, которые крепятся болтами. Эти колеса устанавливаются на рельсы и транспортируют конвейер по всей его длине, используя цепной механизм, который приводится в движение ведущим валом. В хвостовом конце конвейера устанавливаются натяжные устройства, чтобы обеспечить необходимое натяжение конвейеру (см. рисунок 2.52).

Рисунок 2.52 — Внешний вид лоткового конвейера медленного охлаждения

Ролики в кованных и упрочненных корпусах установлены на независимых держателях посредством вставок с винтовым соединением и могут быть заменены отдельно друг от друга.

Звенья лоткового конвейера могут быть заменены отдельно друг от друга, что позволяет проводить быструю частичную замену фрагментов конвейера с последующим ремонтом. Номинальная мощность конвейера — 130 т/ч, максимальная — 140 т/ч.

Длина конвейера в горизонтальной проекции составляет 37,825 м.

На конце конвейера располагается система мониторинга температуры, предназначенная для контроля конечной температуры брикетов и регулирующая общий расход воды, а также профиль распределения воды по всей длине конвейера. Ниже ведущего вала установлена вращающаяся щетка для очистки поверхности соприкосновения охлаждающих конвейеров с брикетами.

Охлаждающий конвейер оборудован точками пароудаления, для того чтобы удалять пар, образующийся при охлаждении брикетов. Данные конвейера просты в обслуживании и ремонте. Гарантированный изготовителем межремонтный цикл составляет от 2 до 6 лет.

2.5.10 Водоподготовка, оборотное водоснабжение

Оборудование установок металлизации подвергается охлаждению посредством охлаждающей воды, на установке HYL-III вода используется для получения пара, также вода используется в многочисленных установках очистки газовых потоков, поэтому системам водоподготовки уделяется пристальное внимание.

На установке металлизации HYL-III система водоподготовки состоит из двух стадий:

- предварительная очистка воды;
- деминерализация.

Установка предварительной очистки предназначена для проведения ряда физико-химических процессов, направленных на получение из технической воды воды заданного качества, используемой для:

- получения деминерализованной воды;
- подпитки открытого оборотного цикла воды, идущей на охлаждение оборудования;
- подпитки открытого оборотного цикла воды, идущей на охлаждение и очистку газа;
- собственных нужд установки (приготовление известкового молока, приготовление раствора полиэлектролита, промывка гравийно-угольных фильтров).

В результате очистки воды образуется шлам, который сбрасывается в шламоотстойник.

Для обработки технической воды используются следующие химические реагенты:

- хлорное железо, используемое в качестве коагулятора;
- гидратная известь, используемая для получения коагулянта и для известкования воды;
- полиэлектролит на базе полиакриламида, используемый как флокулянт;
- серная кислота, используемая для выравнивания pH очищенной воды.

Поток деминерализованной воды используется для оборотного цикла воды для охлаждения машин, получения котловой воды, а также может использоваться как подпиточная вода и для приготовления растворов при очистке восстановительного газа от CO_2.

Для снижения скорости коррозии металлоконструкций и оборудования в воду, поступающую на охлаждение оборудования и других систем, добавляют ингибитор коррозии, подавляющий окисление металла.

Система водоснабжения на установке MIDREX предназначена для охлаждения оборудования, очистки и охлаждения технологических газов, поддержания влагосодержания в газе, поступающем на процесс конверсии, удаления шламов, пожаротушения.

Система водоснабжения состоит из трех оборотных циклов:

1) оборотный цикл охлаждения оборудования;
2) оборотный цикл «чистой» технологической воды;
3) оборотный цикл «грязной» технологической воды.

Для поддержания качества воды, циркулирующей в оборотных циклах, производится ее обновление путем сброса воды из первого, второго и третьего оборотных циклов в промышленную канализацию и подпитки.

Первый оборотный цикл предназначен для охлаждения оборудования установки металлизации.

Второй оборотный цикл предназначен для охлаждения воды первого оборотного цикла, охлаждения реформированного газа, уплотнительного газа, подачи воды для промывки каплеотделителей технологического газа, охлаждения брикетов.

Третий оборотный цикл предназначен для охлаждения и очистки от пыли колошникового газа, для регулирования содержания влаги в технологическом газе, очистки от пыли воздуха системы аспирации шахтной печи и тракта подачи окатышей, промывки всасывающих трубопроводов насосных установок сгустителя.

Вспомогательные водные системы

Подпиточная вода предназначена для заполнения водой системы водоснабжения при первом пуске в эксплуатацию установки металлизации и после капитальных ремонтов, а также для компенсации потерь воды во время эксплуатации.

Установка умягчения воды предназначена для заполнения первого оборотного цикла при первичном пуске в эксплуатацию, после капитальных ремонтов, а также для компенсации потерь воды в первом оборотном цикле.

2.5.11 Вспомогательные системы установок металлизации

На установке прямого восстановления HYL-III имеется вспомогательное оборудование, которое дополняет участки восстановления и реформера, образуя вместе целую установку. Вспомогательное оборудование имеет свой контур и функцию. Вспомогательное оборудование:

- система пара;
- система воды для охлаждения оборудования;
- система охлаждающей воды технологического процесса;
- система котловой воды;
- система воды для охлаждения машин;
- система азота — N_2;
- система инертного газа;
- гидравлическая система;
- система сжатого воздуха.

На установке прямого восстановления MIDREX к вспомогательным системам относятся:

- система производства инертного и уплотнительного газа;
- система оборотных циклов водоснабжения;
- система сжатого воздуха;
- система управления и базовая автоматизация.

Таблица 2.17 — Основные этапы производства железа прямого восстановления

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Производство восстановительного газа				
Природный Газ. Пар. Очищенный от пыли колошниковый газ	Конверсия природного газа на катализаторах в трубах реформера	Восстановительный газ, содержащий водород и оксид углерода	Реформер. Цинковый поглотитель серы (сероочистка)	Дымовые газы (CO_2 — 6 % — 9 %, H_2O — 12 % — 17 %, N_2 — 70 % — 71 %, O_2 — 2 % — 5 %)
Подача оксидов в печь металлизации				

Продолжение таблицы 2.17

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Железорудные окисленные окатыши	Транспортирование с фабрики окомкования или со склада. Сортировка. Покрытие инертным материалом (цементом, меловой или известняковой суспензией)	Железорудные окисленные окатыши кл. +5 мм более 95 %, покрытые материалом, не содержащим железа	Конвейерный транспорт, бункера, грохота, установка покрытия, вертикальный конвейер	Пыль с содержанием оксидов кремния SiO_2
Восстановление оксидов железа до железа металлического				
Железорудные окисленные окатыши кл. +5 мм более 95 %, покрытые инертным материалом	Нагрев окатышей, протекание химических реакций восстановления оксидов железа	Восстановленные (металлизованные) окатыши	Шахтная печь металлизации	Шлам
Брикетирование горячих восстановленных окатышей				
Восстановленные окатыши с температурой 670 °С — 700 °С	Брикетирование	Горячебрикетированное железо (ГБЖ)	Брикет-пресса	Шлам
Охлаждение ГБЖ				
Горячебрикетированное железо (брикеты)	Охлаждение с помощью водной среды (струи, ванна)	Охлажденное ГБЖ	Виброохлаждающий конвейер, конвейер медленного охлаждения	Пар, шлам
Пассивация холодных металлизованных окатышей				
Холодные восстановленные окатыши	Выдержка в потоке азота с содержанием кислорода 1,5 %	Пассивированные металлизованные окатыши (DRI)	Бункера пассивации	Азот, пыль
Транспортирование готового металлизованного продукта на склад или бункера отгрузки				

Окончание таблицы 2.17

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Холодные восстановленные пассивированные окатыши, ГБЖ	Транспортирование конвейерным транспортом, грохочение	Пассивированные металлизованные окатыши, ГБЖ кл. +5 мм	Конвейерный транспорт, вибрационные грохота	Пыль
Очистка колошникового (технологического циркуляционного) газа				
Колошниковый газ из печи металлизации состав: H_2-30 % — 55 %; CO — 12 % — 17 %; CO_2-12 % — 23 %; H_2O — 10 % — 15 % H_2S, SO_2	Очистка от пыли, водяных паров, CO_2 (в установке HYL-III),	Циркуляционный технологический газ	Скруббер обеспыливания, Адсорбер и десорбер CO_2	Шлам

Таблица 2.18 — Основное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Описание
Шахтная печь	Нагрев железорудных окатышей, восстановление оксидов железа до железа металлического	HYL-III, MIDREX
Реформер	Генерация восстановительного газа или конверсия природного газа	Паровой реформер HYL-III, углекислотный MIDREX
Компрессор рециркулирующего технологического газа	Транспортирование восстановительного газа через печь металлизации и аппараты очистки	Одноступенчатый центробежный компрессор, работающий от электродвигателя

Продолжение таблицы 2.18

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Описание
Рекуператор	Рекуперация тепловой энергии колошникового газа, дымовых газов реформера	Кожухотрубный противоточный рекуператор (HYL-III). В технологии MIDREX рекуператор представляет собой корпус из углеродистой стали с теплообменниками, футерованный изнутри. Корпус выполняет роль канала, направляющего дымовой газ через теплообменники к дымовой трубе
Абсорбер углекислого газа	Очистка колошникового газа от CO_2 в технологии HYL-III	Представляет собой сосуд, работающий под давлением, внутри которого размещены распределительные решетки и насадки. В верхней части абсорбера разбрызгивается водный раствор метилдиэтаноламина, который поглощает из технологического газа кислые газовые компоненты (CO_2, H_2S). Работает в паре с десорбером CO_2, предназначенным для регенерации поглотительного раствора. Выделившийся в десорбере газ поступает на установку дожигания
Нагреватель технологического газа	Нагрев восстановительного газа перед подачей в печь до температуры 920 °С — 930 °С в технологии HYL-III	Установка, состоящая из двух радиационной и конвективной секций, с внутренней огнеупорной футеровкой. В радиационной секции установлены беспламенные горелки

Окончание таблицы 2.18

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Описание
Скруббер колошникового газа	Очистка колошникового газа от пыли и излишков водяного пара	Представляет собой трубу Вентури с каплеотделителем
Брикетировочная машина	Брикетирование горячих восстановленных окатышей	Валковые брикет-пресса
Охлаждающие конвейера	Охлаждение брикетов до температуры ниже 100 °С	Вибрационная охлаждающая ванна, лотковый конвейер с системой струйного охлаждения
Десульфуратор	Очистка газа от соединений серы	Сосуды с цинковым поглотителем
Воздуходувки	Нагнетание воздуха на горелочные устройства, отвод пара с охлаждающих конвейеров	
Дымососы	Транспортирование дымовых газов в атмосферу	
Котел-утилизатор	Производство пара в технологии HYL-III	
Скруббер Вентури	Очистка газов от пыли	Труба Вентури, каплеотделитель
Установка оцементование	Приготовление инертного покрытия окатышей	Состоит из бункера хранения материала, расходного бункера, шнекового дозатора, питателя, смесителя, распределителя суспензии
Система уплотнительного и продувочного газа	Генерация инертного уплотнительного газа	Представляет собой установку сжигания природного газа почти в стехиометрическом соотношении с воздухом. В состав установки входит камера сжигания газа, горелочное устройство, теплообменники, вентилятор, компрессор, каплеотделители

2.6 Генерация электрической и тепловой энергии

2.6.1 Общие сведения

Установка металлизации HYL-III снабжена турбогенератором, предназначенным для производства электроэнергии.

В состав турбогенератора входят:

- паровая турбина;
- редуктор;
- генератор переменного тока;
- система охлаждения;
- масляная система;
- дренажная система;
- система защиты;
- система управления.

Для преобразования тепловой энергии в механическую турбина принимает из паропровода перегретый пар (давление 6,3 МПа, температура 485 °С). Перегретый пар проходит через клапан аварийного отключения, затем через регулировочный клапан высокого давления и далее попадает на три сегмента сопловой коробки с набором реактивных сопел, потом попадает на рабочие колеса и направляющие аппараты, где совершает механическую работу (крутит ротор турбины). Турбина имеет 10 ступеней, где происходит непрерывный процесс выработки пара и преобразования энергии в генераторе. В турбину пар поступает через управляющий клапан, в турбине имеется регулируемый отбор пара. Пар отбирается после 7-й ступени поворотной диафрагмой. Турбина защищена от обратного потока пара из линий отбора пара посредством аварийного обратного клапана. Пар проходит через регулировочный клапан в часть турбины с низким давлением. Далее пар идет к потребителям коллектора низкого давления пара.

Для предотвращения попадания в турбину влажного пара линия перегретого пара оснащена дренажами. Фильтры грубой очистки, размещенные в клапанах аварийной остановки, защищают лопатки турбины от повреждения твердыми частицами, которые могут попасть вместе с паром. Турбина оборудована несколькими дренажными отводами для сброса конденсата во время фазы конденсации при пуске.

Коллекторы пара и турбина оборудованы несколькими дренажными отводами для удаления конденсата во время фазы конденсации при пуске.

Турбина снабжена системами защиты и регулирования рабочих параметров, установлены регуляторы ограничений. Все необходимые контуры управления работают постоянно вместе, как регулятор турбины, через соответствующие логические схемы.

2.6.2 Устройство паровой турбины

Турбина — однокорпусная, многоступенчатая осевая турбина, выполненная по реактивному принципу. Турбина симметрична по горизонтальному соединению. Фланцы имеют размеры, не препятствующие быстрому пуску турбины. Регулировочный клапана расположен перед турбиной и соединен с сопловой коробкой, разделенной на три сегмента. Работающий со средой пара клапан аварийного отключения (стопорный клапан) располагается перед регулировочным клапаном. Сама турбина установлена на

подвесных опорах. Опорный и упорный двойного действия подшипники выполнены в наклонно-подушечной конструкции и имеют принудительную смазку, что обеспечивает правильное направление и стабильность ротора. Многоступенчатая конструкция реактивного типа состоит из десяти ступеней. Вверху по линии имеется однорядное регулировочное колесо для линии HP (высокого давления) с импульсными лопастями и кожухом с подачей проволоки демпфирования.

Перед регулировочным колесом находится три отдельные группы сопел:

- первая группа, состоящая из 19 сопел, в нижней коробке сопел;
- вторая группа, состоящая из 10 сопел, в нижней коробке сопел;
- третья группа, состоящая из 11 сопел, в верхней коробке сопел.

Часть LP (низкого давления) турбины оборудована роторным пробковым клапаном, чтобы поддерживать постоянное давление для отбора. Лопасти ротора цельнокатаные, из легированной стали, снабжены демпфирующим вибрации кожухом. Пар контактирует со всеми сторонами направляющего держателя лопасти, обеспечивая таким образом равномерное изменение температуры в роторе и направляющем держателе лопасти, а также равномерные радиальные зазоры и минимальную опасность трения. Лабиринты вала имеют заменяемые вставки и ответвления утечек пара.

2.6.3 Технические характеристики турбогенератора

Параметр	Единица измерения	Значение
Максимальная мощность турбогенератора	кВт	11 360
Число оборотов турбины	мин$^{-1}$	10 821
Число оборотов генератора	мин$^{-1}$	1500
Уровень шума	Дб	80
Генератор типа AEM/LDW		
Кажущаяся мощность	кВА	15 000
Активная мощность	кВт	12 000
Коэффициент мощности cosφ	–	0,8
Напряжение	В	6000 + 10 %
Сила тока	А	1443
Частота	Гц	50

Основными состояниями турбогенератора являются:

- холодное состояние;
- режим прогрева;
- рабочий режим (без экстракции);
- рабочий режим (с экстракцией).

Все остальные состояния являются промежуточными и переходными.

Холодное состояние — турбогенератор остановлен, все вспомогательное оборудование остановлено, главная паровая задвижка закрыта.

В холодное состояние турбогенератор переводят перед капитальным ремонтом, во время ликвидации возможной аварийной ситуации, а также перед вводом в эксплуатацию.

Режим прогрева — это состояние, когда работают реформер и паровая система. Прогрев ведется не менее 4 ч со скоростью не более 70 °С/ч до появления чистого пара (без конденсата) из дренажей.

Рабочий режим (без экстракции) — турбогенератор производит не более 60 % от максимальной мощности электроэнергии.

Рабочий режим (с экстракцией) — турбогенератор производит 100 % электроэнергии.

Раздел 3. Текущие уровни эмиссии в окружающую среду

3.1 Открытая добыча железных руд

Работа любого горно-металлургического предприятия, ведущего добычу полезных ископаемых открытым способом (подавляющее количество месторождений железосодержащих руд обрабатывается именно открытым способом), сопровождается (см. рисунок 3.1):

- разрушением почвенного покрова; изменением/уничтожением естественных ландшафтов, уничтожением местообитаний;
- запыленностью и загазованностью атмосферы при производстве массовых взрывов в карьере, выполнении погрузочных и транспортных работ, первичном дроблении руды, при ветровой эрозии на сухих незакрепленных пляжах хвостохранилищ и шламохранилищ;
- негативным влиянием на гидросферу в связи с забором воды из водоемов, сбросом в них сточных вод (шахтный и карьерный водоотлив, сточные воды от обогащения); выпадением загрязненных осадков и пыли из атмосферы; изменением уровня подземных вод в результате осушения горных выработок;
- загрязнением земель, почв, недр и т. п., в том числе из-за образования и размещения отходов вскрышных и вмещающих пород, отходов обогащения;
- физическими воздействиями — шумом и вибрацией при эксплуатации техники и ведении буровзрывных работ.

Данные по основным потокам и эмиссиям при открытой разработке железорудных месторождений приведены в таблице 3.2. Основные факторы воздействия на окружающую среду в процессах добычи и обогащения железных руд приведены в таблице 3.16.

Характеристика эмиссий

Выбросы в атмосферный воздух

Степень экологической опасности предприятий горно-металлургического цикла во многом определяется их геохимическим воздействием на атмосферный воздух (см. рисунок 3.2). Загрязнение атмосферного воздуха газами и пылевыми выбросами происходит при буровзрывных, погрузочно-разгрузочных работах; при дроблении руды и ее переделе; а также при пылении отвалов, хвостохранилищ, складов готовой продукции и т. д. При этом наиболее весомый вклад в валовое загрязнение атмосферы горнопромышленного района вносят периодически осуществляемые в карьерах массовые взрывы с большой мощностью зарядов. Они загрязняют воздух мелкодисперсной пылью, аэрозолями и газами. Хотя количество пылевых выбросов достаточно мало по сравнению с объемами отходов вскрышных и вмещающих пород, пылевые выбросы являются наиболее опасными для человека отходами на горнодобывающих предприятиях. Наиболее неблагоприятными по признаку выхода пыли являются буровзрывные работы. При открытой добыче железных руд дробление скальных пород при помощи взрывов сопровождается образованием пыли в количестве 45–110 г/т руды, а ее дальнейшая переработка в карьере связана с дополнительным выделением пыли в количествах 50–150 г/т [1].

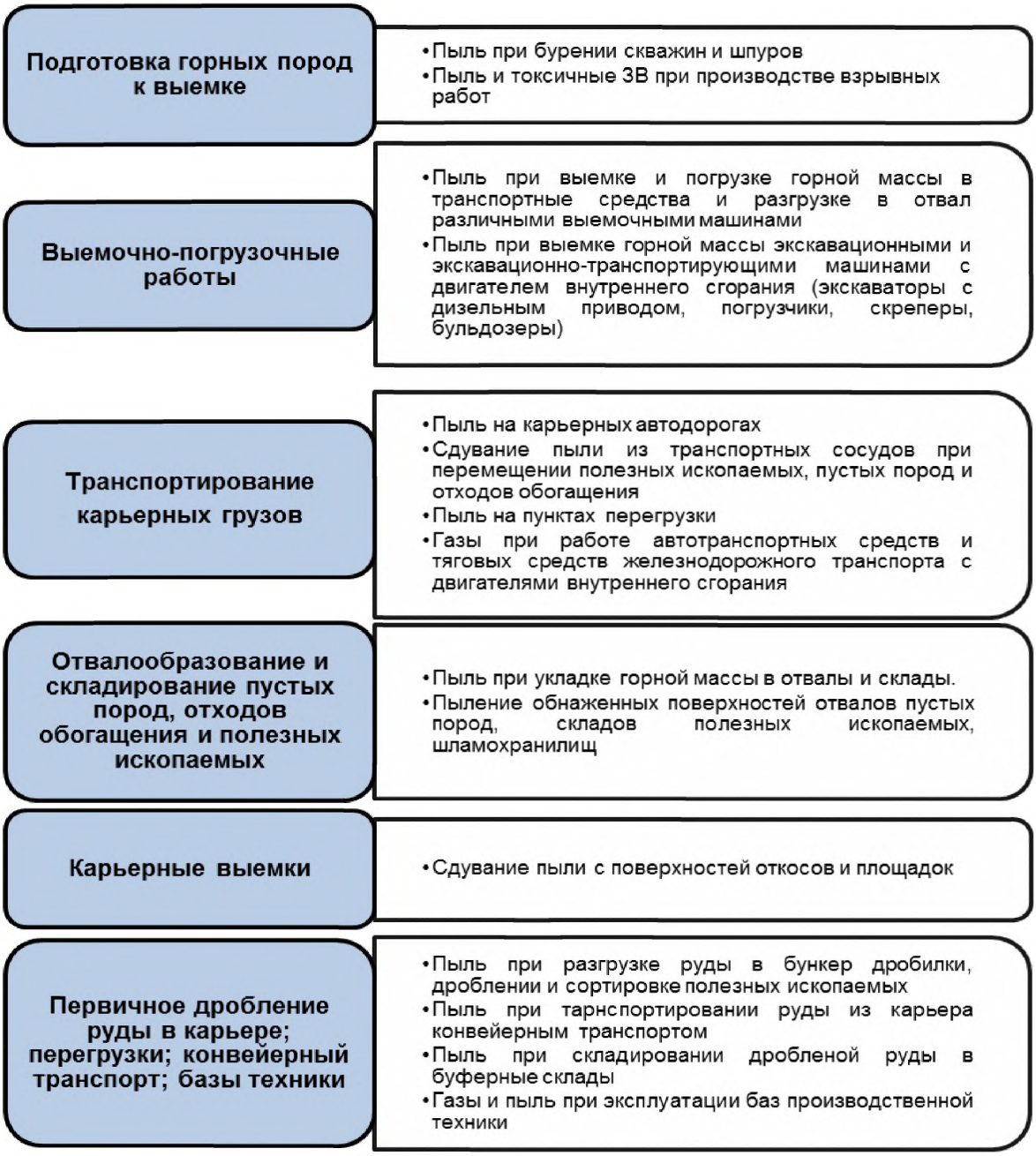
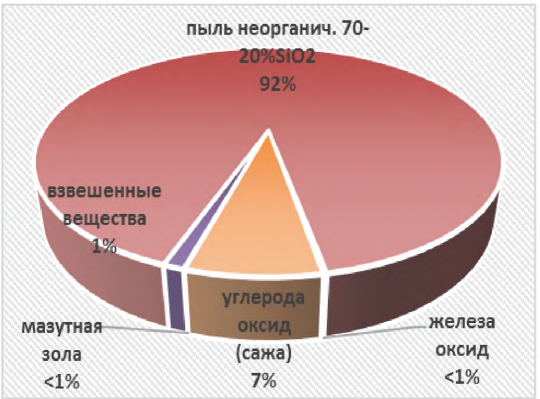
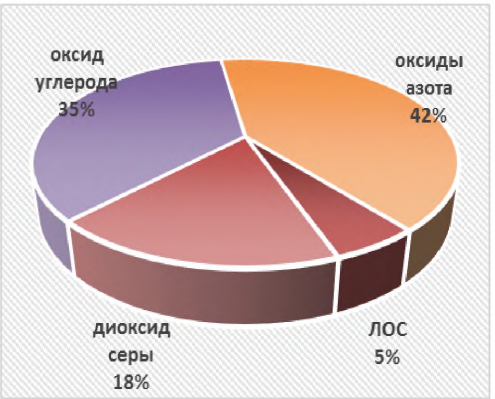


Рисунок 3.1 — Основные источники и виды загрязнения атмосферы при производстве открытых горных работ [2]

Средние многолетние газопылевые выбросы Лебединского и Стойленского ГОКов оцениваются примерно в 30 тыс. т/год. При массовом взрыве основная масса пыли и газов объемом ~250 млн $м^3$ выбрасывается на высоту до 600 м и не распространяется далеко за контуры карьеров. В условиях добычи железной руды открытым способом взрывные работы приводят к образованию пылевого облака. При скорости ветра ~3 м/с основное количество пыли выпадает вблизи карьера (400–500 $мг/м^2$). За год выпадает до 1000 кг/га, загрязнение окружающей среды отмечается в зоне 0–10 км от карьера

[3]. Данные по содержанию пыли и загрязняющих веществ в атмосфере карьеров после массовых взрывов приведены в таблице 3.1.





Твердые Газообразные

Рисунок 3.2 — Состав выбросов горно-обогатительного комбината

Таблица 3.1 — Содержание пыли и загрязняющих веществ в атмосфере карьеров после массовых взрывов [2]

Место отбора проб	Кол-во одновременно взрываемого ВВ, т	Максимальная концентрация после взрыва *, %			
		CO	CO_2	NO + NO_2	Пыль, мг/м^3
В пылегазовом облаке	50–300	0,1–0,15	6–10	0,01–0,03	510–4250
	1500–3200	0,66–1,38	Н. д.	0,16–1,42	27000
На рабочем горизонте	50–350	0,06–0,1	0,5–0,8	Следы	0,8–2,0
В траншее	50–200	0,2–0,1	07–1,0	Следы	0,5–2,5
Во взорванной горной массе на глубине до 10 м	50–200	0,25–5,0	8–9	0,003–0,025	Н. д.
	1500–3200	0,2–0,69	Н. д.	Н. д.	Н. д.
* В пылегазовом облаке через 40–60 с, в остальных местах — через 60 мин. Н. д. — нет данных.					

Таблица 3.2 — Основные потоки и эмиссии при открытой разработке железорудных месторождений

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Снятие плодородного слоя почвы				
ГСМ	Подготовка территории (уборка древесины, корчевка пней) Срезка, транспортировка и размещение в бурты почвы	Площади для производства горных работ Бурты	Бульдозеры Скреперы Автосамосвалы	Пыль Выбросы ЗВ от технологического оборудования
Вскрышные работы				
Электроэнергия ГСМ	Экскавация вскрышных пород Погрузка вскрышных пород в транспорт Откачка воды	Вскрытые фронта руды Вскрышные породы	Экскаваторы Погрузчики	Пыль Выбросы ЗВ от технологического оборудования Вскрышные породы Дренажная вода
Буровзрывные работы				
Электроэнергия ГСМ Взрывчатые вещества техническая вода	Бурение скважин; Зарядка скважин ВВ Взрывание	Взорванная горная масса	Буровые станки Зарядные машины	Пыль Выбросы ЗВ от технологического оборудования Выбросы ЗВ от взрывных работ
Добыча руды				
Электроэнергия ГСМ	Экскавация руды Погрузка руды в транспорт Откачка воды	Руда	Экскаваторы Погрузчики	Пыль Выбросы ЗВ от технологического оборудования Сточные воды
Транспортировка				
Электроэнергия ГСМ	Погрузка руды в транспорт Перевозка руды	Руда	Технологический транспорт	Пыль Выбросы ЗВ от технологического оборудования
Первичное дробление				

Окончание таблицы 3.2

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Электроэнергия ГСМ	Рразгрузка руды в бункер дробилки Дробление Транспортировка конвейерным транспортом Складирование дробленой руды в буферные склады	Дробленая руда	Технологический транспорт Дробильное оборудование Конвейерный транспорт Складское оборудование	Пыль Выбросы ЗВ от технологического оборудования
Складирование отвальных пород				
Электроэнергия ГСМ	Транспортировка вскрышных пород в отвалы Складирование вскрышных пород в отвалы Откачка воды	Вскрышные породы Отвалы	Технологический транспорт Бульдозеры Экскаваторы	Пыль Выбросы технологического оборудования Вскрышные породы Сточные воды

Снижение пылегазовыделений при производстве взрывных работ достигается путем осуществления технологических и инженерно-технических мероприятий. К технологическим мероприятиям относят способы управления действием взрыва:

- взрывание высоких уступов (более 30 м), что позволяет уменьшить высоту подъема пылегазового облака в 1,2–1,3 раза по сравнению с взрыванием обычных уступов;

- взрывание в зажатой среде с шириной буферного слоя в 20–30 м, что резко сокращает объем пылегазового облака;

- рассредоточение заряда, что увеличивает полезную часть энергии до 19 % — 24 %, и способствует уменьшению объема переизмельчения пород за счет сокращения радиуса зоны пластических деформаций.

В целях сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при производстве взрывных работ предусматриваются следующие мероприятия:

- применение взрывчатых веществ с кислородным балансом, близким к нулю;

- орошение подготовленных к взрыву участков и прилегающей к ним зоны и зоны выпадения пыли;

- орошение взорванной горной массы после взрывов;

- производство взрывов в часы максимальной ветровой активности;

- применение гидрозабойки — размещения по рядам над устьем скважин полиэтиленовых рукавов диаметром ≥ 900 мм, а также непосредственно внутрь скважины;

- применение устройств подачи рукава в скважину.

С целью снижения количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при разработке и эксплуатации карьеров (см. таблицу 3.3) предусматриваются следующие мероприятия:

- предварительное увлажнение горной массы в массиве;

- увлажнение разрыхленной горной массы в развале и на складах осуществляется в основном с использованием передвижных установок. Увлажнение горной массы, с одновременной интенсификацией ее дегазации после взрыва, происходит с использованием передвижных вентиляционно-оросительных установок, при этом наряду со снижением пылеобразования эта схема позволяет в 3–4 раза сократить время простоя оборудования после проведения массового взрыва. Увлажнение горной массы, при перегрузке ее и при погрузке на складах, осуществляется с использованием стационарных оросительных установок;

- пылеулавливание на экскаваторах в местах перегрузки горной массы с использованием аспирационных систем, состоящих из укрытий и пылеулавливающих установок. Для пылеподавления при работе роторных экскаваторов применяется система пылеотсоса и осаждения пыли с помощью орошения или в специальных пылеосадителях. Пылеподавление при работе экскаваторов, бульдозеров, скреперов, одноковшовых погрузчиков осуществляется орошением горной массы с помощью самоходных гидромониторных установок на базе автомашин с заполненными водой цистернами, обеспечивающих орошение забоев как с верхней, так и с нижней площадок уступов;

- полив автодорог;

- установка на выхлопных трубах работающей техники каталитических нейтрализаторов, обеспечивающих снижение выбросов CO на 86 %, углеводородов — на 30 %; NO_x — на 50 %;

- ежемесячная регулировка двигателей внутреннего сгорания машин и механизмов.

Таблица 3.3 — Показатели сдувания пыли с пылящих поверхностей при открытых горных работах [2]

Объект пыления	Характеристика объекта	Удельное сдувание пыли (мг/м^2*с) при скоростях ветра (м/с)		
		До 4	6–8	10
Поверхность породных отвалов	Свеженасыпанный Через 3 мес. после насыпки	10 0,6	9 5	15 8
Поверхность хвостохранилищ	Хвосты с влажностью 2 % — 4 % Хвосты с влажностью 4 % — 6 % Хвосты с влажностью 8 % — 10 %	2,8 1,8 1,2	1300 35 12	400 60 25

Для поливки и орошения чаще всего применяют воду и пену, а также для пылеподавления применяют неионогенные водные дисперсии акрилового сополимера, об-

разующего на поверхности полимерную пленку. Средство обработки покрытия дорог выбирают в зависимости от времени года и климатических условий.

Основными источниками пыления ГОКов являются объекты циклично-поточной технологии транспортирования пустой породы и хвостохранилища. В целях пылеподавления на хвостохранилищах пылящие поверхности пропитывают битумной эмульсией, орошают водой или обрабатывают пылесвязующим средством и другими закрепляющими растворами (пляжи, забои дамб хвостохранилища при L < 30 м). Дороги покрывают бишофитом.

Сточные воды

Сточные воды карьеров формируются в основном из карьерных, дренажных и атмосферных сточных вод. В процессе осушения месторождения и откачки воды из карьера происходит, кроме количественного истощения запасов подземных вод, загрязнение водных объектов веществами, содержащимися в откачиваемых из карьера сточных водах, в первую очередь — взвешенными веществами, представленными частицами полезного ископаемого и вмещающих пород разной крупности.

При использовании гидравлических способов разработки и переработки полезных ископаемых значительных объемов достигают технологические сточные воды.

При разработке месторождений производство горных работ может сопровождаться комплексом гидрогеологических и инженерно-геологических явлений, которые в большинстве случаев оказывают отрицательное влияние на естественные гидрогеологические условия — изменяются условия питания, движения и разгрузки подземных вод, приводящие к формированию глубоких и достаточно больших по площади депрессионных воронок, что ведет к широкому взаимодействию водопонизительных систем с водозаборами подземных вод, к нарушению режима малых рек, озер и других небольших водоемов. В ряде случаев происходит деформация поверхности земли под влиянием глубоких водопонизительных и водоотливных работ, образуются мульды оседания поверхности и провалы на поверхности земли — в результате процессов суффозии, а в некоторых случаях происходит выщелачивание легкорастворимых пород.

Производство открытых горных работ приводит к снижению уровня грунтовых вод. Депрессионные воронки вокруг глубоких карьеров, подсекающих все водоносные горизонты, распространяются на десятки километров. Изменение условий питания подземных вод может привести к длительным изменениям их качества.

Технические мероприятия по охране природных вод включают:

- мероприятия предохранительного характера, направленные на сохранение запасов, режимов и качества поверхностных и подземных вод;
- мероприятия восстановительного характера, включающие рациональное водопользование, очистку и возврат вод в поверхностные водоемы и водотоки, подземные горизонты.

Так, на Лебединском ГОК потребности в воде на 98,8% осуществляются за счет повторного ее использования. Речная вода используется только на компенсацию испарения и фильтрационных потерь в хвостохранилище [2].

Истощение водных ресурсов и их загрязнение могут быть существенно уменьшены за счет создания надежной водозащиты карьера от подземных и поверхностных вод с помощью следующих мероприятий:

- защита от поверхностных вод путем перехвата склонового стока, экранирования или переноса русел водотоков и отвода вод из водоемов;

- защита от подземных вод с помощью дренажных и барражных сооружений с целью заблаговременного снижения уровня подземных вод до допустимых величин;

- регулирование стока и откачка карьерных вод, образующихся за счет статических запасов, «проскока» динамического потока подземных вод и атмосферных осадков;

- очистка и отвод воды за пределы технической границы карьера или зоны влияния его на режим подземных и поверхностных вод;

- сбор карьерных и поверхностных вод в пруды отстойники, с частичным использованием в технологии (полив карьерных дорог, заправка буровых станков).

В качестве инженерных способов снижения притоков воды в горные выработки могут быть использованы гидрозавесы, пневмозавесы, противофильтрационные завесы (барражи) и др.

Отходы производства

Железосодержащие техногенные отходы на различных горно-обогатительных комбинатах составляют значительные объемы [4]:

- АО «Олкон» — 380 млн т техногенных отходов;

- ОАО «Ковдорский ГОК» — 104,2 млн т отходов в спецотвалах охранного складирования;

- ОАО «Тейское рудоуправление» — 21,2 млн т;

Являясь важным резервом получения дополнительных объемов минерального сырья, техногенные образования (месторождения), включающие все виды промышленных отвалов, шламо- и шлакохранилища, места разового складирования отходов, в последнее время привлекают к себе все больше внимание не только из-за своей ресурсной ценности, но также из-за необходимости их ликвидации как мощных источников загрязнения окружающей среды в районе своего расположения. Поэтому увеличение объемов их утилизации является актуальной проблемой.

Серьезной проблемой всех горно-обогатительных предприятий, имеющих намывные хвостохранилища и шламохранилища, является наличие отработанных сухих пляжей, на которых при скорости ветра более 5 м/с начинается интенсивное пыление. Ситуация усугубляется тем, что в последнее время для извлечения полезного компонента проводится более глубокое измельчение железной руды (до 30 мкм), что осложняет процесс закрепления мелкодисперсных частиц на сухих пляжах [5].

В настоящее время закрепление сухих пылящих пляжей осуществляется с применением химических и биологических методов. Химическое закрепление заключается в обработке поверхности закрепляющими растворами: например, реагентом Dustbint, бишофит, хлористый кальций. Недостатком этого метода являются сезонность его применения (закрепления возможного только при температуре + 4 °С и выше) и неустойчивость при скорости ветра более 15–20 м/с.

Биологическое закрепление пляжей осуществляется путем посева определенных растений, корневая система которых препятствует пылению.

3.2 Подземная добыча железных руд

Подземная разработка железорудных месторождений влияет на атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, геологическую среду, отчуждение земель [6,7]. Источниками загрязнения атмосферы являются газопылевые выбросы, образую-

щиеся, главным образом, от ведения буровзрывных и добычных работ (см. таблицу 3.4). Газы и пыль выделяются также с поверхности породных отвалов и складов полезных ископаемых.

Таблица 3.4 — Основные потоки и эмиссии при подземной разработке железорудных месторождений

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Вскрытие				
Электроэнергия Сжатый воздух Техническая вода Буровая сталь и твердые сплавы Бетонные смеси и ж/б Взрывчатые вещества Металлоконструкции Крепежные материалы Свежий воздух	БВР Выемка, транспорт и подъем горной массы Проветривание Откачка воды Возведение крепи Монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования	Горные выработки Горная масса	Подъемные машины Лебедки Полки, передвижные опалубки Насосы Вентиляторы Проходческое буровое и погрузочное оборудование	Пустая порода Пыль Газообразные продукты взрывных работ Шахтные воды
Подготовка				
Электроэнергия Сжатый воздух Техническая вода Буровая сталь Бетон, железобетон Взрывчатые материалы Металлоконструкции Крепежные материалы Свежий воздух	БВР Выемка, транспорт и подъем горной массы Проветривание Откачка воды Возведение крепи Монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования	Горные выработки Горная масса	Подъемные машины Проходческое буровое и погрузочное оборудование Машины и оборудования для возведения крепи Насосы Вентиляторы	Пустая порода Пыль Газообразные продукты взрывных работ Шахтные воды
Очистная добыча				

Окончание таблицы 3.4

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Электроэнергия Сжатый воздух Техническая вода Буровая сталь Взрывчатые материалы Свежий воздух	БВР Выпуск, транспорт и подъем руды и породы Проветривание Откачка воды Поддержание очистного пространства Вторичное дробление	Сырая руда Пустая порода	Подъемные машины и комплексы Буровое, зарядное и погрузочное оборудование Локомотивы, вагоны, опрокидыватели Конусные, щековые дробилки Насосы Вентиляторы	Пустая порода Пыль Газообразные продукты взрывных работ Шахтные воды
Электроэнергия Сжатый воздух Техническая вода ГСМ	Транспорт Подъем Отвалообразование	Отвалы.	Подъемные машины и комплексы Локомотивы, вагоны, опрокидыватели Автотранспорт, бульдозеры	Пустая порода Пыль Естественный сток с породных отвалов

Интенсивное пыле- и газообразование происходит во время следующих процессов: бурение шпуров и скважин; взрывание и погрузка взорванной горной массы; транспортировка, погрузка и перегрузка сырой руды и породы; грохочение, дробление; работа проходческих, добычных и прочих машин и механизмов. Однако запыленный воздух, подвергаясь процессу пылеподавления и гидрообеспыливания и проходя по горным выработкам, почти полностью самоочищается.

Основной фактор влияния на водную среду — сброс шахтных вод, загрязненных взвешенными частицами и растворенными химическими веществами, а также поверхностный сток с породных и рудных отвалов. Кроме того, в подземных условиях загрязняются дренируемые грунтовые воды, а при откачке шахтной воды образуются депрессионные воронки, радиус которых может достигать десятков километров.

Все предприятия с подземной добычей железных руд обязаны осуществлять очистку сточных и шахтных вод. Устройство оборотных систем водоснабжения, ликвидация отвалов, сокращение поступления примесей в сточные воды путем совершенствования технологических процессов — являются первоочередными задачами комплекса мероприятий, предупреждающих загрязнение водотоков и водоемов сточными водами.

Горный и земельный отвод с поверхностным комплексом зданий и сооружений, отвалы, очистные сооружения и пр. занимают значительные территории, которые используются продолжительное время. Однако добыча железной руды подземным способом требует существенно меньшего отчуждения земель и не вызывает столь значительных нарушений и изменений инфраструктуры и ландшафтов, как открытые горные работы.

3.3 Обогащение железных руд

Схема материальных и энергетических потоков в обогащении железных руд приведена на рисунке 3.3, информация по потреблению ресурсов в технологии обогащения железных руд — в таблице 3.5, а основные этапы производства железорудного концентрата с размерами эмиссий — в таблице 3.6.

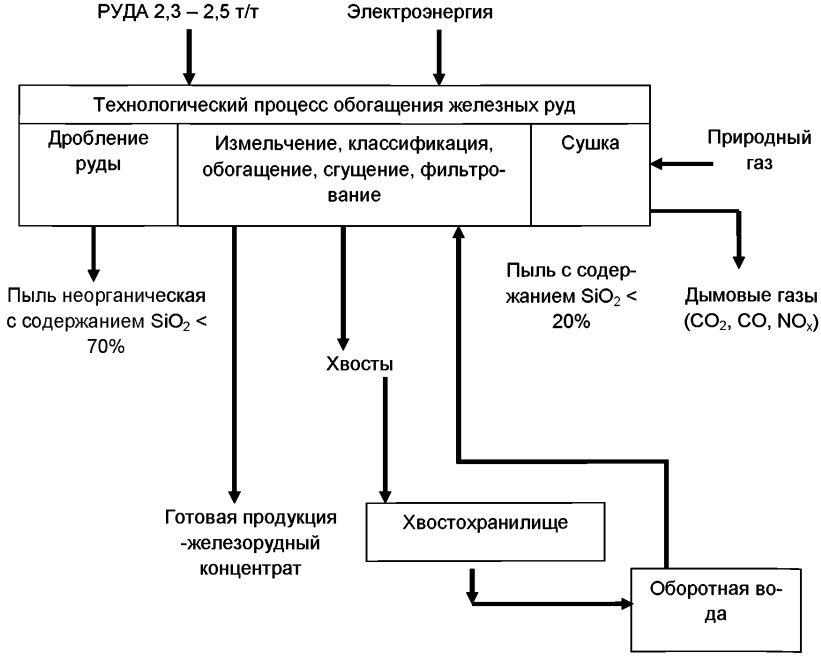


Рисунок 3.3 — Схема материальных и энергетических потоков в обогащении железных руд

Таблица 3.5 — Потребление ресурсов в технологии обогащения железных руд

Наименование	Единица измерения	Значение удельного расхода на тонну продукции	
		Диапазон	Среднее
Материальные ресурсы			
Исходная руда	т/т	2,36–5,5	2,7

Продолжение таблицы 3.6

Наименование	Единица измерения	Значение удельного расхода на тонну продукции	
		Диапазон	Среднее
Энергетические ресурсы			
Электроэнергия	кВт·ч/т	48,0–80	62
Природный газ	кг у. т./т	6,0–7,8	6,9
Техническая (оборотная) вода	$м^3$/т	12,5–30,0	22,4
Вода из природного источника	$м^3$/т	0–0,4	0,25

Таблица 3.6 — Основные этапы производства железорудного концентрата

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Дробление				Пыль неорганич. сод. SiO_2
Руда 1500–300 мм	1 стадия (может быть в карьере)	Руда кусок 500–300 мм	Дробилки конусные ККД	
Руда 500–300 мм	2 стадия (может отсутствовать)	Руда: кусок <200 мм	Дробилки конусные редукционные КРД	
Менее 200 мм	3 стадия (может отсутствовать)	Руда: кусок <75 мм	Дробилки конусные КСД	
Менее 75 мм	4 стадия (может отсутствовать)	Руда: кусок <30 мм	Дробилки конусные КМДТ	
Классификация				Пыль неорганич. сод. SiO_2
Руда: кусок <200 мм	На 3 стадии дробления предварительное грохочение	Руда: кусок <200 мм	Грохот	
Руда: Кусок <100 мм	На 4 стадии дробления предварительное грохочение	Руда: кусок <30 мм	Грохот	
Промпродукт — руда крупностью <5 мм	Классификация после измельчения может быть несколько стадий	Промпродукт — руда крупностью <100 мкм	Гидроциклоны, спиральный классификатор, вибрационные грохота (тонкое грохочение)	
Измельчение				

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Руда: кусок 300–30 мм	1 стадия	Промпродукт — руда крупностью <5 мм	Мельницы ММС, МШРГУ, МСЦ	Пыль неорганич. сод. SiO_2
Руда: кусок 30–5 мм	2, 3 стадии	Промпродукт — руда крупностью <100 мкм	Мельницы МРГ, МШЦ, МСЦ	
Обогащение				
Промпродукт — руда крупностью <100 мкм	Разделение минералов на полезный компонент и пустую породу (до 5 стадий)	Концентрат — минералы полезного компонента — частицы размером <45 мкм в количестве >80 %	Магнитные сепараторы, дешламаторы, магнитно-гравитационные сепараторы	
Концентрат, водная пульпа с содержанием твердого компонента <30 %	Усреднение потока	Концентрат, водная пульпа с содержанием твердого компонента <30 %	Усреднительные зумпфы	
Обезвоживание				
Концентрат, водная пульпа с содержанием твердого компонента <30 %	Сгущение (может отсутствовать)	Концентрат с содержанием твердого до 60 % — 75 %	Сгуститель осадительного типа	
Концентрат, водная пульпа	Фильтрование	Концентрат с содержанием влаги <11 %	Дисковые вакуум-фильтры, керамические вакуум-фильтры, пресс-фильтры, ленточные и барабанные фильтры	Пыль неорганич. сод. SiO_2
Концентрат с содержанием влаги <11 %	Сушка	Концентрат с содержанием влаги <3 %	Сушильный барабан	Пыль неорганич. сод. SiO_2, NO_2, NO, CO, CH_4
Складирование «хвостов»				

Окончание таблицы 3.6

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Водная суспензия с частицами пустой породы	Сгущение, складирование	Водная суспензия с содержанием частиц пустой породы <70 %	Сгустители, хвостохранилище	Пыль неорганич. сод. SiO_2
Водоподготовка, оборотное водоснабжение				
Вода со сгустителей	Транспортирование воды на фабрику	Осветленная вода	Насосы	

Характеристика эмиссий

Выбросы в атмосферный воздух

Непосредственное загрязнение приземной атмосферы пылью при обогащении железных руд происходит:

- при конвейерном транспорте рудной массы;
- при ее грохочении и дроблении;
- при загрузке приемных воронок дробилок крупного дробления обогатительных фабрик;
- в процессах сушки концентрата;
- в технологическом процессе флотационного обогащения;
- при пылении с хвостохранилища.

Таблица 3.7 — Интенсивность пылевыделения при перегрузках железных руд [1]

Наименование оборудования или технологической операции	Интенсивность пылевыделения	
	Абсолютная, г/с	Удельная, г/т
Конвейерная перегрузка железной руды на карьере		
А) без средств борьбы с пылью	0,4–3,0	3–22
Б) с использованием аспирации	0,03–0,3	0,02–2
Конвейер для транспорта железной руды		
А) без средств борьбы с пылью	0,1–0,4	0,7–3
Б) с орошением железной руды	0,05–0,2	0,3–1,5
Грохот при рассеве руды		
А) без средств локализации	0,8–1,0	4,0–5
Б) при наличии аспирируемых укрытий	0,07–0,09	0,3–0,5
Перегрузка железной руды с конвейера в штабель склада		
А) при орошении железной руды	0,1–0,12	0,5–0,6
Б) при локализации пылевыделений	0,015–0,03	0,03–0,06
Перегрузка железной руды с думпкара в приемную воронку дробилки		
А) без средств борьбы с пылью	12–42	5,7–3,6
Б) с использованием аспирации	1,5–7	0,45–3,1

Интенсивность пылевыделений зависит как от вида технологических операций и физико-механических свойств перерабатываемого материала, так и от наличия средств борьбы с пылевыделениями (см. таблицу 3.7).

Корпуса дробления руды и сушки концентрата, как правило, обеспечиваются аспирационными установками, в которых используются электрофильтры, мокрые газоочистные установки с эффективностью пылеочистки выше 95 % (см. таблицу 3.8).

Таблица 3.8 — Унос пыли в аспирационную сеть от основного технологического оборудования ГОКов (дробильные фабрики)

Наименование пылящего оборудования, узла	Производительность, т/ч	Средний объем аспирации, $м^3/ч$	Средняя концентрация пыли в асп. воздухе, $мг/м^3$	Унос материала	
				кг/ч	удельный, кг/т
Конвейеры (места загрузки)	300	5000	2000	10,0	0,030
Конусные дробилки	250	1500	400	0,6	0,003
Щековые дробилки	300	3000	500	1,5	0,005
Грохоты	200	3400	350	1,2	0,006
Сухие магнитные сепараторы	120	2000	200	0,4	0,003

В процессе сушки концентрата используются дымовые газы, образующиеся при сжигании природного газа. Как правило, температура дымовых газов в сушильных агрегатах не превышает 900 °С. Значения концентраций загрязняющих выбросов представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 — Выбросы загрязняющих веществ в процессах обогащения железных руд

Наименование ЗВ	Ед. изм.	Источник выброса	Метод очистки	Удельные выбросы после очистки	
				Диапазон	Среднее
Пыль неорганич. (с содержанием SiO_2) ≥ 70 %	г/т	Дробилки, сухая магнитная сепарация	Циклоны, скрубберы (Вентури СВ), электрофильтры	0,1–13,0	5,0
Пыль неорганич. (с содержанием SiO_2 20 % — 70 %)	г/т	Обогащение	Циклоны, скрубберы (Вентури СВ)	0,2–9,5	6,0
Пыль неорганич. (с содержанием SiO_2 ≤ 20 %)	г/т	Сушильные барабаны	Циклоны, скрубберы (Вентури СВ)	0,23–140,0	80,0
NaOH	мг/т	Флотационная машина		2,0	2,0

Наименование ЗВ	Ед. изм.	Источник выброса	Метод очистки	Удельные выбросы после очистки	
				Диапазон	Среднее
Амины алифатические C_{15} — C_{20}	мг/т	Флотационная машина		2,0	2,0
NO_2	г/т	Сушильные барабаны		0,3–14	9,2
NO	г/т			0,06–5,0	2,7
SO_2	г/т			5,6–29,5	15,9
CO	г/т			0,04–300	13,6

Сточные воды

В процессе обогащения железных руд образуются сточные воды в количестве 5–15 $м^3$/т руды, содержащие взвешенные вещества в концентрациях до 30 г/л. Данные сточные воды осветляют в сгустителях и шламонакопителях, а затем возвращают в производство. Механическая очистка на обогатительных фабриках применяется преимущественно как предварительная для доочистки сточных вод другим способом. Для удаления крупных частиц твердой фазы используют песколовки, отстойники, гидроциклоны. Осветленные сточные воды содержат не более 100 мг/л взвешенных веществ, а для технологического процесса можно использовать воду с содержанием взвешенных веществ до 1000 мг/л. Такая замкнутая схема оборотного водоснабжения внедрена на обогатительной фабрике Лебединского ГОКа, согласно которой сгущение хвостов сначала производится в гидроциклонах, а затем — в сгустителях. Сливы сгустителей используют в качестве оборотной воды, а пески сгустителей направляют в хвостохранилище [8].

В процессе флотации образуются сточные воды, загрязненные взвешенными веществами (100–120 г/л) и флотореагентами (40–60 мг/л). После осветления в шламонакопителях содержание взвешенных веществ снижается до 200 мг/л, что не позволяет использовать воду для флотации, поэтому проводят реагентную доочистку сточных вод сульфатом железа (концентрация 100–120 мг/л) и известью (концентрация 100–150 мг/л), что позволяет снизить содержание взвешенных веществ до 50–80 мг/л и вернуть сточные воды в производство.

Поскольку большая часть процессов обогащения осуществляется в водной среде, и на обогатительных фабриках наиболее распространены так называемые мокрые процессы обогащения, в которых раскрытие и разделение минеральных компонентов происходит в водной среде, технология обогащения предусматривает эксплуатацию шламоотстойников и хвостохранилищ.

В практике обогащения руд черных металлов применяют в основном два вида схем оборотного водоснабжения:

1) с безреагентным осветлением хвостовой пульпы в хвостохранилище, что позволяет снизить содержание взвешенных веществ до 27 мг/л, однако требует больших площадей для отстаивания (до 2 тыс. га) и не позволяет очистить сточные воды от реагентов и солей при проведении флотации;

2) комбинированная — с осветлением в сгустителях (с использованием флокулянтов, коагулянтов) и последующей подачей сгущенной пульпы в хвостохранилище.

Большинство обогатительных комбинатов используют в технологии воду оборотной системы водоснабжения. Поэтому сбросы загрязняющих стоков в окружающую среду либо отсутствуют, либо осуществляется сброс условно очищенных сточных вод в водные объекты в пределах установленных нормативов.

Отходы производства

Основными отходами процесса обогащения железных руд являются «хвосты», образующиеся в технологических операциях измельчения, классификации, обогащения, сгущения, фильтрования (см. таблицу 3.10). Кроме пустой породы в хвостах могут присутствовать частицы железосодержащих минералов в количестве от 8 % до 26,5 %. Объемы хвостов составляют от 40 % до 83 % от объема обогащаемого материала — в зависимости от уровня содержания железа в перерабатываемых рудах.

Средневзвешенный диаметр частиц колеблется в пределах 0,05–1,0 мм. Истинная плотность материала колеблется в диапазоне 2600–4000 кг/м^3, что зависит от типа перерабатываемых руд.

При сбросе пульпы в хвостохранилище происходит сегрегация частиц по плотности и крупности. В зонах, близких к выпуску, откладываются наиболее крупные и тяжелые частицы, содержание железа в этих зонах может превышать 30 %.

По сути, хвостохранилища представляют собой техногенные месторождения полезных ископаемых, освоение которых возможно с появлением новых прогрессивных технологий извлечения полезных компонентов.

Хвостохранилища занимают огромные площади. Подсыхающие надводные пляжи создают пыление при ветреной погоде. Горнорудными предприятиями разрабатывается ряд мер, снижающих пылящее воздействие таких пляжей путем высадки облепиховых и ивовых кустарников. Производится укладка хвостов в тело дамб, формируют защитные пляжи дамб, укладка хвостовой пульпы осуществляется рассредоточенным способом по периметру хвостохранилища — для максимального смачивания пылящих пляжей, выполняется профилактическая обработка пляжей хвостохранилища специальным раствором.

Помимо хвостов к отходам производства обогатительных фабрик следует отнести сорбенты, фильтры, фильтровальные материалы, утратившие потребительские свойства, отходы обслуживания и ремонта оборудования, которое не подлежит утилизации, сдачи в металлолом.

Таблица 3.10 — Удельные объемы образования отходов производства

Наименование отходов	Ед. изм.	Источник образования	Метод обращения	Масса отходов на 1 т продукции	
				Диапазон	Среднее
Лом и отходы черных металлов (незагрязненные)	т/т	Ремонт оборудования	Утилизация	Нет данных	
Отходы добычи и обогащения железных руд	т/т	Процессы обогащения	Укладка в хвостохранилище	1,35–4,5	2,6
Отходы обслуживания оборудования	кг/т	В ходе эксплуатации и ремонта оборудования	Размещение на полигонах	50–200	170

Наименование отходов	Ед. изм.	Источник образования	Метод обращения	Масса отходов на 1 т продукции	
				Диапазон	Среднее
Сорбенты, фильтры, фильтровальные материалы, утратившие потребительские свойства	кг/т	Фильтрование, сгущение	Размещение на полигонах	10–70	47

3.4 Окускование

В процессе окускования из сырьевых материалов — пылевидной руды и добавок — производят железорудные окатыши (такой процесс обычно проводят на месте добычи руды [см. рисунок 3.4]). Сырые окатыши обладают низкой прочностью и их прямое применение ограничено, поэтому окатыши упрочняют при высокой температуре в два этапа: сначала сушка окатышей, затем нагрев и обжиг при 1250 °С — 1320 °С.

Установки окускования, как правило, располагаются на горно-обогатительных комбинатах или в составе завода с полным металлургическим циклом для производства железа и стали.

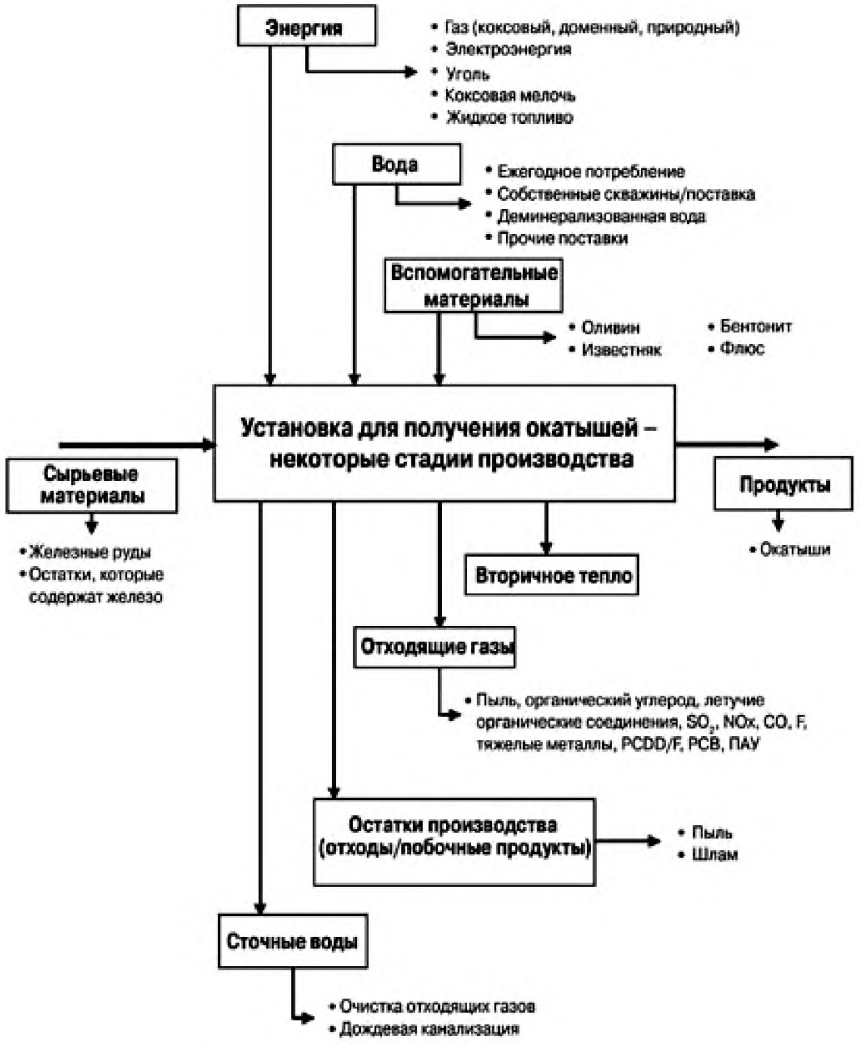


Рисунок 3.4 — Схема массовых потоков на установке для получения окатышей [9]

Таблица 3.11 — Данные по материальным потокам от 3 установок для получения окатышей в странах ЕС-25 в 2004 г. [9]

Вход			**Выход**		
Сырьевые материалы			**Продукты**		
Железная руда	кг/т	935–965	Окатыши	кг/т	1000,00
Бентонит		4,1–6,8	**Эмиссии**		
Оливин (1)		0–27,6	Отходящие газы	$нм^3$/т	1940–2400
Известняк		0–5	Пыль	г/т	14–150
Доломит (2)		0–13,5	Пыль	$мг/нм^3$	7–70

Окончание таблицы 3.11

Кварцит		0–20	Cd	мг/т	0,02–2,2
			Tl		0,6–3,0
Вход			**Выход**		
Энергия	МДж/т		Hg (4)	мг/т	0,4–24,2
Газ коксовый / доменный (3)		306	Cu		1,5–6,7
Газ природный (3)		14	Cr		5,1–22,4
Коксовая мелочь (3)		342	Mn		5,1–64,3
Уголь (5)		223	Ni		6,5–17,2
Нефть (5)		43–186	V		13,4–15,1
Электроэнергия		54–99	Pb		15,6–70,8
Вода	$м^3$/т	0,11–1,25	Zn		3–1300
Сжатый воздух	$нм^3$/т	6,2–12,8	CO_2	кг/т	17–193
			NOx	г/т	150–550
			NOx	$мг/нм^3$	73–283
			SOx (6) (7)	г/т	11–213
			CO		<10(5)-140
			ЛОС (9)		5(5)-40(3)
			HCl (6) (7)		4–41
			HF (6) (7)		1,8–5,8
			ПАУ (10)	мг/т	0,7–1,1
			ПХДД/Ф (4)	нг I-TEQ/т	8,2–196
			ПХДД/Ф (4)	нг I-TEQ/ $нм^3$	0,005–0,1
			Продукционные остатки (отходы/побочные продукты)		
			Пыль		

(1) Для производства окатышей — для доменных печей (2) Для производства окатышей — для прямого восстановления (3) Когда установка является частью завода с полным циклом (Нидерланды) (4) Ртуть преимущественно в элементной форме. Нагрузка зависит от перерабатываемой руды (5) В случае автономной установки в Швеции (магнетитовые руды) (6) Нижнее значение при удалении кислых газов (7) Рассчитано по массовому балансу (8) Нижнее значение, если применяется технология десульфуризации (9) Не известен метод измерения (10) Информация по методу Borneff 6, EPA или для бенз(а)пирена не имеется

Потребление материальных и энергетических ресурсов при производстве железорудных окатышей зависит (см. таблицу 3.11) не только от совершенства и эффективности технологического процесса и оборудования, но и от вида выпускаемых окатышей: офлюсованные или неофлюсованные, от степени основности, требований к металлургическим свойствам, поэтому указывать среднее значение потребляемого ресурса в данной таблице будет некорректно.

Потребление основных ресурсов при производстве железорудных окатышей представлено в таблице 3.12.

Таблица 3.12 — Потребление ресурсов в технологии производства железорудных окатышей

Наименование	Ед. изм.	Удельный расход
Материальные ресурсы		
Железорудный концентрат	т/т	1,034–1,11
Бентонит	кг/т	2,5–10,0
Известняк	кг/т	0–70
Боксит	кг/т	0–12
Энергетические ресурсы		
Электроэнергия	кВт·ч/т	32,5–48,5
Природный газ	кг у. т./т	11,6–20,2
Техническая (оборотная) вода	$м^3$/т	0,31–8,5
Вода из природного источника	$м^3$/т	0–0,4

Характеристика эмиссий

Обжиговые машины являются основными источниками выделения технологических газов и пыли (см. таблицу 3.13).

От обжиговых машин дымовые газы через сборный коллектор отсасываются дымососами, и очищенные выбрасываются в дымовую трубу. Очистка газов, сбрасываемых в атмосферу, осуществляется мокрым способом в установках «труба Вентури» — скруббер-каплеотделитель, в циклонах. На современных фабриках окомкования в качестве газоочистных установок применяются электрофильтры, обеспечивающие эффективность очистки газов от пыли до 99,8 %.

Газоочистные устройства предназначены для очистки до санитарных норм выбрасываемых в атмосферу газов, защиты роторов дымососов от абразивного износа пылью. Отключение воды, подаваемой на газоочистные устройства, работающие по мокрому способу, при работающих дымососах не допускается. Отключение воды можно произвести только по истечении 20–30 мин после остановки дымососов. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ при процессах производства железорудных окатышей приведены в таблице 3.14.

Продолжение таблицы 3.13

Таблица 3.13 — Эмиссии на основных этапах производства обожженных железорудных окатышей

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Подготовка шихты				
Бентонитовая глина, известняк, мел, боксит, доломит	Измельчение комового бентонита, флюса, упрочняющей добавки	Порошковый бентонит кл. <71 мкм	Молотковая и валковая дробилки Сушильный барабан Шаровая и стержневая мельницы	Пыль неорганич. сод. SiO_2
Концентрат — поток	Фильтрация	Концентрат с содержанием влаги <10,0 %	Вакуумные фильтры (тканевые, керамические) Пресс-фильтры (тканевые, керамические)	Шлам
Концентрат с содержанием влаги <10 %, измельченный бентонит с содержанием влаги ≥ 4 %, измельченные известняк, мел, доломит, боксит, полимер	Дозирование, смешивание	Шихта (механическая смесь компонентов в заданном количестве и соотношении)	Дозаторы — ленточные дисковые Смесители — роторные, барабанные, интенсивного перемешивания, шнековые	Пыль неорганич. сод. SiO_2
Производство сырых окатышей				
Шихта — смесь железорудного концентрата со связующими и флюсо-упрочняющими добавками	Окомкование с получением гранул >5 мм	Сырые окатыши	Окомкователи — барабанные, чашевые (тарельчатые)	Пыль неорганич. сод. SiO_2

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Сырые окатыши	Сортировка по классам крупности: <5 мм, 5–16 (18) мм, >16 (18) мм	Кондиционные сырые окатыши класса крупности более 5 мм и менее 16 (18) мм	Роликовые грохота	Пыль неорганич. сод. SiO_2
Сырые окатыши класса крупности 5–16 (18) мм	Укладка на обжиговую машину	Сырые окатыши класса крупности 5–16 (18) мм уложенные в слой	Маятниковый или челночный укладчик, роликовый укладчик	Пыль неорганич. сод. SiO_2
Термическая обработка окатышей				
Сырые окатыши класса крупности 5–16 (18) мм (уложенные в слой)	Термическая обработка: сушка, подогрев, окисление магнетита, диссоциация карбонатов, высокотемпературное упрочнение, охлаждение	Обожженные окатыши с требуемыми физико-механическими и металлургическими свойствами	Обжиговая машина	Пыль неорганич. сод. SiO_2, газообразные ЗВ (SOx, NOx, CO, CO_2) шлам
Сортировка и отгрузка				
Обожженные окатыши	Сортировка по классам крупности: <5 мм, 5–16 (18) мм, >16 (18) мм; выделение «постельных» окатышей кл. + 10 мм -16 мм	Кондиционные обожженные окатыши класса крупности >5 мм; «постельные» окатыши; Отсев кл. <5 мм	Вибрационные грохота	Пыль неорганич. сод. SiO_2, шлам
Кондиционные обожженные окатыши класса крупности >5 мм	Отгрузка в вагоны или транспортировка конвейерным трактом в последующий технологический процесс; складирование	Кондиционные обожженные окатыши класса крупности >5 мм	Погруз-бункер, конвейерный тракт, штабелеукладчик	Пыль неорганич. сод. SiO_2

Окончание таблицы 3.13

Входной поток	Этап процесса (подпроцесс)	Выходной поток	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Обожженные «постельные» окатыши класса крупности 10–16 мм	Возврат на обжиговую машину	Слой «постели» на обжиговой машине для защиты колосникового поля	Бункер «постельных» окатышей	Пыль неорганич. сод. SiO_2

В цехах шихтоподготовки, на линиях измельчения комовых материалов, а также при дозировании измельченных материалов — для очистки отходящих газов применяются электрофильтры, циклоны, рукавные фильтры. В качестве аспирационных установок используют «мокрые» циклонные установки. На некоторых фабриках еще используется мокрая газоочистка с применением «трубы Вентури» — скруббера-каплеотделителя. Однако использование мокрой газоочистки приводит к значительным технологическим потерям измельчаемого материала.

Таблица 3.14 — Выбросы загрязняющих веществ (г/т) в процессах производства железорудных окатышей

Наименование ЗВ	Источник выброса	Метод очистки	Масса ЗВ в отходящих газах после очистки	
			Диапазон	Среднее
Пыль неорганич. SiO_2 < 20 %	Обжиговая машина	Циклоны, скруббер Вентури, электрофильтры	3,5–100	55
NO_2			0,01–436	125
NO			0,0–71	30
CO			0,0–130	31
SO_2			0–850	342
Пыль неорганич. SiO_2 20 % — 70 %	Участок измельчения комовых материалов	Циклоны, скруббер Вентури, электрофильтры, рукавные фильтры	0,2–64,5	30,2
NO_2			0,01–76,3	53
NO			0,0–15,4	10,6
Пыль неорганич. SiO_2 20 % — 70 %	Сортировка и складирование железорудных окатышей	Аспирационные установки	1,0–45	26,1

Сточные воды

Вода на фабрике окомкования используется для охлаждения обжиговой машины, в газоочистных установках, в смывах.

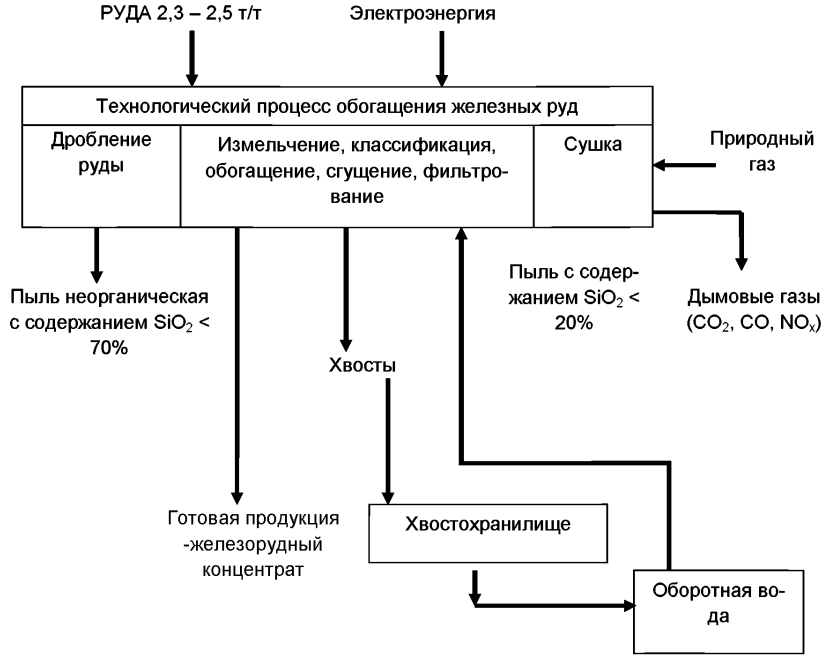


Рисунок 3.5 — Обобщенная схема движения шламов фабрик окомкования.

Шламы фабрики окомкования, как правило, содержат достаточно высокое количество железа — более 60 %, поэтому данный материал либо возвращается в отделение фильтрации фабрики обогащения, либо в шихту окатышей (см. рисунок 3.5).

Для охлаждения обжиговых машин используется техническая вода оборотного водоснабжения. Поэтому сбросов воды в природные источники по фабрикам окомкования не зафиксировано.

На некоторых комбинатах измельчение шлама не производится, и материал со сгустителя поступает сразу в отделение фильтрования концентрата.

Отходы и побочные продукты

Основными отходами процесса окомкования являются отходы, образующиеся в процессе ремонта обжиговых машин, как правило, это разрушенные огнеупорные материалы, резина конвейерных лент и т. п.

Лом и отходы черных металлов, вышедшие из строя колосники подвергаются утилизации.

Таблица 3.15 — Удельные объемы образования отходов (кг/т продукции)

Наименование отходов	Источник образования	Метод обращения	Масса отходов
Лом и отходы черных металлов незагрязненные	Ремонт оборудования	Утилизация	1,5–18

Наименование отходов	Источник образования	Метод обращения	Масса отходов
Отходы обслуживания и ремонта печей и другого оборудования	В ходе эксплуатации и ремонта оборудования	Размещение на полигонах	43–220

Акустическое воздействие

При работе мельниц для сухого измельчения могут образовываться значительные уровни шума (~85 дБА), поэтому они полностью закрыты шумопоглощающими кожухами. Мельницы с мокрым измельчением не оказывают такого уровня шума, и обычно не возникает необходимости в использовании для них шумопоглощающих корпусов.

Таблица 3.16 — Основные факторы воздействия на окружающую среду в процессах добычи и обогащения железных руд

Воздействие	Открытая добыча				Подземная добыча			Обогащение		Размещение отходов добычи и обогащения	Окускование
	Снятие и складирование плодородного слоя почвы	Вскрышные работы	Буровзрывные работы	Транспортировка	Вскрытие	Подготовка	Очистная выемка	Дробление	Сепарация магнитная и электрическая; флотация		
Основные эмиссии в окружающую среду											
Выбросы ЗВ в атмосферный воздух											
Твердые (пыль)	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼		▼	▼
Газообразные	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼				▼
Сбросы сточных вод											
Шахтных и карьерных					▼	▼	▼				
От процесса обогащения									▼		
Образование отходов											
Вскрышные и вмещающие породы		▼			▼						
Хвосты обогащения									▼		
Физические факторы воздействия	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Утрата природного ресурса											
Уничтожение растительного покрова	▼				▼					▼	
Уничтожение (погребение) почв	▼									▼	
Уничтожение поверхностных водных объектов							▼			▼	
Утрата местообитания	▼	▼								▼	

3.5 Производство железа прямого восстановления

Основной экологической выгодой установки прямого восстановления железа по сравнению с доменной печью является то, что в этих установках не используется угольное топливо, это исключает необходимость производства кокса и агломерационного процесса в целом. Имеется мало выбросов пыли, которые легко отводятся. Кроме того, на установках прямого восстановления на основе метана образуется намного меньше CO_2, чем в установках на основе угля.

Потребление ресурсов

Потребление основных ресурсов при производстве железа прямого восстановления представлено в таблице 3.17. Необходимо отметить, что низкий уровень удельного расхода электроэнергии характерен для установки HYL-III, так как данная технология обеспечена собственным источником генерации электроэнергии — паровой турбиной.

Таблица 3.17 — Потребление ресурсов в технологии производства железорудных окатышей

Наименование	Ед. изм.	Удельный расход на 1 т продукции
Материальные ресурсы		
Железорудные окатыши	т/т	1,397–1, 44
Материал покрытия — цемент	кг/т	2,5–6
Энергетические ресурсы		
Электроэнергия	кВт·ч/т	17,91–123,5
Природный газ	кг у. т/т	345–377
Вода из природного источника	$м^3$/т	1,0–9,02

Характеристика эмиссий

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Технология прямого восстановления железа по своей сути является так называемой технологией «чистой металлургии».

Основными источниками выделения технологической пыли на установках металлизации являются системы транспортирования и классификации исходных обожженных окатышей.

Отличительная особенность технологических процессов HYL-III и MIDREX заключается в высокой степени циркуляции технологических газов, в результате чего снижается количество газовых выбросов. Данные по выбросам загрязняющих веществ в процессах прямого восстановления железа приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 — Удельные выбросы загрязняющих веществ (г/т продукции) в процессах прямого восстановления железа.

Наименование ЗВ	Источник выброса	Метод очистки	Масса ЗВ в отходящих газах после очистки	
			Диапазон	Среднее
NO_2	Реформер		100–170	135

Окончание таблицы 3.18

Наименование ЗВ	Источник выброса	Метод очистки	Масса ЗВ в отходящих газах после очистки	
			Диапазон	Среднее
NO			10–60	20,7
CO			30–84	53,2
SO_2			0–28	9,4
NO_2	Газонагреватель		80–460	170,9
NO			20–87	77,04
NO_2	Эжекторная труба		250–530	418
NO			40–188	67,65
CO			1300–3080	2000
SO_2			0–176	53,56
Пыль неорганич. содержащая SiO_2			80–198	135,1
Пыль неорганич. содержащая SiO_2	Участок брикетирования	Скруббер	0,1–11	0,57
NO_2			0,1–11,6	9,2
NO			0,05–4,1	1,5
CO			0–1,3	0,88
SO_2			0–1,0	0,6
Пыль неорганич. содержащая SiO_2	Обеспыливание нижнего затвора уплотнительного газа	Скруббер	0,1–12,5	3,2
NO_2			1,5–7,2	6,3
NO			0,5–2,3	1,0
CO			0–0,9	0,6
SO_2			0–0,9	0,7
CO	Установка металлизации с производством металлизованных окатышей	Скруббер Вентури	150–166	145,5
Пыль неорганич. содержащая SiO_2			1,0–2,5	1,68

Сбросы сточных вод

Для установок металлизации характерно высокое потребление воды, при этом достаточно высокие требования к ее качественным характеристикам. Вода на установку металлизации используется для охлаждения оборудования, производства пара, в газоочистных установках, поэтому каждая установка металлизации имеет свой многоступенчатый цикл водоподготовки, при этом в качестве исходной воды используется чистая вода из природного водоема.

Образующиеся шламы содержат высокое количество железа — более 60 %, поэтому данный материал либо возвращается в отделение фильтрации фабрики окомкования — на ОЭМК (см. рисунок 3.6) либо отгружается потребителям, как на Лебединском ГОКе.

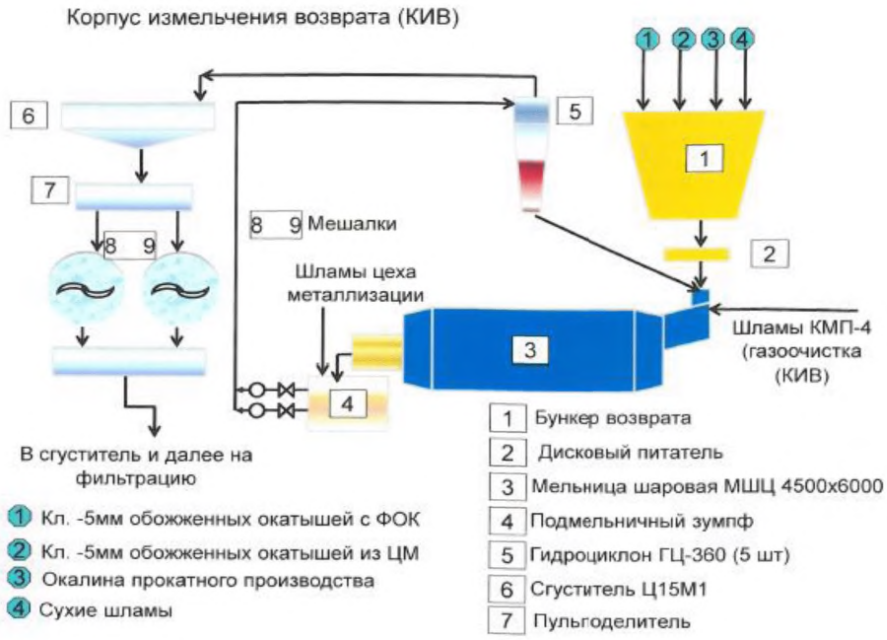


Рисунок 3.6 — Схема использования шламов на ОЭМК.

Отходы производства

Основными отходами процесса прямого восстановления железа являются отходы, образующиеся в процессе ремонта шахтных печей, реформеров и другого оборудования. Это разрушенные огнеупорные материалы, отслуживший свой срок катализатор, резина конвейерных лент и т. п.

Лом и отходы черных металлов, вышедшие из строя сегменты брикет-прессов, шнековые питатели брикет-прессов, трубы реформера подвергаются утилизации.

Данные по удельным объёмам образования отходов приведены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 — Удельные объемы образования отходов (кг/т продукции)

Наименование отходов	Источник образования	Метод обращения	Масса размещенных отходов	
			Диапазон	Среднее
Лом и отходы черных металлов незагрязненные	Ремонт оборудования	Утилизация	0,5–1,0	0,7
Отходы обслуживания и ремонта печей и другого оборудования	В ходе эксплуатации и ремонта оборудования	Размещение на полигонах отходов	0,05–0,1	0,085

3.6 Системы менеджмента

3.6.1 Системы экологического менеджмента

Системы экологического менеджмента (СЭМ) получили распространение в последние 15–20 лет; в настоящее время действуют стандарты ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use [10] и ГОСТ Р ИСО 14001—2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению [11], хотя до конца сентября 2018 г. организации могут использовать прошлые версии стандартов [12].

СЭМ представляет собой часть системы менеджмента организации, используемую для управления экологическими аспектами, выполнения принятых обязательств и учитывающую риски и возможности [11]. В общем случае система менеджмента — это совокупность взаимосвязанных элементов, используемых для установления политики и целей, а также для достижения этих целей. СЭМ включает в себя организационную структуру, деятельность по планированию, распределение ответственности, практики, процедуры, процессы и ресурсы. Элементы системы включают в себя структуру организации, роли и ответственность, планирование и функционирование, оценку результатов деятельности и улучшение. Современные системы менеджмента разрабатываются с учетом оценки рисков и возможностей: первоочередное внимание уделяется экологическим аспектам, вызывающим наиболее значимое негативное воздействие на ОС, обусловливающим репутационные риски и проблемы взаимодействия с природоохранными органами и населением и, напротив, открывающим дополнительные возможности для развития бизнеса [10, 12, 13] [1)].

Экологический аспект остается ключевым понятием СЭМ, позволяющим соотнести деятельность организации и ее взаимодействие с окружающей средой. Экологический аспект рассматривается как элемент деятельности организации, ее продукции или услуг, который может взаимодействовать с ОС. Использование этого термина существенно облегчает применение подходов предотвращения загрязнения, так как позволяет идентифицировать и обеспечить контроль экологических аспектов, и осуществить тем самым минимизацию негативного воздействия при условии соблюдения производственных требований. Соотношение понятий «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, то есть обеспечивать ее защиту. Отметим, что неудачный перевод термина environmental impact («экологическое воздействие») использовать нежелательно, тем более что в российском законодательстве закреплено понятие негативного воздействия на окружающую среду как воздействия хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды.

[1)] Концепция риск-ориентированного мышления подразумевалась и в предыдущих версиях стандартов, включая, например, выполнение предупреждающих и корректирующих действий.

Несмотря на то, что формально понятие «задачи» не используется в новой версии стандарта (по настоянию специалистов, для которых английский язык не является родным), практическое значение постановки задач как ступеней достижения цели, в отношении которых удобно формулировать показатели, достижимые в достаточно краткие сроки, нельзя недооценивать.

Для предприятий области распространения настоящего справочника НДТ приоритетные экологические аспекты идентифицируются в результате анализа таких факторов воздействия на окружающую среду, как (см. 3.1–3.5):

- нарушение земель, природных ландшафтов;
- образование отходов;
- выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;
- сбросы загрязняющих веществ в водные объекты;
- 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 минимизации техногенного воздействия на экосистемы регионов присутствия компаний, улучшению экологических показателей производственных процессов и учету экологических требований в инвестиционной политике при реконструкции и развитии производства.

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, изменения процесса, продукции или услуги, эффективное использование ресурсов, замену материалов и энергии, повторное использование, восстановление, вторичную переработку, утилизацию и очистку [11]. Таким образом, принцип предотвращения загрязнения полностью соответствует содержанию термина «наилучшие доступные технологии».

Последовательное улучшение (которое часто называют постоянным, хотя точный смысл термина ‘continual’ — «последовательное», см. рисунок 3.7) — периодический процесс совершенствования системы экологического менеджмента с целью улучшения общей экологической результативности, согласующийся с экологической политикой организации [10, 12]. Более детальное разъяснение этого принципа приведено в «Схеме экоменеджмента и аудита» (The Eco-Management and Audit Scheme (EMAS III) [14]): «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 результативности реализуется путем постановки экологических целей и задач, выделения ресурсов и распределения ответственности для их достижения и выполнения (разработки и реализации программ экологического менеджмента). При этом с точки зрения наилучших доступных технологий

экологические задачи (детализированные требования к результативности) должны ставиться с учетом технологических показателей НДТ. Тем самым, принцип последовательного улучшения приобретает конкретность, получает численные ориентиры, что соответствует современным взглядам на требования к системам экологического менеджмента [10, 12, 14].

В связи с тем, что для постановки и проверки достижения целей СЭМ необходимо обеспечить систему оценки (в том числе и по результатам измерений) показателей результативности, процесс планирования (завершающийся, как правило, разработкой программ экологического менеджмента) предполагает и совершенствование практики производственного экологического мониторинга и контроля, включая выбор, обоснование и организацию измерений ключевых параметров [15].

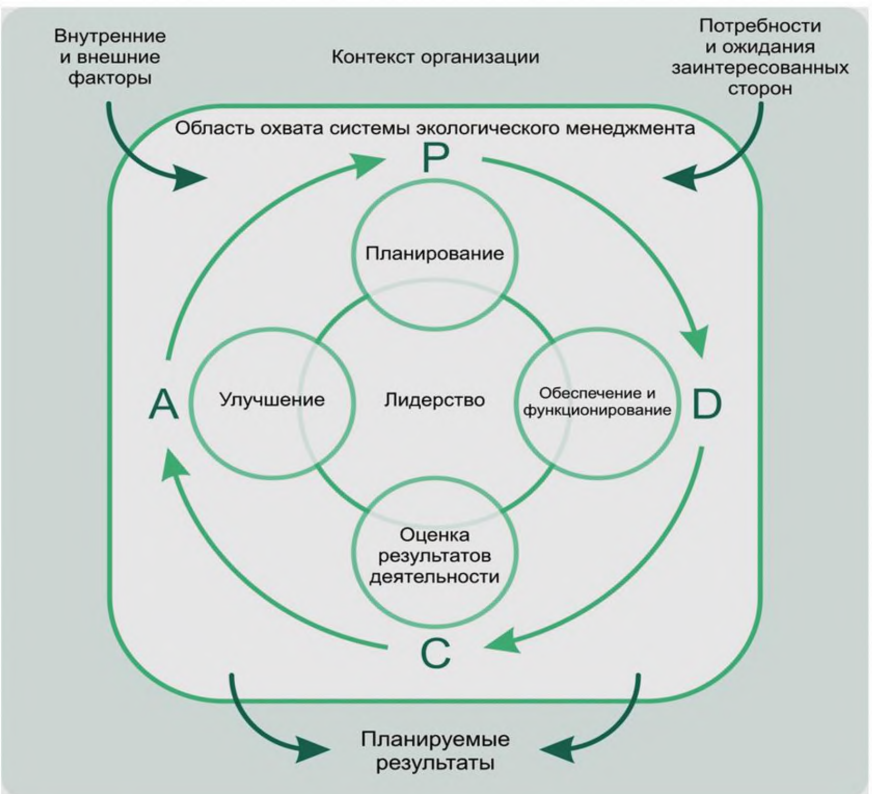


Рисунок 3.7 — Модель системы экологического менеджмента [11]

Это тем более важно, что в соответствии со статьей 22 Федерального закона от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [16] предприятий категории I должны будут передавать результаты измерений концентраций загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах а атмосферный воздух и сбросах в водные объекты, в «…государственный фонд данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), создавае-

мый и используемый в соответствии с законодательством в области охраны окружающей среды».

В отличие от прошлых версий стандартов, устанавливающих требования к СЭМ, в документах 2015–2016 гг. [10, 11] более значительное внимание уделено таким понятиям, как демонстрация лидерства на всех уровнях, учет контекста (среды) организации и ожиданий заинтересованных сторон, а также, как уже отмечено, учет рисков и возможностей.

В порядке учета контекста (среды) организации необходимо определить внешние и внутренние факторы, относящиеся к намерениям организации и влияющие на ее 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 (подробнее см. 3.1). Подчеркнем, что во многих регионах предприятия, осуществляющие добычу и обогащение железной руды, воспринимаются как крупнейшие загрязнители, определяющие структуру образования отходов, а также вносящие существенный вклад в загрязнение воздушной и водной среды. Отнесение предприятий по добыче и обогащению железной руды 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 путем 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 негативное воздействие на окружающую среду может усиливаться или возникать при нештатных ситуациях, СЭМ включает требование учитывать такие ситуации (в русском языке нередко называемые чрезвычайными, что не совсем точно) и условия их возникновения при определении экологических аспектов. Также подчеркивается необходимость обеспечения подготовленности персонала к нештатным ситуациям. Предприятие должно установить, внедрить и поддерживать процедуру (ы), необходимые для выявления потенциально возможных аварий и нештатных ситуаций, которые могут оказывать воздействие на ОС, и для определения того, как организация будет на них реагировать. Предприятие должно также реагировать на возникающие нештатные ситуации и аварии и предотвращать или смягчать связанные с ни-

ми негативные воздействия на окружающую среду. Работоспособность таких процедур целесообразно периодически проверять на практике.

По мнению членов ТРГ 25, в контексте наилучших доступных технологий речь не идет о сертификации систем экологического менеджмента. Аналогичная позиция представлена в ИТС 16—2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы» [17], справочнике Европейского Союза по наилучшим доступным технологиям Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities (2007, [18]), документе по наилучшим практикам в области добычи рудных полезных ископаемых, подготовленном индийскими и британскими специалистами — Comprehensive Industry Document on Iron Ore Mining (2007, [19]). В обсуждаемых документах сказано, что наилучшей доступной технологией следует считать разработку СЭМ и следование ее 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.

В то же время следует отметить, что практически все предприятия, которые приняли участие в бенчмаркинге в рамках разработки ИТС 25, подтвердили соответствие систем экологического менеджмента требованиям стандартов и добились сертификации или готовятся к ней. 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, усиливающаяся внедрение СЭМ, связана с применением принципа предотвращения загрязнения. Гораздо более эффективно, а нередко — единственно возможно, снизить негативное воздействие какой-либо деятельности на ОС 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 подходов 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.

3.6.2 Системы энергетического менеджмента и повышение энергоэффективности производства

Повышение энергоэффективности экономики в Российской Федерации отнесено к приоритетам высокого уровня: разрабатываются и реализуются соответствующие программы [20], принимаются законодательные и нормативные правовые акты [21], публикуются доклады о состоянии энергосбережения и повышении энергоэффективности в Российской Федерации [22, 23].

В Докладе «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений» [24] подчеркнуто, что для повышения эффективности реализации государственной политики энергосбережения необходимо при формировании новой Госпрограммы «Энергоэффективная Россия» предусмотреть реализацию широкого перечня инновационных инструментов, позволяющих обеспечить снижение энергоемкости валового внутреннего продукта за счет запуска новых и решительных мер политики и мобилизации внебюджетных источников финансирования в разных секторах экономики. К новым мерам отнесено и технологическое нормирование деятельности предприятий, основанное на принципах НДТ.

Обеспечение высокой энергоэффективности производства является одним из критериев отнесения технологических, технических и управленческих решений к НДТ [25]. Кроме того, системы энергетического менеджмента (их инструменты) отнесены к наилучшим доступным технологиям в ИТС 48—2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности» [26]. В этом справочнике, как и в справочном документе Европейского Союза (Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency, 2009 [27]), опубликованном

с изменениями и дополнении на русском языке в 2012 г. [28], подходы к внедрению систем энергетического менеджмента (СЭнМ) рассмотрены достаточно подробно. Более того, в 2011–2015 гг. опубликован ряд стандартов, предписывающих требования к разработке СЭнМ [29–35].

Численные показатели, характеризующие энергетическую эффективность предприятий области применения ИТС 25, приведены в разделе «Черная металлургия» Государственного доклада о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2015 г. [22]. Указано, что удельные показатели потребления энергетических ресурсов были рассчитаны на основе формы статистической отчетности № 11-ТЭР «Сведения об использовании топлива, теплоэнергии и электроэнергии на производство отдельных видов продукции, работ (услуг)». Удельный расход топливно-энергетических ресурсов на производство железной товарной руды (включая обогащение и производство концентратов) составил 12,15 кг у. т./тонну (0,36 ГДж/т); снижение в период 2012–2015 гг. достигло 2,4 % (от уровня 2012 г.) [22, С. 48–50]. В Государственном докладе за 2016 г. указано, что удельный расход топливно-энергетических ресурсов составил уже 7,8 кг у. т./тонну (0,23 ГДж/т) железной товарной руды (включая обогащение и производство концентратов). [23]. К сожалению, в этих документах не сказано, для каких именно видов производств были проведены оценки. Согласно данным анкет, представленных предприятиями отрасли, энергоемкость производства варьирует в широких пределах (см. таблицу 3.20); показатели 0,36 ГДж/т (за 2015 г.) и 0, 23 ГДж/т (за 2016 г.) лежат в интервалах значений, приведенных в таблице.

Таблица 3.20 — Энергоемкость производства железной руды, железорудных концентратов и окатышей

Виды продукции	Удельное потребление энергии, ГДж/т
Руда железная товарная необогащенная	0,01–0,015
Концентрат железорудный с массовой долей Fe не менее 65 %	0,16–0,25
Концентрат железорудный с массовой долей Fe менее 63 %	0,15– 0,20
Концентрат железорудный с массовой долей Fe не менее 69,5 % (при доводке измельченного концентрата)	0,16–0,3
Окатыши железорудные неофлюсованные	0,52–0,75
Окатыши железорудные офлюсованные	0,46–1,0

Заявления о последовательном снижении энергопотребления можно найти в открытой нефинансовой отчетности российских компаний, предприятий которых реализуют виды деятельности, соответствующие области определения ИТС 25; приводятся сведения об использовании энергии различных источников, об общих энергозатратах в компаниях и их динамике. Вместе с тем, такой показатель, как удельное потребление энергии (в том числе отдельно для открытой и подземной добычи железных руд), в открытых отчетах (по крайне мере, за 2014–2016 гг.) не публикуется. В то же время, многие компании сообщают о внедрении систем энергетического менеджмента, подготовке кадров в этой области и активном использовании различных инструментов повышения энергоэффективности производства, о последовательном снижении потребления энергии.

Подходам энергетического менеджмента значительное внимание уделено и в международных документах отраслевой направленности, в том числе таким, как Energy Management in Mining. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry (Австралия, 2016, [35]), Benchmarking the Energy Consumption of Canadian Open-Pit Mines (Канада, 2005 [36], Mining Industry Energy Bandwidth Study (США, 2007 [37]).

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 [34]. Это определение, приведенное в действующем ГОСТ Р ИСО 50001—2012, а также модель системы (см. рисунок 3.8), свидетельствует о том, что стандарт (и его международный прообраз) был разработан до вступления в силу новых стандартов (2015 г.) в области систем менеджмента качества и систем экологического менеджмента. Особенность новых стандартов состоит в том, что в число обязательных позиций включено выполнение принятых организацией обязательств (которые, впрочем, должны получать отражение в политике), а также учет рисков и возможностей. В контексте СЭнМ следует рассматривать риски, обусловленные несоблюдением требований к обеспечению эффективности использования энергии, устанавливаемых на государственном уровне, и возможности для развития бизнеса, открывающиеся при выполнении потенциально поддерживаемых различными фондами проектов в области повышения энергоэффективности производства.

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 [29]) или российскому (ГОСТ Р ИСО 50001—2012 [34]) стандартам. Российское законодательство не требует обязательной сертификации систем энергетического менеджмента.

Таким образом, решение о необходимости процедуры сертификации, хотя и дающей 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.

Рисунок 3.8 — Цикл системы энергетического менеджмента (по ГОСТ Р ИСО 50001—2012).

Наиболее полно преимущества применения инструментов энергоменеджмента проявляются при внедрении и поддержании функционирования системы энергетического менеджмента.

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 эффективно-

сти 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 (ЭСМ) 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 система рационализаторских предложений; создание системы мотивации;

- разработка и соблюдение процедур, в том числе организационная структура; документирование и ведение записей.

Для предприятий, занимающихся добычей и обогащением железной руды, 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 добычи, обогащения и окускования железных руд, а также прямого восстановления железа.

Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий

Процедура определения наилучших доступных технологий для области применения настоящего справочника НДТ организована Бюро НДТ и технической рабочей группой ТРГ 25 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) [1]. Определение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве НДТ проведено членами ТРГ 25 с учетом Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии (далее — Методические рекомендации) (утверждены приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665) [2]. Применение этого документа обусловлено не отсутствием согласованной позиции между членами ТРГ 25 по вопросу отнесения рассмотренных технологий к НДТ (пункт 4 Методических рекомендаций), а сложностями в проведении сравнительного анализа экологической результативности и ресурсоэффективности предприятий, реализующих процессы, отнесенные к областям определения настоящего справочника НДТ.

Основные технологические процессы, технические решения и оборудование описаны в разделе 2. В разделе 3 приведены сведения о мерах, направленных на снижение негативного воздействия на ОС и повышение ресурсоэффективности, применяемых при производстве железорудного концентрата, обожженных окатышей и железа прямого восстановления. 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, получившая отражение в таких справочниках, как [3], [4], [5], [6], [7].

При определении технологических процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве наилучшей доступной технологии члены ТРГ 25 учитывали требование выбора НДТ, наилучшим образом сочетающих критерии достижения целей охраны окружающей среды, изложенные в п. 14 ст. 23.1 Федерального закона от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации [8] и в ст. 28.1 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [9].

Сочетанием таких критериев считаются:

- «…наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо другие предусмотренные международными договорами Российской Федерации показатели;
- 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» [7].

Рассмотрим критерий, определенный как наименьший уровень негативного воздействия на ОС. Практически во всех случаях речь шла о поиске приемлемых, даже компромиссных решений, позволяющих снизить негативное воздействие, и об идентификации спектра решений, использование которых позволяет сократить выбросы вредных веществ в атмосферный воздух, их сбросы со сточными водами, образование отходов, а также, где это применимо, ограничить воздействие на природные экосистемы. В тех случаях, когда известны количественные показатели, определяли коридоры значений, соответствующих лучшей и наиболее широко распространенной практике российских предприятий. В других случаях принимали во внимание качественные оценки, данные экспертами в соответствующих областях применения НДТ.

Применение ресурсосберегающих (в частности, энергосберегающих) методов и достижение высоких показателей ресурсо- и энергоэффективности производства, оценивали по таким показателям, как потребление энергии, воды, сырья и вспомогательных веществ и материалов в расчете на единицу произведенной продукции.

Факт промышленного внедрения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на двух и более российских предприятиях в области распространения настоящего справочника НДТ устанавливали по результатам обработки анкет, поступивших от предприятий, и на основании материалов открытых нефинансовых отчетов российских компаний. Также принимали во внимание мнения экспертов, принимавших участие в разработке и обсуждении проекта настоящего справочника НДТ.

Период внедрения оценивали также 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 энергетического и экологического менеджмента. Следует отметить, что период внедрения следует рассматривать для отрасли в целом, принимая решение об ужесточении требований, например при пересмотре информационно-технических справочников. При разработке первого варианта настоящего справочника НДТ цель состоит в определении четких условий технологического нормирования в сфере охраны окружающей среды и стимулирования предприятий к систематизации сведений об экологической результативности и ресурсоэффективности и к совершенствованию отчетности в этих областях.

Вопросы экономической эффективности рассмотрены только в тех случаях, когда членам ТРГ 25 удавалось получить надежные данные от отечественных предприятий, внедривших конкретные технологические, технические или управленческие решения, позволяющие достичь высокого уровня защиты окружающей среды и ресурсоэффективности производства.

При подготовке настоящего справочника НДТ и определении наилучших доступных технологий члены ТРГ 25 в целом следовали логике, описанной в приложении 1 к Методическим рекомендациям [2], а также в [10], [11]. Последовательность этапов рассмотрения технологических процессов, технических решений и методов при определении представлена на рисунке 4.1.

1. Факторы воздействия на окружающую среду

Факторы воздействия на природные экосистемы	Выбросы ЗВ (кг ЗВ/т продукции). Методы предотвращения и сокращения выбросов ЗВ, а также очистки отходящих газов	Образование сточных вод (количество и состав, $м^3$/т продукции, кг ЗВ/т продукции). Обращение со сточными водами	Образование производственных отходов, т/т продукции, и использование их в технологических процессах, обращение с отходами

2. Ресурсо- и энергоэффективность

Энергия (топливо и электроэнергия, ГДж/т продукции), сокращение затрат энергии при транспортировке, ГДж/т*км)	Сырье, т/т продукции	Вода, $м^3$/т продукции	Вспомогательные вещества и материалы, т/т продукции

3. Возможность улучшения технологических показателей в процессе реконструкции, внедрения технических средств и систем менеджмента

4. Экономические сведения (при наличии)

Рисунок 4.1 — Последовательность этапов рассмотрения технологических процессов, технических решений и методов при определении настоящего справочника НДТ

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.

Раздел 5. Наилучшие доступные технологии, инструменты и практика экологического и энергетического менеджмента

В результате анализа представленной заинтересованными сторонами, полученной из открытых источников и подготовленной составителями данного справочника НДТ информации к наилучшим доступным технологиям, включающим технологические, технические и управленческие решения, отнесены следующие.

НДТ 1. Системы экологического менеджмента и их инструменты

НДТ состоит в разработке, внедрении и последовательном совершенствовании системы экологического менеджмента, область охвата которой определяется организацией с учетом приоритетных экологических аспектов (подробнее см. раздел 3.).

Несмотря на то что большая часть компаний, реализующих виды деятельности, отнесенные к области применения настоящего справочника НДТ, сообщает о сертификации (ресертификации или к подготовке к сертификации систем экологического менеджмента), НДТ 1 не предполагает обязательной сертификации СЭМ на соответствие требованиям международного или российского стандарта (ISO 14001 или ГОСТ Р ИСО 14001).

НДТ 2. Системы энергетического менеджмента и их инструменты

НДТ состоит в разработке, внедрении и последовательном совершенствовании системы энергетического менеджмента, область охвата которой определяется организацией с учетом особенностей использования энергии и приоритетных направлений повышения энергетической эффективности (подробнее см. раздел 3.).

Системы энергетического менеджмента начинают получать все более широкое распространение в Российской Федерации. Компании, реализующие виды деятельности, отнесенные к области применения настоящего справочника НДТ, уже сообщают о внедрении СЭнМ, размещают на официальных сайтах энергетическую политику, обеспечивают подготовку персонала. Тем не менее НДТ 2 не предполагает обязательной сертификации СЭнМ на соответствие требованиям международного или российского стандарта (ISO 50001 или ГОСТ Р ИСО 50001). Предприятия могут отдавать также предпочтение апробации отдельных инструментов энергетического менеджмента (подробнее см. раздел 3.).

НДТ 3. Производственный процесс добычи железных руд открытым способом

НДТ состоит в эффективном технологическом процессе добычи железных руд открытым способом путем снятия плодородного слоя почвы, вскрытия рудных тел, экскавации и транспортировке железных руд на обогатительные переделы (см. 2.1).

НДТ 4. Автоматизированные системы управления карьерными самосвалами и погрузочной техникой

НДТ состоит во внедрении и последовательном совершенствовании системы позиционирования, диспетчеризации и управления парком карьерных автосамосвалов и погрузочной техники в карьерах железорудных месторождений.

Автоматизированные системы управления карьерным транспортом и погрузочной техникой позволяют минимизировать простои карьерного транспорта, сократить расходы топлива, снизить эмиссии, оптимизировать движение грузопотоков в сложной

транспортной сети карьера. Достигается повышение эффективности работы карьерного транспорта и погрузочной техники. Используется метод, приведенный в таблице 5.1.

Таблица 5.1 — Описание НДТ 4

Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
Централизованная система управления карьерным транспортом и погрузочной техникой	Увеличение производительности оборудования на 10 %	При производительности карьера не менее 10 млн $м^3$/г по горной массе

НДТ 5. Применение большегрузной карьерной техники

НДТ состоит в применении большегрузной карьерной техники для добычи и транспортировки горной массы в железорудных карьерах. Происходит увеличение размеров ковшей экскаваторов, погрузчиков, пропорциональное увеличение грузоподъемности большегрузных автосамосвалов с сохранением оптимального соотношения количества ковшей для погрузки одного самосвала.

Переход на большегрузную технику позволит уменьшить удельные эксплуатационные затраты на экскавацию и транспортировку горной массы в железорудных карьерах. Уменьшение количества единиц технологического оборудования в карьере, снижение эмиссий в окружающую среду, снижение энергопотребления и потребления топлива в процессах экскавации и транспортировки горной массы в железорудных карьерах. Используется метод, приведенный в таблице 5.2.

Таблица 5.2 — Описание НДТ 5

Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
Переход на большегрузную карьерную технику	Увеличение производительности оборудования на 10 %	Применим для карьеров, геометрические размеры которых позволяют ее размещение и работу. Возможность вести селективную добычу руды и вскрыши в приконтактных зонах. Экономическая целесообразность

НДТ 6. Снижение неорганизованных эмиссий при погрузке и транспортировке горной массы из карьеров

НДТ состоит в уменьшении неорганизованных выбросов, образующихся при транспортировке горной массы из карьеров. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.3.

Таблица 5.3 — Описание НДТ 6

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Орошение водой экскаваторных забоев	Снижение загрязнения атмосферного воздуха пылью до 10 г/т добываемой горной массы	Применим при температуре окружающего воздуха выше 0 °С
2	Пылеподавление автомобильных карьерных дорог путем полива водой		
3	Использование специальных связующих добавок в воду в процессах пылеподавления карьерных дорог		Применим при технической возможности и экономической целесообразности
4	Проведение замеров дымности и токсичности автотранспорта и контрольно-регулировочных работ топливной аппаратуры	Снижение выбросов газов CO, SO_2, NO_x до 5 %	

НДТ 7. Снижение неорганизованных эмиссий при проведении буровых работ в карьерах

НДТ состоит в уменьшении неорганизованных эмиссий, образующихся при ведении буровых работ в карьерах. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.4.

Таблица 5.4 — Описание НДТ 7

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Позиционирование буровых станков в реальном времени	Увеличение производительности оборудования до 5 %. Снижение повторного бурения скважин, нарушения сетки. Отсутствие перебуров. Снижение выхода негабарита	Экономическая целесообразность
2	Автоматизированные системы контроля (датчики) глубины скважины		Техническая возможность оснащения оборудования
3	Пылеподавление обуриваемых блоков с применением воды		
4	Пылеподавление обуриваемых блоков с применением вяжущих растворов		Техническая возможность и экономическая целесообразность

НДТ 8. Снижение неорганизованных эмиссий при проведении взрывных работ в карьерах

НДТ состоит в уменьшении неорганизованных эмиссий, образующихся при взрывании горной массы в карьерах. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.5.

Таблица 5.5 — Описание НДТ 8

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Уменьшение количества взрывов путем укрупнения взрывных блоков		Допустимые геометрические размеры карьера. Горно-геологические условия
2	Применение взрывчатых веществ с кислородным балансом близким к нулю	Снижение выбросов газов CO, NOx в 2 раза по сравнению со штатным ВВ	
3	Использование зарядных машин с датчиками контроля подачи взрывчатых веществ	Отсутствие перерасхода ВВ	Техническая возможность оснащения оборудования
4	Частичное взрывание на «подпорную стенку» в зажиме		При допустимых горно-геологических условиях
5	Экскавация пород рыхлой вскрыши без предварительного буровзрывного рыхления	Отсутствие выбросов газов при взрывании	При допустимых горно-геологических условиях
6	Использование гидрозабойки, укладка над скважинами емкостей с водой		Экономическая целесообразность
7	Использование инертной забойки скважин не менее 16 %	Снижение выбросов пыли в атмосферу до 10 г/т добываемой горной массы	
8	Использование естественной обводненности горных пород и взрываемых скважин	Снижение выбросов пыли в атмосферу до 10 г/т добываемой горной массы	При допустимых горно-геологических условиях

НДТ 9. Снижение эмиссий при процессах отвалообразования

НДТ состоит в уменьшении эмиссий, образующихся при процессах отвалообразования. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.6.

Таблица 5.6 — Описание НДТ 9

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Сбор сточных вод, собирающихся на площадях отвалов, в гидротехнические сооружения	Исключение попадания сточных вод в природные водные объекты	
2	Вовлечение сточных вод в оборотный цикл технического водоснабжения	Снижение использования природных вод на промышленные нужды	При технической возможности
3	Перекачка сточных вод из гидротехнических сооружений при отвалах в хвостохранилище	Исключение сброса сточных вод	При технической возможности
4	Устройство лесозащитной полосы по границе земельного отвода вдоль отвалов рыхлой вскрыши (посадка деревьев)	Снижение пыления до 55 г пыли/т горной массы, поступающей в отвалы	При отсутствии естественной лесозащиты

НДТ 10. Производственный процесс добычи железных руд подземным способом

НДТ состоит в эффективном технологическом процессе добычи железных руд путем проведения системы подземных выработок под толщей перекрывающих пород (см. 2.2.).

НДТ 11. Проведение горных выработок и применение систем отработки с использованием современного высокопроизводительного самоходного оборудования

НДТ состоит в переходе на современную высокопроизводительную горную технику для бурения, крепления, добычных операций и транспортировки горной массы в подземных условиях отработки железорудных месторождений. Обеспечивает значительное снижение доли постоянных затрат, безопасность, эргономику, комфортные условия работы для операторов и обслуживающего персонала, экономию энергоресурсов и материалов (см. таблицу 5.7).

Таблица 5.7 — Описание НДТ 11

Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
Оборудование обладает высоким уровнем производительности и автоматизации технологических процессов, что позволяет увеличивать темпы добычи и концентрировать горные работы	Повышение производительности на 20 % — 50 %	При допустимых горно-геологических условиях. Экономическая целесообразность

Основные преимущества современного самоходного оборудования — улучшение безопасности и производительности, минимизация потерь и разубоживания руды, эргономика и комфортные условия. Эксплуатация установок очистного бурения с высоким уровнем автоматизации технологического процесса и позиционированием позволяет достичь беспрецедентно высокой производительности, точности и прямолинейности скважин. Передовые механизированные комплексы для установки анкеров, нанесения бетонных смесей обеспечивают оперативное крепление значительных площадей обнажений горных выработок, в большинстве случаев позволяют вытеснить тяжелые виды крепей и использование крепежного леса, деревянных затяжки и забутовки. Машины для бурения восстающих вертикальных и наклонных скважин круглого сечения диаметром до 3000 мм длиной до 100 м в длину и под углом до 70° способны бурить по очень крепким породам и идеально подходят для сооружения рудоспусков, вентиляционных скважин, ходков и т. п. (без применения взрывных работ). Погрузочно-доставочные машины способны преодолевать большие уклоны и быстро перемещаться на существенные расстояния, обеспечивать высокую производительность с низкой удельной себестоимостью погрузки и транспортирования. ПДМ и буровые установки с электрическим приводом используют экологически чистую электрическую энергию и обеспечивают лучшие условия труда за счет отсутствия выхлопных газов, меньшего уровня вибраций и шума. Кроме того, снижаются требования к вентиляции выработок, происходит сокращение расходных материалов, таких как моторное масло и фильтры, увеличиваются интервалы между техническим обслуживанием.

НДТ 12. Использование современных износостойких материалов

НДТ состоит в применении износостойких элементов и накладок на рабочие органы горного оборудования и обеспечивает дополнительную конструкционную прочность и износостойкость, а также повышают коэффициент технической готовности машин и оборудования. Применение буровых коронок и штанг из современных высокопрочных сплавов позволяет достичь высокой производительности и точности бурения, снижения себестоимости (см. таблицу 5.8).

Таблица 5.8 — Описание НДТ 12

Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
Высокопрочные сплавы, износостойкие материалы	Снижение себестоимости на 3 % — 10 %	

НДТ 13. Снижение нагрузки на окружающую среду путем сокращения отвалов пустых пород

НДТ состоит в сокращении объемов размещаемых на постоянное хранение пустых пород и/или хвостов обогащения, используя их для заполнения подземных пустот рудника и воронок обрушения на поверхности (см. таблицу 5.9).

Таблица 5.9 — Описание НДТ 13

Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
Сухая закладка, гидравлические закладочные смеси (сгущенная пульпа, пастообразный материал) с твердеющими добавками (или без них) (например, цемент, доменный шлак, зола)	Сокращение отвалов пустых пород на 15 % — 40 %	При допустимых горно-геологических условиях. Экономическая целесообразность

НДТ 14. Частотное регулирование приводных двигателей установок главного и вспомогательного проветривания и водоотлива для подземной добычи

НДТ состоит в применении частотного регулирования угловой скорости вращения электропривода с асинхронным (синхронным) двигателем и позволяет в широком интервале плавно изменять обороты вращения как выше, так и ниже номинальных значений для насосного и вентиляторного привода. Способствует использованию оборудования с оптимальным КПД, экономии электроэнергии, понижению затрат на эксплуатацию и повышению сроков службы электрической и механической части оборудования (см. таблицу 5.10).

Таблица 5.10 — Описание НДТ 14

Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
Системы из основного и вспомогательного оборудования технических и программных средств, служащих для выполнения действий по частотному регулированию в технологических процессах проветривания и водоотлива	Экономия электроэнергии на 5 % — 20 %	Экономическая целесообразность

НДТ 15. Использование неэлектрических систем инициирования для ведения взрывных работ в подземных условиях

НДТ состоит в применении системы устройств и методов передачи неэлектрического инициирующего импульса от первичного инициатора через ударно-волновую трубку к промежуточному неэлектрическому детонатору. Неэлектрические системы инициирования в сравнении с традиционными обусловлены более высокой надежностью, безопасностью и позволяют создавать схемы короткозамедленного взрывания зарядов с высокими возможностями управления энергией взрыва.

Таблица 5.11 — Описание НДТ 15

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Неэлектрические волноводные системы взрывания нечувствительны к блуждающим и другим посторонним токам.	Надежность, безопасность	

НДТ 16. Снижение эмиссий в процессах дробления и грохочения железных руд

НДТ состоит в уменьшении эмиссий, образующихся в процессах дробления и грохочения дробленой руды. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.12.

Таблица 5.12 — Описание НДТ 16

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Использование аспирационных установок с эффективностью пылеулавливания не ниже 90 % в корпусах дробления, грохочения руды, а также в местах перегрузок на конвейерном транспорте	Снижение выбросов пыли в окружающую среду ниже 40 г/т руды	Наличие площадей для размещения установок очистки аспирационного воздуха в непосредственной близости с производственным корпусом или непосредственно в корпусе
2	Организация системы оборотного технического водоснабжения дробильно-сортировочных фабрик, отделения дробления, обогатительных фабрик	Исключение сбросов сточных вод в окружающую среду	

НДТ 17. Производственный процесс обогащения железных руд методом измельчения с последующим разделением полезного компонента и пустой породы

НДТ состоит в эффективном, экологически чистом технологическом процессе производства железорудного сырья из руды с низким содержанием железа (ниже 50 %) путем измельчения и последующего отделения полезного компонента и пустой породы (см. 2.3).

НДТ 18. Обеспечение стабильности производственного процесса обогащения, снижение энергетических и материальных затрат в технологии обогащения

НДТ состоит в эффективном использовании измельчительного и обогатительного оборудования, мониторинге эмиссий. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.13.

Таблица 5.13 — Описание НДТ 18

	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Мокрое самоизмельчение железных руд путем применения мельниц самоизмельчения диаметром от 4,6 до 11 м объемом от 45 до 460 м^3 и рудно-галечные мельниц	Отсутствие выбросов пыли	Применимо при использовании одной стадии крупного дробления руд
2	Мокрое измельчение железных руд путем применения мельниц с мелющими телами	Отсутствие выбросов пыли	Применимо при использовании более двух стадий дробления руд, а также для доводки измельченного концентрата
3	Классификация измельченных частиц руды с помощью мокрого вибрационного тонкого грохочения, в двухспиральных классификаторах, гидроциклонах	Снижение энергетических затрат до 10 %, исключение переизмельчения	Применимо при наличии производственных площадей и соответствующих свойств измельчаемой руды
4	Обогащение железных руд методом магнитной сепарации с использованием барабанов диаметром более 90 см	Снижение энергетических затрат до 10 %	
5	Обезвоживание концентратов с помощью керамических вакуум-фильтров	Снижение удельных энергетических затрат на 5 %	Применимо при отсутствии металлических частиц в концентрате при технологической целесообразности, наличии производственных площадей
6	Применение магнитной дешламации перед магнитной сепарацией	Снижение энергетических затрат на 4 % — 7 %	Применимо для магнетитовых концентратов при технологической целесообразности
7	Применение сгустителей перед фильтрованием	Повышение качества концентрата, снижение энергетических затрат до 3 %	Применимо при наличии производственных площадей для установки сгустителя и при технологической целесообразности

	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
8	Применение высокоэффективных (с эффективность очистки выше 95 %) установок газоочистки от пыли в процессах сушки концентрата	Снижение выбросов пыли до 40г/т сушеного концентрата в отходящих газах	Применимо в процессах сушки концентрата до влажности ниже 5%

НДТ 19. Процесс окускования железорудного сырья путем производства обожженных окисленных окатышей

НДТ состоит в энергетически эффективном и экологически чистом способе окускования железорудного сырья, термической обработке окускованного сырого материала – сырых окатышей на обжиговых машинах конвейерного типа (см. п. 2.4).

НДТ 20. Обеспечение стабильности производственного процесса окускования, снижение энергетических и материальных затрат в технологии производства обожженных окатышей

НДТ состоит в эффективном использовании оборудования фабрик окомкования, снижении тепловых потерь, энергетических затрат и мониторинге эмиссий. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.14.

Таблица 5.14 — Описание НДТ 20

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Применение неформованных огнеупорных материалов для футеровки обжиговых машин	Снижение расхода топлива на 5 % — 10 %, повышение КИО на 3 % — 5 %	Применим при технологической целесообразности
2	Использование конструкции переточного коллектора с переменным сечением, или нескольких переточных коллекторов	Снижение расхода топлива на 5 % — 10 %	Применимо при реконструкции действующих обжиговых машин, при проектировании новых, при отсутствии геометрических ограничений
3	Применение электрофильтров или других пылегазоочистных установок с низким газодинамическим сопротивлением, с эффективностью пылеулавливания не ниже 95 % для очистки газовых потоков с обжиговой машины	Снижение выбросов пыли отходящих газов до 600 г/т готовой продукции	Применимо при наличии производственных площадей для размещения установок пылеочистки

Окончание таблицы 5.14

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
4	Применение инжекционных горелок или горелочных устройств со сниженным образованием NOx	Снижение загрязняющих газовых выбросов (оксидов азота) на 10 % — 50 %	Применимо при реконструкции действующих обжиговых машин, использующих в качестве топлива природный газ, или при проектировании новых с использованием природного газа

НДТ 21. Производство железорудного сырья с высоким содержанием железа металлического по технологии прямого восстановления железа в шахтных печах металлизации

НДТ состоит в способе производства железорудного сырья с высоким содержанием чистого железа для сталеплавильных печей, минуя аглодоменное производство. Металлизованное сырье отличается высокой чистотой по примесям цветных металлов, используется для выплавки высококачественных сталей. Наибольшее распространение получили технологии MIDREX и HYL-III, отличающиеся высокой производительностью, относительно низкими энергетическими затратами (см. 2.5).

НДТ 22. Обеспечение стабильности производственного процесса прямого восстановления железа, снижение энергетических и материальных затрат в технологии производства металлизованного сырья

НДТ состоит в эффективном использовании оборудования установок металлизации, снижении энергетических затрат и мониторинге эмиссий. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.15.

Таблица 5.15 — Описание НДТ 22

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Применение труб реформера из металла высокотемпературной стойкости	Повышение межремонтного цикла реформера, повышение производительности установки металлизации до 1 %	Применим при технологической целесообразности
2	Применение кислородной инжекции на установках металлизации	Повышение производительности установки металлизации на 5 % — 15 %, снижение удельных энергетических затрат на 2 % — 5 %	Применимо при наличии или строительстве воздухоразделительной установки

Окончание таблицы 5.15

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
3	Применение конвейеров медленного охлаждения при производстве горячебрикетированного железа	Повышение прочностных свойств ГБЖ на 5 % — 10 %, снижение образования мелочи при транспортировке	Применимо при наличии производственных площадей на действующих установках или при строительстве новых

НДТ 23. Снижение неорганизованных выбросов загрязняющих веществ в процессах переработки железных руд

НДТ состоит в снижении пыления отвалов рыхлой вскрыши, хвостохранилища, складов готовой продукции. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.16.

Таблица 5.16 — Описание НДТ 23

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Устройство лесозащитной полосы по границе земельного отвода на отвалах рыхлой вскрыши (посадка деревьев)	Снижение пыления отвалов до 55 г пыли/т горной массы, поступающей в отвал	Применим при отсутствии естественной лесозащиты, за исключением районов Крайнего Севера
2	Применение орошения пылящих площадей хвостохранилища водой	Соблюдение гигиенических нормативов в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны	
3	Применение орошения пылящих площадей хвостохранилища с использованием закрепляющих растворов с реагентами	Соблюдение гигиенических нормативов в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны	Применим при отсутствии возможности постоянного орошения оборотной, грунтовой или поверхностной водой
4	Применение пылеподавляющих материалов на технологических автодорогах	Соблюдение гигиенических нормативов в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны	Применим при отсутствии возможности орошения оборотной, грунтовой или поверхностной водой

Окончание таблицы 5.16

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
5	Орошение автодорог, складов готовой продукции, промежуточных складов сырья	Снижение пыления до 60 г пыли/т хвостов	Применим при отсутствии ограничений на взаимодействия материалов с водой
6	Санитарно-гигиеническая и биологическая рекультивация откосов дамб хвостохранилища: суглинком, черноземом, щебнем или скальным грунтом и/или биологическая рекультивация	Снижение пыления до 60 г пыли/т хвостов	

НДТ 24. Рециклинг железосодержащих шламов

НДТ состоит в использовании железосодержащих шламов в качестве шихтового материала при производстве железорудных окатышей или товарной продукции. Использование метода, приведенного в таблице 5.17.

Таблица 5.17 — Описание НДТ 24

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Возврат железорудных шламов в технологический процесс переработки железных руд или его использование в качестве товарного продукта	Снижение затрат материальных ресурсов	Применим при наличии железорудных шламов, экономической целесообразности их возврата в технологический процесс

НДТ 25. Снижение сбросов сточных вод в процессах добычи и переработки железных руд

НДТ состоит в снижении сбросов сточных вод. Использование хотя бы одного из методов, приведенных в таблице 5.18.

Таблица 5.18 — Описание НДТ 25

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
1	Организация систем оборотного водоснабжения во всех переделах производства железорудного сырья	Исключение сбросов загрязненной воды	Применим при экономической целесообразности

№ п/п	Метод/оборудование	Показатели	Ограничения в использовании
2	Максимально возможное использование подземно-дренажных вод в оборотной системе технического водоснабжения предприятия	Минимизация сбросов дренажных вод, снижение потребления чистой воды из природных водных объектов	Применим в зависимости от качественных показателей дренажной воды и требований оборотных циклов
3	Очистка минерализованных карьерных и шахтных вод с их включением в систему технического оборотного водоснабжения	Минимизация сбросов шахтных и карьерных вод, снижение потребления чистой воды из природных водных объектов	Применим при технологической целесообразности

Раздел 6. Экономические аспекты реализации НДТ

Экономические сведения, характеризующие применение тех или иных решений, которые рассматриваются в качестве «кандидатов» для включения в перечень наилучших доступных технологий, крайне сложно собрать и систематизировать. Более того, экономические показатели не удается соотнести с экстернальными затратами, затратами общества на возмещение вреда, который может быть нанесен окружающей среде и здоровью человека.

Поэтому в данном разделе представлены сведения о затратах компаний, применяющих наиболее распространенные решения, направленные на предотвращение, сокращение негативного воздействия и на повышение ресурсоэффективности. В тех случаях, когда представилась возможность отнести затраты к единице оборудования, к единице площади рудника и пр., в таблице 6.1 приведены соответствующие разъяснения.

Таблица 6.1 — Экономические аспекты реализации НДТ

№ п/п	Метод/оборудование/мероприятие	Эффект	Затраты, тыс. руб.
1	Обеспечение складирования хвостов под воду и орошение пылящих пляжей хвостохранилища с целью предотвращения их пыления	Снижение пыления до 60 г пыли/т хвостов	857,5

№ п/п	Метод/оборудование/мероприятие	Эффект	Затраты, тыс. руб.
2	Покрытие суглинком (гидроспособом) временно неэксплуатируемых отсеков хвостохранилища для исключения пыления	Исключение пыления пропорционально площади источника	65,5
3	Биологическая рекультивация отработанных участков хвостохранилища, отвала рыхлой вскрыши (многолетними травами, посадка сеянцев акации или черенков облепихи)	Исключение пыления пропорционально площади источника	1,4
4	Пылеподавление обуреваемых блоков с применением воды и вяжущих растворов	Снижение загрязнения атмосферного воздуха пылью до 10 г/т добываемой горной массы	10,3
5	Полив экскаваторных забоев, автодорог в карьере, на территории РУ, ЦХХ ОФ, УЭК и ООС, ДСФ	Снижение загрязнения атмосферного воздуха пылью до 10 г/т добываемой горной массы	67,1
6	Применение орошения пылящих площадей хвостохранилища закрепляющим раствором реагента	Снижение пыления до 60 г пыли/т хвостов	41,9
7	Применение пылеподавляющего материала на автодорогах карьера, ДСФ, ЦХХ ОФ, РУ	Соблюдение гигиенических нормативов в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны	12,5
8	Рекреационные посадки из древесно-кустарниковых культур и многолетних трав на территориях, закрепленных за структурными подразделениями	Сокращение вторичного пылеобразования	9,8
9	Санитарно-гигиеническая рекультивация откосов дамб хвостохранилища: суглинком черноземом	Исключение пыления пропорционально площади источника	3,9
10	Использование ВВ с кислородным балансом, близким к нулю	Снижение выбросов газов CO, NO_x в 2,5 раза по сравнению со штатным ВВ	499,5

Продолжение таблицы 6.1

№ п/п	Метод/оборудование/мероприятие	Эффект	Затраты, тыс. руб.
11	Установка систем аспирации с пылеулавливанием в корпусах дробления, на перегрузках, в других цехах	Снижение выбросов пыли, улучшение условий труда на рабочем месте	0,1–0,6 на 1 $м^3$/ч очищаемого газа, в зависимости от типа применяемого оборудования
12	Организация системы оборотного технического водоснабжения	Исключение загрязняющих выбросов в природные водные объекты	8–25 на 1 $м^3$/ч очищенной воды
13	Мельница мокрого самоизмельчения ММС производительностью 280 -320 т/ч по руде	Производство концентрата с высоким содержанием железа	200 000–220 000 (оборудование, без учета СМР)
14	Мельница шарового измельчения МШЦ производительностью 110 -130 т/ч по концентрату	Достижение требуемой степени измельчения без загрязняющих выбросов	220 000–250 000 (оборудование)
15	Применение вибрационных грохотов тонкого грохочения в обогатительном переделе	Снижение энергозатрат, повышение качества продукции	30000–35000 (оборудование)
16	Применение магнитных сепараторов с использование барабанов диаметром более 90 см	Повышение производительности и снижение энергозатрат	1500–2700 (1 ед. оборудования)
17	Применение магнитной дешламации	Снижение энергетических затрат, снижение содержания железа в «хвостах»	180 000–200 000 (1 ед. оборудования)
18	Применение сгустителей	Снижение энергетических затрат, повышение однородности готового концентрата	100 000–250 000 (1 сгуститель с учетом СМР в зависимости от диаметра)
19	Применение неформованных огнеупорных материалов для футеровки обжиговых машин	Снижение тепловых потерь, снижение удельных расходов газа и соответственно загрязняющих выбросов. Снижение эксплуатационных затрат, повышение КИО оборудования	75–80 (средняя стоимость 1 $м^2$)

Окончание таблицы 6.1

№ п/п	Метод/оборудование/мероприятие	Эффект	Затраты, тыс. руб.
20	Применение переточного коллектора переменного сечения	Повышение эффективности утилизации тепла, снижение удельных расходов газа	120 000–150 000 (для реконструкции)
21	Применение электрофильтров для очистки газовых потоков с обжиговой машины	Снижение выбросов пыли, повышение производительности обжиговой машины, снижение энергетических затрат	190 000–250 000 (оборудование)
22	Применение инжекционных горелок или горелочных устройств со сниженным образованием NO_x	Снижение или полное исключение выбросов оксидов азота, снижение расхода газа	7000–10 000 (в расчете на одно газогорелочное устройство)
23	Применение труб реформера из металла высокотемпературной стойкости	Повышение производительности установки металлизации, снижение энергозатрат	1200–1300 (в расчете на одну трубу)
24	Применение кислородной инжекции на установках металлизации	Повышение производительности установки металлизации	34 500–40 000 (без учета строительств кислородной станции)
25	Применение конвейеров медленного охлаждения при производстве горячебрикетированного железа	Повышение прочностных свойств ГБЖ, снижение скорости вторичного окисления	83 000–85 000 (в расчете на один конвейер производительностью 120–140 т/ч)
26	Применение десульфураторов перед реформером на установках MIDREX	Снижение содержания серы в готовом продукте, возможность использования окатышей с повышенным содержанием серы	25 000–30 000 (оборудование — 1 сосуд)
27	Устройство лесозащитной полосы по границе земельного отвода на отвалах рыхлой вскрыши (посадка деревьев)	Снижение пыления отвалов	650–950 (на 1 га лесополосы)

Раздел 7. Перспективные технологии

В процессе подготовки справочника НДТ составители и члены ТРГ 25 проанализировали целый ряд новых технологических, технических и управленческих) решений, которые обсуждаются как в зарубежных странах, так и в России. Это решения, направленные на повышение эффективности производства, сокращение негативного воздействия на окружающую среду, оптимизацию ресурсопотребления. Они еще не получили широкого распространения, и надежными сведениями о внедрении их на двух российских предприятиях составители справочника не располагают.

Далее в тексте эти решения описаны применительно к добыче и обогащению железных руд.

7.1 Перспективные технологии в области добычи железных руд

7.1.1 Конвейерный транспорт

Применение конвейерного транспорта при транспортировке горной массы из железорудных карьеров (см. рисунки 7.1, 7.2). В настоящее время крупные железорудные карьеры вывозят горную массу из карьеров автомобильно-железнодорожным транспортом. Горная масса из забоев грузится на автомобильный транспорт, везется на перегрузочные пункты, где вновь погрузочными машинами (экскаваторы, погрузчики) грузится на железнодорожный транспорт, который в свою очередь транспортирует ее из карьера: руду — на фабрику, вскрышные породы — на отвалы. Переход на конвейерный транспорт позволит снизить неорганизованные выбросы перегрузочных пунктов, уменьшив их количество или вообще исключив, позволит снизить количество одновременно работающей погрузочной техники, снизить количество технологических поездов и эксплуатационные затраты на транспортировку горной массы. Предпроектные проработки показывали снижение эксплуатационных затрат при транспортировке 1 т на 1 км более чем на 25 %.

Рисунок 7.1 — Транспортирование руды конвейером (Чили)

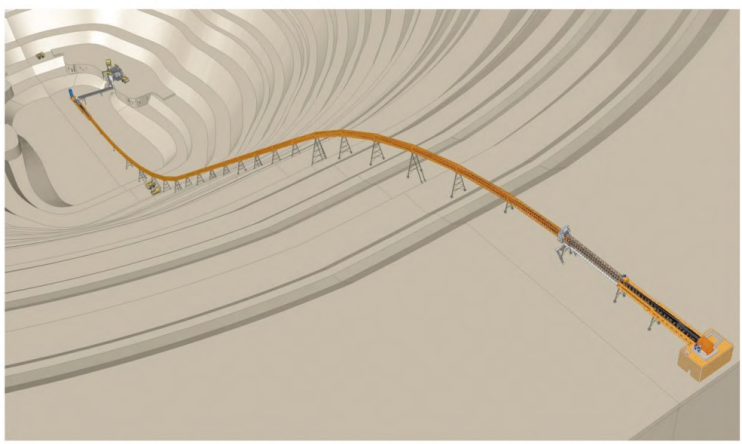


Рисунок 7.2 — Трехмерная схема крутонаклонного конвейера из карьера

7.1.2 Беспилотные автосамосвалы

В настоящее время на железорудных предприятиях Западной Австралии действует несколько карьеров с полностью беспилотными большегрузными автосамосвалами. Самосвалы работают в режиме 24/7 ежедневно в течение года, что экономит недропользователю 500 ч работы в год. Грузовики управляются дистанционно из операционного центра в Перте, который находится от Пилбары в 1200 км. Каждый карьерный робот-самосвал весом в 500 т двигается со скоростью 50 км/ч — почти в 2 раза выше, чем у опытных водителей. Точность ориентации роботов — 1–2 см. Отсутствует время на пересменки, обеды. Все это дает повышение производительности, снижение простоев, снижение удельных расходов топлива и снижение удельных выбросов.

Рисунок 7.3 — Схема управления беспилотными автосамосвалами

7.1.3 Беспилотные тяговые агрегаты

Применение беспилотных тяговых агрегатов внутри карьеров и на поверхности. Отсутствует время на пересменки, обеды. Все это дает повышение производительности, снижение простоев, снижение удельных расходов электроэнергии. Повышение надежности работы оборудования за счет исключения нарушений технологической дисциплины, превышений скорости, проездов на запрещающий сигнал светофора и т. д. В Rio Tinto (крупнейшей горнодобывающей компании Австралии) подсчитали, что перевод 40 % железнодорожного транспорта на автоматику позволит уменьшить расходы на 2 долл. на тонне железной руды и увеличить ее добычу на 5 %.

7.1.4 Автоматизированная система управления буровыми работами и зарядными машинами

Автоматизированная система управления буровыми работами и зарядными машинами позволит сократить время наведения станков на скважину, позволит формиро-

вать пакет физико-механических характеристик обуриваемого блока, позволит повысить оперативный контроль за техническим состоянием бурового оборудования (см. рисунок 7.4). Полученная с АСУ БР информация позволит в реальном времени корректировать буровые работы на отрабатываемом блоке, а также даст информацию по нижележащему блоку, что позволит существенно повысить качество планирования взрывных работ, снизить расход ВВ и увеличить выход горной массы. Автоматизированное управление зарядными машинами позволит автоматически формировать потребность в зарядке скважины и производстве взрывчатых веществ, сократит перерасход взрывчатых веществ.

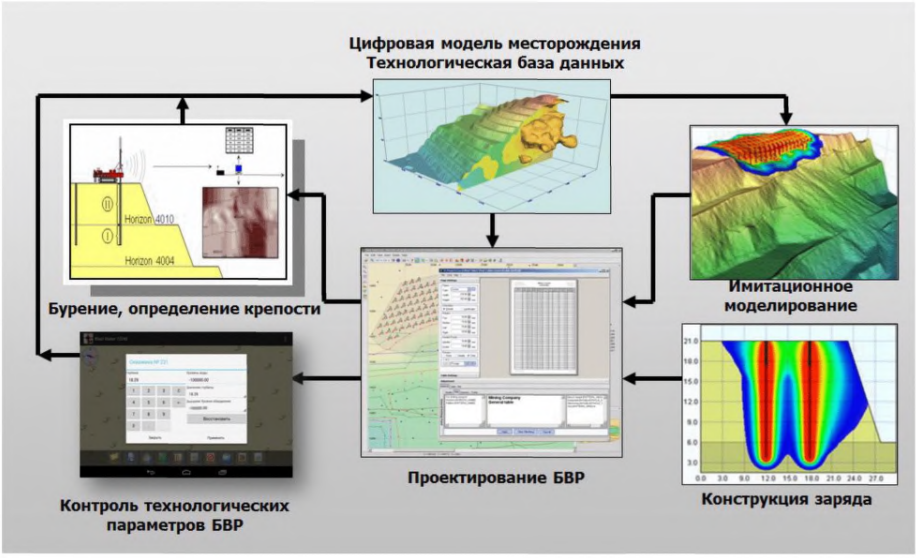


Рисунок 7.4 — Схема автоматизированной системы управления буровыми работами

7.1.5 Применение систем высокоточного позиционирования ковша для забойных экскаваторов

Системы высокоточного позиционирования ковша экскаватора позволят в режиме реального времени с сантиметровой точностью позиционировать ковш экскаватора, обеспечивая высокоточную выемку и формирование проектной формы рельефа (отвалов, уступов, дорог), обеспечит отображение электронных проектов рабочих зон на дисплее оператора, отображение профилей фактической и проектной поверхностей, наложенных друг на друга для контроля достижения проектных значений (см. рисунок 7.5). Данное мероприятие позволит сократить потери и засорение руды, повысить точность выполнения плановых показателей качества, обеспечить необходимый уровень шихтовки. Снижение потребления электроэнергии при производстве добычных работ.

Рисунок 7.5 — Кабина экскаватора, оснащенная системой позиционирования ковша

7.1.6 Применение беспилотных летательных аппаратов для производства маркшейдерских работ

Применение беспилотных летательных аппаратов для производства маркшейдерских работ (см. рисунок 7.6) позволит оперативно решать задачи картирования, оценки объемов горных выработок и отвалов при отработке месторождения открытым способом, повысить контроль за технологическими процессами в реальном времени, повысить качество планирования горных работ, ускорить процесс закрытия периода и подготовки отчетов для контролирующих органов. Данная технология позволит сократить ресурсы для производства маркшейдерских работ.

Рисунок 7.6 — Беспилотный летательный аппарат

7.1.7 Автоматизация процессов добычных работ в подземных условиях

Шахтная автоматизация обеспечит рациональную загрузку парка транспортных средств погрузочно-доставочных операций, оптимизацию параметров откатки, автоматизацию процессов бурения одной или нескольких скважин, вееров или забоя выработки, лучшие условия работы и безопасность, повышение производительности (см. рисунок 7.7).

Безопасность обеспечивается за счет разделения производственной зоны и системы управления. Один оператор может управлять (из безопасного места, в том числе находясь на поверхности) работой многих автоматизированных машин. Производственный цикл погрузки полуавтоматический. Откатка и разгрузка производится под управлением навигационной системы, а наполнение ковша управляется дистанционно. Машины оборудованы бортовой видеосистемой, мобильным терминалом для беспроводной связи и навигационной системой. Процесс включает в себя мониторинг производства и состояния парка в реальном режиме времени, а также контроль движения машин.

Данная технология позволит повысить производительность работ, сократить простои и пересменки оборудования, снизить удельные потребления электроэнергии и ресурсов.

Рисунок 7.7 — Удаленное управление погрузочной машиной

7.1.8 Высокопроизводительная проходка горных выработок

Перспективная технология состоит в использовании проходческих комплексов для быстрой, безопасной и экономически эффективной проходки выработок различных профилей (в том числе малого сечения) по породам и рудам высокой крепости без использования буровзрывных работ.

В настоящее время проводятся полевые испытания на медных и платиновых месторождениях ЮАР.

7.1.9 Использование сплавов и износостойких материалов

Применение легких сплавов и специальных износостойких материалов для изготовления подъемных сосудов и их футеровки. Это обеспечивает существенное снижение веса клетей и скипов, увеличение полезной емкости сосудов и веса поднимаемой горной массы без изменения концевой нагрузки. Увеличение производительности. Позволяет сократить расход электроэнергии и повысить производительность.

7.1.10 Автоматизированный аппаратный контроль состояния ствола, подъемных сосудов, канатов

Система непрерывного аппаратурного контроля позволяет в режиме реального времени осуществлять мониторинг состояния канатов, подъемных сосудов и армировки ствола (см. рисунок 7.8). Использование системы повышает достоверность и оперативность оценки динамических и статических параметров системы «подъемный сосуд — жесткая армировка», канатов шахтных подъемных установок. Контроль осуще-

ствляется без нарушения режимов работы ШПУ, существенно уменьшается время проведения визуального контроля, а также исключается влияние человеческого фактора на оценку фактического состояния оборудования, режимов работы и конструкций. Система автоматизированного мониторинга канатов позволяет повысить эффективность эксплуатации подъемных установок и принимать решения о проведении ремонтных работ по необходимости, позволяет сократить расход электроэнергии и повысить производительность.

Рисунок 7.8 — Система автоматизированного мониторинга каната

7.1.11 Компенсация реактивной мощности

Подключение специальных устройств к электрической сети индуктивных нагрузок позволяет генерировать необходимую реактивную мощность. Это наиболее экономичный, простой и безопасный способ обеспечения требуемой реактивной мощности. Повышение коэффициента мощности обеспечивает:

- снижение или полное отсутствие платы за реактивную мощность;
- увеличение пропускной способности линий электропередач;
- разгрузку распределительных трансформаторов;
- снижение потерь активной мощности до нормального уровня;
- повышение напряжения у потребителей.

7.2 Перспективные технологии в области обогащения железных руд

7.2.1 Обогащение слабомагнитных руд

Перспективные решения в области обогащения слабомагнитных руд включают:

- применение комбинированных гравитационно-магнитных систем; к новым методикам этого типа можно отнести магнитогидродинамическую и магнитогидростатическую сепарацию;

- применение индукционно-роликовых высокоинтенсивных магнитных сепараторов;

- применение сепараторов на основе сверхпроводящих проводников и постоянных магнитов на базе сплава неодим-железо-бор;

- создание трехпродуктовых сепараторов для сухой и мокрой магнитной сепарации с изменяющейся напряженностью магнитного поля по направлению разделения материала;

- создание новых керамических магнитов, обеспечивающих напряженность магнитного поля от 400 до 255 Э.

7.2.2 Измельчение магнетитовых кварцитов

Перспективные решения в области измельчения магнетитовых кварцитов включают:

- создание нового дробильного оборудования, обеспечивающего дробление руды до крупности 12^{-0} в открытом цикле и 6^{-0} мм в замкнутом цикле;

- применение схемы одностадиального самоизмельчения в удлиненных мельницах с двойной и тройной классификацией и доводочными операциями;

- своевременный вывод готового класса крупности из процесса измельчения руды во избежание переизмельчения минерала;

- применение роллер-прессов для дробления железных руд, что позволит увеличить производительность схем самоизмельчения, улучшить качество производимого концентрата при использовании технологии шарового измельчения, снизить удельное потребление электроэнергии при измельчении (см. рисунок 7.9).

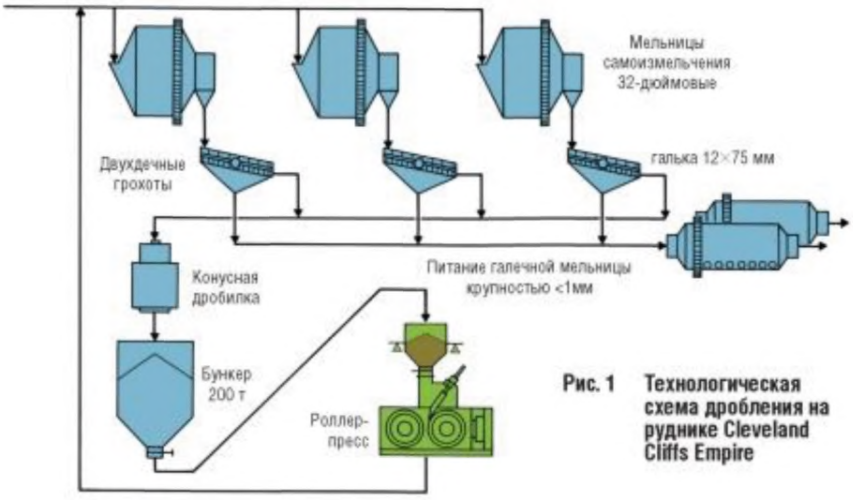


Рисунок 7.9 — Пример размещения роллер-пресса в технологии самоизмельчения

7.2.3 Автоматизация технологического процесса обогащения

Перспективные решения в области автоматизации технологического процесса обогащения включают:

- применение приборов контроля содержания железа в потоке измельченного материала;
- внедрение автоматических и интеллектуальных систем управления технологическим процессом.

7.2.4 Вовлечение в переработку окисленных железистых кварцитов

Перспективные решения в области вовлечения в переработку окисленных железистых кварцитов включают:

- применение магнитно-флотационных методов обогащения — флотационной доводки концентрата после магнитной сепарации;
- применение флотации обесшламленной руды с использованием катионных реагентов аминного состава;
- применение двухстадиальной флотации (см. рисунок 7.10). Железорудный материал, измельченный до крупности 85 % кл. менее 50 мкм, поступает на 1 стадию флотации раскрытых зерен, далее камерный продукт и хвосты поступают на вторую стадию измельчения до крупности 95 % класса менее 50 мкм, проведение второй стадии флотации с выводом пенного продукта в отвал. Концентрат нерудных минералов с первой стадии флотации после перечистки выводится в отвальные хвосты при выходе 45 % — 50 %.

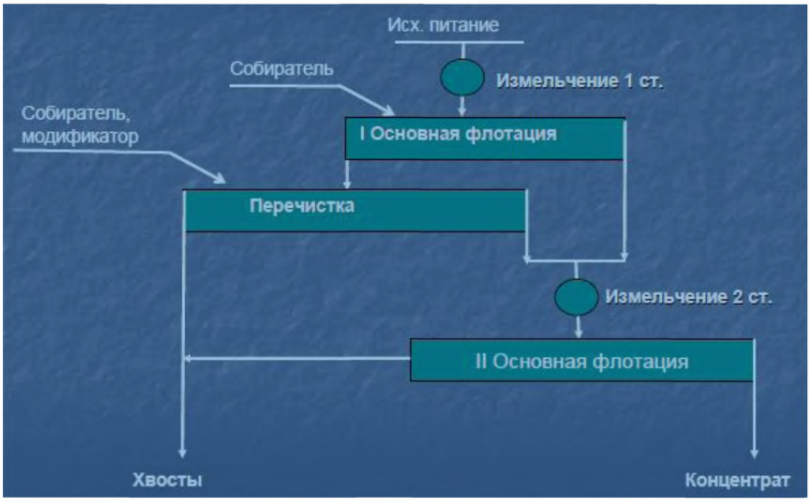


Рисунок 7.10 — Схема двухстадиального флотационного обогащения

7.2.5 Новые технологии складирования хвостов

К перспективным способам складирования хвостов следует отнести сгущение пульпы в сгустителях высокой производительности SUPAFLO. Успешная работа высокопроизводительных сгустителей обычно обеспечивается использованием флокулянтов высокой молекулярной массы полиэлектролитного типа. Данные сгустители отличаются не только высокой производительностью, но и высокой плотностью сгущенного продукта — до 75 % твердого, очень чистым сливом, возможностью автоматического регулирования и контроля процесса сгущения.

К новым технологиям складирования хвостов можно отнести пастовые сгустители (см. рисунок 7.11), которые обеспечивают отсутствие воды на поверхности хвостохранилища, снижение стоимости ограждающих дамб, снижение пылеобразования (см. рисунок 7.12), быструю рекультивацию.

7.3 Перспективные технологии в области окомкования

7.3.1 Совершенствование тепловых схем существующих обжиговых машин

- Применение конструкции переточного коллектора с переменным сечением.
- Применение выносных охладителей окатышей.
- Применение горелочных устройств с низким выходом оксидов азота.
- Перенаправление газовоздушных потоков с целью повышения коэффициента теплового использования обжиговой машины.
- Внедрение систем автоматического управления с оптимизацией режима обжига на основе прогнозных расчетов.

7.3.2 Совершенствование состава шихты для производства окатышей

- Подбор новых связующих и флюсующих материалов с целью улучшения металлургических свойств окатышей.

- Применение полимерных материалов в качестве связующего компонента.

7.4 Перспективные технологии в области прямого восстановления железа

- Применение zero-процесса — технологии восстановления оксидов железа без реформера, с использованием кислородной конверсии природного газа непосредственно в шахтной печи металлизации.

- Применение технологии науглероживания металлизованного продукта с помощью разделения реформированного газа на молекулярных ситах.

- Разработка системы прогнозирования качественных показателей готового продукта на основе текущих показателей процесса восстановления.

- Создание отечественной технологии прямого восстановления железа.

- Внедрение систем автоматического управления с оптимизацией режима работы шахтной печи на основе прогнозных расчетов качественных показателей продукции.

Некоторые решения уже рассматриваются российскими компаниями, разрабатывающими и реализующими программы модернизации. Можно ожидать, что часть из них войдет в категорию наилучших доступных технологий при актуализации настоящего справочника НДТ.

Заключительные положения и рекомендации

Настоящий справочник НДТ подготовлен технической рабочей группой «Добыча и обогащение железных руд» (ТРГ 25). В состав ТРГ 25 входили специалисты практически всех производителей железорудного сырья, сотрудники компаний производителей горно-металлургического и газоочистного оборудования Российской Федерации, представители научно-исследовательских и проектных институтов, специалисты Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Росприроднадзора, Ростехнадзора.

Наиболее активное участие в работе на производственных площадках, сборе, анализе и систематизации информации, а также в написании текста справочника НДТ и его обсуждении приняли специалисты следующих организаций:

- ФГБУ «ВИМС»;
- ООО «ЕвразХолдинг»;
- АО «Лебединский ГОК»;
- ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»;
- ООО УК «Металлоинвест»;
- ПАО «Михайловский ГОК»;
- ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»;
- ПАО «ГМК «Норильский никель»;
- АО «ОЭМК»;
- НП «Русская сталь».

При подготовке справочника НДТ были использованы материалы, полученные от российских горнодобывающих, горно-обогатительных и металлургических комбинатов, в ходе обмена информацией, организованного Бюро НДТ в 2017 г. Разработчики справочника НДТ учитывали также результаты научно-технических работ, получивших отражение в открытой печати и в диссертационных работах, маркетинговых исследований.

Кроме того, использовались зарубежные материалы, в том числе справочные документы и руководства: Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities (2009), Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production (2012), Comprehensive Industry Document on Iron Ore Mining (2007).

При этом следует отметить, что отраслевой информационно-технический справочник «Добыча и обогащение железных руд» не имеет прямых зарубежных аналогов и по сути своей является пионерным документом, который может и должен поэтапно совершенствоваться.

Общее заключение, которое можно сделать в результате подготовки справочника, состоит в том, что производители железорудного сырья активно занимаются внедрением современных технологических процессов и оборудования, разрабатывают программы повышения энергетической эффективности и экологической результативности производства. В то же время обоснование выбора технологических показателей НДТ представляло собой весьма сложную задачу, так как с геологической точки зрения предприятия во многом уникальны и провести бенчмаркинг экологической результативности и энергоэффективности в полном смысле этого слова практически невозможно.

Рекомендации составителей справочника НДТ можно сформулировать следующим образом.

1) Для продвижения идеи перехода к наилучшим доступным технологиям необходимо организовать масштабную информационно-просветительскую кампанию и систему подготовки (повышения квалификации, дополнительного профессионального образования) кадров. Обсуждение сути перемен призвано подготовить к ним предприятия и разъяснить основные мотивы и стимулы экологической модернизации отечественной экономики.

2) Для обеспечения своевременного получения предприятиями, относящимися к области применения настоящего справочника НДТ, целесообразно подготовить отраслевые документы, детализирующие и разъясняющие требования к расчету основанных на требованиях НДТ технологических нормативов, порядку организации производственного экологического контроля (в том числе с использованием автоматических средств контроля).

3) Направления актуализации настоящего справочника НДТ могут быть сформулированы по мере накопления опыта практического использования его российскими предприятиями, отнесенными к категории объектов применения наилучших доступных технологий.

Приложение А
(справочное)

Сфера распространения справочника НДТ

ОКПД 2	Наименование продукции по ОК 034—2014 (ОКПД)	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
		Добыча железных руд подземным способом	07.10.1
		Добыча железных руд открытым способом	07.10.2
		Обогащение и агломерация железных руд	07.10.3
07.10.10.110	Руда железная сырая		
07.10.10.120	Руда железная товарная необогащенная		
07.10.10.130	Концентрат железорудный		
07.10.10.131	Концентрат железорудный с массовой долей железа не менее 69,5 %		
07.10.10.132	Концентрат железорудный с массовой долей железа не менее 65 %		
07.10.10.133	Концентрат железорудный с массовой долей железа от 63 % до 65 %		
07.10.10.134	Концентрат железорудный с массовой долей железа менее 63 %		
07.10.10.145	Концентрат железорудный товарный		
07.10.10.146	Концентрат железорудный, профилактированный известью		
07.10.10.150	Окатыши железорудные (окисленные)		
07.10.10.151	Окатыши железорудные офлюсованные		
07.10.10.152	Окатыши железорудные неофлюсованные		

ОКПД 2	Наименование продукции по ОК 034—2014 (ОКПД)	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
		Производство продуктов прямого восстановления железной руды и губчатого железа	24.10.13
24.10.13.110	Горячебрикетированное железо		
24.10.13.110	Окатыши металлизованные, термически пассивированные		

Приложение Б
(обязательное)

Перечень маркерных веществ

Для атмосферного воздуха	Для водных объектов
Открытая добыча железных руд	
Пыль	–
Подземная добыча железных руд	
Пыль	–
Обогащение железных руд	
Пыль	–
Окускование	
Пыль	–
Азота оксиды NO_x	–
Производство железа прямого восстановления	
Пыль	–
Азота оксиды NO_x	–
Серы диоксид SO_2	–

Приложение В
(обязательное)

Перечень НДТ

№ НДТ/ пункт	Наименование НДТ	Ограничения в использовании
1	Системы экологического менеджмента и их инструменты	
2	Системы энергетического менеджмента и их инструменты	
3	Производственный процесс добычи железных руд открытым способом	
4	Централизованная система управления карьерным транспортом и погрузочной техникой	При производительности не менее 10 млн $м^3$/год по горной массе
5	Применение большегрузной карьерной техники	Применим для карьеров, геометрические размеры которых позволяют ее размещение и работу. Возможность вести селективную добычу руды и вскрыши в приконтактных зонах. Экономическая целесообразность
6	Снижение неорганизованных эмиссий при погрузке и транспортировке горной массы из карьеров	
6/1	Орошение водой экскаваторных забоев	
6/2	Пылеподавление автомобильных карьерных дорог путем полива водой	
6/3	Использование специальных связующих добавок в воду в процессах пылеподавления карьерных дорог	Техническая возможность и экономическая целесообразность
6/4	Проведение замеров дымности и токсичности автотранспорта и контрольно-регулировочных работ топливной аппаратуры	
7	Снижение неорганизованных эмиссий при проведении буровых работ в карьерах	
7/1	Позиционирование буровых станков в реальном времени	Экономическая целесообразность
7/2	Автоматизированные системы контроля (датчики) глубины скважины	Техническая возможность оснащения оборудования

№ НДТ/ пункт	Наименование НДТ	Ограничения в использовании
7/3	Пылеподавление обуриваемых блоков с применением воды	
7/4	Пылеподавление обуриваемых блоков с применением вяжущих растворов	Техническая возможность и экономическая целесообразность
8	Снижение неорганизованных эмиссий при проведении взрывных работ в карьерах	
8/1	Уменьшение количества взрывов путем укрупнения взрывных блоков	Допустимые геометрические размеры карьера, горно-геологические условия
8/2	Применение взрывчатых веществ с кислородным балансом, близким к нулю	
8/3	Использование зарядных машин с датчиками контроля подачи взрывчатых веществ	Техническая возможность оснащения оборудования
8/4	Частичное взрывание на «подпорную стенку» в зажиме	При допустимых горно-геологических условиях
8/5	Экскавация пород рыхлой вскрыши без предварительного буровзрывного рыхления	При допустимых горно-геологических условиях
8/6	Использование гидрозабойки, укладка над скважинами емкостей с водой	
8/7	Использование инертной забойки скважин не менее 16 %	
8/8	Использование естественной обводненности горных пород и взрываемых скважин	При допустимых горно-геологических условиях
9	Снижение эмиссий при процессах отвалообразования	
9/1	Сбор сточных вод, собирающихся на площадях отвалов, в гидротехнические сооружения	
9/2	Вовлечение сточных вод в оборотный цикл технического водоснабжения	При технической возможности
9/3	Перекачка сточных вод из гидротехнических сооружений при отвалах в хвостохранилище	При технической возможности
9/4	Устройство лесозащитной полосы по границе земельного отвода вдоль отвалов рыхлой вскрыши (посадка деревьев)	При отсутствии естественной лесозащиты
10	Производственный процесс добычи железных руд подземным способом	Применим при экономической целесообразности, при допустимых горно-геологических условиях

№ НДТ/ пункт	Наименование НДТ	Ограничения в использовании
11	Проведение горных выработок и применение систем отработки с использованием современного высокопроизводительного самоходного оборудования	При допустимых горно-геологических условиях. Экономическая целесообразность
12	Использование современных износостойких материалов	
13	Снижение нагрузки на окружающую среду путем сокращения отвалов пустых пород	При допустимых горно-геологических условиях. Экономическая целесообразность
14	Частотное регулирование приводных двигателей установок главного и вспомогательного проветривания и водоотлива для подземной добычи	Экономическая целесообразность
15	Использование неэлектрических систем инициирования для ведения взрывных работ в подземных условиях	
16	Снижение эмиссий в процессах дробления и грохочения железных руд	
16/1	Использование аспирационных установок с эффективностью пылеулавливания не ниже 90 % в корпусах дробления, грохочения руды, также в местах перегрузок на конвейерном транспорте	Наличие площадей для размещения установок очистки аспирационного воздуха в непосредственной близости с производственным корпусом или непосредственно в корпусе
16/2	Организация системы оборотного технического водоснабжения дробильно-сортировочных фабрик, отделения дробления, обогатительных фабрик	
17	Производственный процесс обогащения железных руд методом измельчения с последующим разделением полезного компонента и пустой породы	
18	Обеспечение стабильности производственного процесса обогащения, снижение энергетических и материальных затрат в технологии обогащения	
18/1	Мокрое самоизмельчение железных руд путем применения мельниц самоизмельчения диаметром от 4,6 до 11 м объемом от 45 до 460 м^3 и рудно-галечных мельниц	Применимо при использовании одной стадии крупного дробления руд

№ НДТ/ пункт	Наименование НДТ	Ограничения в использовании
18/2	Мокрое измельчение железных руд путем применения мельниц с мелющими телами	Применимо при использовании более двух стадий дробления руд, а также для доводки измельченного концентрата
18/3	Классификация измельченных частиц руды с помощью мокрого вибрационного «тонкого» грохочения, в двухспиральных классификаторах, гидроциклонах	Применимо при наличии производственных площадей и соответствующих свойств измельчаемой руды
18/4	Обогащение железных руд методом магнитной сепарации с использованием барабанов диаметром более 90 см	
18/5	Обезвоживание концентратов с помощью керамических вакуум-фильтров	Применимо при отсутствии металлических частиц в концентрате, при технологической целесообразности, наличии производственных площадей
18/6	Применение магнитной дешламации перед магнитной сепарацией	Применимо для магнетитовых концентратов при технологической целесообразности
18/7	Применение сгустителей перед фильтрованием	Применимо при наличии производственных площадей для установки сгустителя и при технологической целесообразности
18/8	Применение высокоэффективных (с эффективностью очистки выше 95 %) установок газоочистки от пыли в процессах сушки концентрата	Применимо в процессах сушки концентрата до влажности ниже 5 %
19	Процесс окускования железорудного сырья путем производства обожженных окисленных окатышей	
20	Обеспечение стабильности производственного процесса окускования, снижение энергетических и материальных затрат в технологии производства обожженных окатышей	
20/1	Применение неформованных огнеупорных материалов для футеровки обжиговых машин	Применим при технологической целесообразности

№ НДТ/ пункт	Наименование НДТ	Ограничения в использовании
20/2	Использование конструкции переточного коллектора с переменным сечением или нескольких переточных коллекторов	Применимо при реконструкции действующих обжиговых машин, при проектировании новых, при отсутствии геометрических ограничений
20/3	Применение электрофильтров или других пылегазоочистных установок с низким газодинамическим сопротивлением, с эффективностью пылеулавливания не ниже 95 % для очистки газовых потоков с обжиговой машины	Применимо при наличии производственных площадей для размещения установок пылеочистки
20/4	Применение инжекционных горелок или горелочных устройств со сниженным образованием NO_x	Применимо при реконструкции действующих обжиговых машин, использующих в качестве топлива природный газ, или при проектировании новых с использованием природного газа
21	Производство железорудного сырья с высоким содержанием железа металлического по технологии прямого восстановления железа в шахтных печах металлизации	Экономическая целесообразность
22	Обеспечение стабильности производственного процесса прямого восстановления железа, снижение энергетических и материальных затрат в технологии производства металлизованного сырья	
22/1	Применение труб реформера из металла высокотемпературной стойкости	Применимо при технологической целесообразности
22/2	Применение кислородной инжекции на установках металлизации	Применимо при наличии или строительстве воздухоразделительной установки
22/3	Применение конвейеров медленного охлаждения при производстве горячебрикетированного железа	Применимо при наличии производственных площадей на действующих установках или при строительстве новых
23	Снижение неорганизованных выбросов загрязняющих веществ в процессах переработки железных руд	

№ НДТ/ пункт	Наименование НДТ	Ограничения в использовании
23/1	Устройство лесозащитной полосы по границе земельного отвода на отвалах рыхлой вскрыши (посадка деревьев)	Применим при отсутствии естественной лесозащиты, за исключением районов Крайнего Севера
23/2	Применение орошения пылящих площадей хвостохранилища водой	Применимо при отсутствии возможности постоянного орошения оборотной, грунтовой или поверхностной водой
23/3	Применение орошения пылящих площадей хвостохранилища с использованием закрепляющих растворов с реагентами	Применимо при отсутствии возможности постоянного орошения оборотной, грунтовой или поверхностной водой
23/4	Применение пылеподавляющих материалов на технологических автодорогах	Применим при отсутствии возможности орошения оборотной, грунтовой или поверхностной водой
23/5	Орошение складов готовой продукции, промежуточных складов сырья	Применим при отсутствии ограничений на взаимодействия материалов с водой
23/6	Санитарно-гигиеническая и биологическая рекультивация откосов дамб хвостохранилища: суглинком, черноземом, щебнем или скальным грунтом и/или биологическая рекультивация	
24	Рециклинг железосодержащих шламов	Применим при наличии железорудных шламов, экономической целесообразности их возврата в технологию
25	Снижение сбросов сточных вод в процессах добычи и переработки железных руд	
25/1	Организация систем оборотного водоснабжения во всех переделах производства железорудного сырья	Применим при экономической целесообразности
25/2	Максимально возможное использование подземно-дренажных вод в оборотной системе технического водоснабжения предприятия	Применим в зависимости от качественных показателей дренажной воды и требований оборотных циклов

№ НДТ/ пункт	Наименование НДТ	Ограничения в использовании
25/3	Очистка минерализованных карьерных и шахтных вод с их включением в систему технического оборотного водоснабжения	Применим при технологической целесообразности

Приложение Г
(обязательное)

Перечень технологических показателей

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон (значение)
НДТ 3. Производственный процесс добычи железных руд открытым способом *Без учета взрывных работ, пыления отвалов пустых пород и некондиционных руд.	г пыли/т добываемой горной массы	≤35*
НДТ 10. Производственный процесс добычи железных руд подземным способом **Показатель распространяется только на один вентиляционный ствол (источник измерений).	г пыли/т добываемой горной массы	≤16**
НДТ 17. Производственный процесс обогащения железных руд методом измельчения с последующим разделением полезного компонента и пустой породы	г пыли/т концентрата г пыли (при сушке)/т сушеного концентрата	≤ 80 ≤130
НДТ 19. Процесс окускования железорудного сырья путем производства обожженных окисленных окатышей.	г пыли/т окатышей г оксидов азота/т окатышей	≤530 NO_x ≤530
НДТ 21. Производство железорудного сырья с высоким содержанием железа металлического по технологии прямого восстановления железа в шахтных печах металлизации	г пыли/т металлизованного продукта г оксидов азота/т металлизованного продукта г диоксида серы/т металлизованного продукта	≤320 NO_x ≤650 ≤280

Приложение Д
(обязательное)

Энергоэффективность

В настоящем справочнике НДТ энергоэффективность является одним из ключевым критерием выбора НДТ, поскольку технологические процессы добычи железной руды и ее обогащения характеризуются значительными уровнями потребления энергии топлива и электроэнергии (см. разделы 2 и 3).

Среднее удельное энергопотребление в отрасли варьируется от 100 МДж/т в производстве железной руды товарной необогащенной до 1 ГДж/т в производстве окатышей железорудных офлюсованных (см. 3.6).

С учетом накопленного в отрасли опыта и распространенных технологических, технических и управленческих решений к НДТ, направленных на обеспечение высокой энергоэффективности производства, отнесены следующие (см. раздел 5):

- НДТ 2. Системы энергетического менеджмента и их инструменты;
- НДТ 5. Применение большегрузной карьерной техники;
- НДТ 11. Проведение горных выработок и применение систем отработки с использованием современного высокопроизводительного самоходного оборудования;
- НДТ 14. Частотное регулирование приводных двигателей установок главного и вспомогательного проветривания и водоотлива для подземной добычи;
- НДТ 18. Обеспечение стабильности производственного процесса обогащения, снижение энергетических и материальных затрат в технологии обогащения;
- НДТ 19. Процесс окускования железорудного сырья путем производства обожженных окисленных окатышей;
- НДТ 20. Обеспечение стабильности производственного процесса окускования, снижение энергетических и материальных затрат в технологии производства обожженных окатышей;
- НДТ 22. Обеспечение стабильности производственного процесса прямого восстановления железа, снижение энергетических и материальных затрат в технологии производства металлизованного сырья.

К числу перспективных решений, которые могут найти применение в отрасли, отнесены (см. раздел 7):

- .1.3. Применение беспилотных тяговых агрегатов;
- .1.5. Применение систем высокоточного позиционирования ковша для забойных экскаваторов;
- .1.7. Автоматизация процессов добычных работ в подземных условиях;
- .1.9. Использование специальных сплавов и износостойких материалов для изготовления подъемных сосудов и их футеровки;
- .1.10. Автоматизированный аппаратный контроль состояния ствола, подъемных сосудов, канатов;
- .1.11. Компенсация реактивной мощности;
- .2.2. Измельчение магнетитовых кварцитов;
- .3.1. Совершенствование тепловых схем существующих обжиговых машин.

Библиография

Список источников к разделу 1

[1] Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

[2] ГОСТ Р 56828.14—2016 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно технического-справочника.

[3] ГОСТ Р 56828.15—2016 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения.

[4] ГОСТ Р 56828.13—2016 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий.

[5] Федеральный закон от 23 июня 2016 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об актах гражданского состояния».

[6] Постановление правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологий в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».

[7] Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2014 г.» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. — М., 2015.

[8] Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2013 г.» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. — М., 2014.

[9] Информационно-аналитический обзор технико-экономических показателей горнорудных предприятий. Часть 1. Производство, поставки, запасы. — М. : ОАО «РУДПРОМ», 2016.

[10] Ежемесячный отчет AME Research Iron ore Tactical Outlook. — Июнь 2017 г.

[11] Обзор мировых рынков металлургического сырья и стали ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ». — М., 2012–2016.

[12] Официальный отчет компании MIDREX HBI за 2015 г.

[13] Официальный отчет компании MIDREX HBI за 2016 г.

[14] Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации и на период до 2030 г. ; Министерство промышленности и торговли РФ. — М., 2014.

[15] Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 г.» [Электронный ресурс]. — [Режим доступа] : http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1996.

[16] Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 г.». [Электронный ресурс]. — [Режим доступа] : http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1796.

[17] Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Курской области в 2015 г. [Электронный ресурс]. — [Режим доступа] : http://adm.rkursk.ru/index.php?id=68&mat_id=57379.

[18] Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Свердловской области в 2014 г. [Электронный ресурс]. — [Режим доступа] :

http://ural.rospromeco.com/pressa/article_post/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchey-sredy-sverdlovskoy-oblasti-v-2014-godu-ministr-prirodnykh-resursov-i-ekologii-sverdlovskoy-oblasti-kuznetsov-a-v.

[19] Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Кемеровской области в 2015 г. [Электронный ресурс]. — [Режим доступа] : http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2016/06/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4-2015.pdf.

[20] Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Белгородской области в 2015 г. [Электронный ресурс]. — [Режим доступа] : http://belapk.ru/upravlenie_prirodopolzovaniya_i_ohrany_okruzhayuwej_sredy/normativnye_dokumenty/2014/.

[21] Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ на 01.01.2016 // «Железные руды». — Вып. 1. — М., 2016.

[22] Информационно-аналитический обзор технико-экономических показателей горнорудных предприятий (часть I — производство, поставки, запасы; часть II — экономические и трудовые показатели: последние новости). — М. : ООО «РУДПРОМ», 2017.

Список источников к разделу 2

[1] Трубецкой, К. Н. Открытые горные работы : справочник / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов, К. Е. Виницкий, Н. Н. Мельников и др. — М. : «Горное бюро», 1994.

[2] Анистратов, Ю. И. Технологические процессы открытых горных работ / Ю. И. Анистратов. — М. : ООО «НТЦ „Горное дело“», 2007.

[3] Агошков, М. И. Разработка рудных и нерудных месторождений / М. И. Агошков, С. С. Борисов, В. А. Боярский. — М. : «Недра», 1970.

[4] Брюховецкий, О. С. Технология и комплексная механизация разработки месторождений полезных ископаемых / О. С. Брюховецкий, Ж. В. Бунин, И. А. Ковалев. — М. : «Недра», 1989.

[5] Грабчак, Л. Г. Проведение горно-разведочных выработок и основы разработки месторождений полезных ископаемых / Л. Г. Грабчак, В. И. Комащенко, Б. И. Федунец. — М. : Издательство академии горных наук, 1997.

[6] Трубецкой, К. Н. Основы горного дела / К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко. — М. : Академический проект, 2010.

[7] Голик, В. И. Разработка месторождений полезных ископаемых / В. И. Голик. — М. : ИНФРА-М, 2014.

[8] Малышев, Ю. Н. Мировая горная промышленность / председатель Ю. Н. Малышев, гл. ред. Ю. И. Анистратов. — М. : НТЦ «Горное дело», 2005.

[9] Орлов, В. П. Железорудная база России / Главред В. П. Орлов. — М. : Геоинформарк, 2007.

[10] Остапенко, П. Е. Обогащение железных руд. / П. Е. Остапенко. — М. : Недра, 1977. — 274 с.

[11] Келина, И. М. Обогащение руд / И. М. Келина. — М. : Недра, 1979. — 222 с.

[12] Кменева, Е. Е. Основы обогащения полезных ископаемых. Курс лекций. — Петрозаводск : ПГУ, 2009. — 61 с.

[13] Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых : учебник для вузов. — М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2006. — Т. 1. — 417 с.

[14] Самыгин, В. Д. Обезвоживание и очистка сточных вод при обогащении минерального сырья (разделение твердой и жидкой фаз) : учебник / В. Д. Самыгин, В. А. Игнаткина, Р. В. Коржова. — М. : СТИ НИТУ МИСиС. — 2013. — 247 с.

[15] Безгинова, Л. И. Хвостовое хозяйство и очистка сточных вод обогатительных фабрик / Л. И. Безгинова. — Алматы: КазНТУ им. К. И. Сатпаева, 2013. — 87 с.

[16] Кокорин, Л. К. Производство окисленных окатышей / Л. К. Кокорин, С. Н. Лелеко. — Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы, 2004. — 280 с.

[17] Юсфин, Ю. С. Обжиг железорудных окатышей / Ю. С. Юсфин, Т. Н. Базилевич. — М. : Металлургия, 1973. — 272 с.

[18] Маерчак, Ш. Производство окатышей. Пер. со словац. / Ш. Маерчак. — М. : Металлургия, 1982. — 232 с.

[19] Тимофеева, А. С. Экстракция черных металлов из природного и техногенного сырья : учебное пособие / А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко. — Ст. Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2011. — 235 с.

[20] Абзалов, В. М. Разработка обжиговой конвейерной машины нового поколения. / В. М. Абзалов, В. В. Брагин, А. А. Вяткин, С. Н. Евстюгин, С. Н. Лелеко // Сталь. — М., 2008. — № 12. — С. 13–14.

[21] Брагин, В. В. Разработка и внедрение энергоэффективных тепловых схем конвейерных машин для обжига железорудных окатышей : дис. Спец. 05.16.02. — Екатеринбург, 2013. — 161 с.

[22] Юсфин, Ю. С. Металлургия железа : учебник для вузов / Ю. С. Юсфин, Н. Ф. Пашков. — М. : ИКЦ Академкнига. — 2007. — 464 с.

[23] Юсфин, Ю. С. Новые процессы получения металла : учебник для вузов / Ю. С. Юсфин, А. А. Гиммельфарб, Н. Ф. Пашков. — М. : Металлургия, 1994.

[24] Особенности требований к качеству окатышей для металлизации на установке HYL-III / В. Горбачев, В. Бабай, Н. Копоть и др. // Сталь. — М., 2002. — № 2. — С. 23–24.

[25] Павловец, В. М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд : учебное пособие / В. М. Павловец. — Новокузнецк : Изд-во центр СибГИУ, 2014. — 345 с.

[26] Освоение производства горячебрикетированного железа на Лебединском ГОКе / В. Горбачев, Г. Майзель, Ю. Крымов и др. // Сталь. — М., 2002. — № 2. — С. 1922.

[27] Железо прямого восстановления: тенденции и перспективы [Электронный ресурс]. — https://www.metalbulletin.ru. 27.07.2017.

[28] Бальмонт, Д. С., Гуюмджян, П. П. , Бальмонт, Т. М. Степень и интенсивность как основные параметры перемешивания жидких и гетерогенных сред / Приложение к журналу «Современные наукоемкие технологии». — 2010. — № 1. — С. 48–50. (Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками ; перевод с польского под ред. Щупляка И. А. — Л. : «Химия», 1975).

Список источников к разделу 3

[1] Бересневич, П. В., Михайлов, В. А., Филатов, С. С. Аэрология карьеров : справочник. — М. : Недра, 1990. — 280 с.

[2] Токмаков, П. И. и др. Экология и охрана природы при открытых горных работах. — М. : Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 1994. — 418 с.

[3] Фильчаков, Ю. В. Экологическое состояние природных ресурсов в зоне функционирования хвостохранилища Михайловского ГОКа КМА : дис. на соиск. уч. ст. канд. сельскохоз. наук : 03.00.16. — М. : «Экология», 2008.

[4] Перспективы использования природного и техногенного железорудного сырья в Российской Федерации : горный информ.-аналитич. бюллетень. — М., 2014. — № 12.

[5] Филиппов, П. А. Разработка и научное обоснование геотехнологий добычи железных руд при освоении природных и техногенных месторождений Западной Сибири : дис. на соиск. уч. ст. докт. технич. наук. : 25.00.22. — М. : «Геотехнология», 2012.

[6] Соколов, И. В. и др. Комплексная эколого ориентированная подземная геотехнология добычи и обогащения железных руд // Экология и промышленность России. — М., 2013. — С. 16–20.

[7] Соколов, И. В. и др. Геотехнологические аспекты стратегии освоения крупных железорудных месторождений // Проблемы недропользования. — М., 2014. — № 3. — С. 113–125.

[8] Шинкоренко, С. Ф. Справочник по обогащению руд черных металлов // С. Ф. Шинкоренко, Е. П. Белецкий, А. А. Ширяев и др. — М. : Недра, 1980. — 527 с.

[9] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, 2013 [Электронный ресурс]. — URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf.

[10] ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use.

[11] ГОСТ Р ИСО 14001—2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

[12] ISO 14001:2015 Revision. Frequently Asked Questions, 2015. BSI, London [Электронный ресурс]. — URL: https://www.bsigroup.com/LocalFiles/en-US/Brochures/Environmental/14001-revision-FAQ.pdf.

[13] Дайман, С. Ю. Системы экологического менеджмента : практический курс / С. Ю. Дайман, Т. В. Гусева, Е. А. Заика, Т. В. Сокорнова — М. : Форум, 2010. — 336 с.

[14] Regulation (EC) No. 1221/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS), repealing Regulation (EC) No. 761/2001 and Commission Decisions 2001/681/EC and 2006/193/EC.

[15] ИТС 22.1—2016 Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения.

[16] Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в редакции федеральных законов от 29.12.2014 № 458-ФЗ; от 29.12.2015 № 404-ФЗ; от 03.07.2016 № 25).

[17] ИТС 16—2016 Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы.

[18] Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities, 2007 [Электронный ресурс]. — URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/mmr_adopted_0109.pdf.

[19] Comprehensive Industry Document on Iron Ore Mining, 2007 [Электронный ресурс]. — URL: http://cpcb.nic.in/upload/NewItems/NewItem_105_iron_ore_mining_31.07.08.pdf.

[20] Энергетическая стратегия РФ: офиц. текст [Электронный ресурс]. — [Режим доступа]: http://minenergo.gov.ru/node/1026.

[21] Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (в действ. редакции).

[22] Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2015 г. [Электронный ресурс]. — [Режим доступа]: http://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/5197/66062.4-ФЗ).

[23] Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2016 г. [Электронный ресурс]. — [Режим доступа]: https://minenergo.gov.ru/node/5197.

[24] Доклад «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений». — М. : Кремль, 2016. — 312 с.

[25] Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии : утверждены приказом М-ва промышленности и торговли Российской Федерации от 31.03.2015.

[26] ИТС 48—2017 Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности.

[27] Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency [Электронный ресурс]. — URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ENE_Adopted_02-2009.pdf/.

[28] Справочный документ по НДТ обеспечения энергоэффективности. [Электронный ресурс]. — [Режим доступа]: http://ecoline.ru/energy-efficiency-2012/.

[29] ISO 50001:2011. Energy management systems — Requirements with guidance for use.

[30] ISO 50002:2014. Energy audits — Requirements with guidance for use.

[31] ISO 50004:2014. Energy management systems — Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system.

[32] ISO 50006:2014. Energy management systems — Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) — General principles and guidance.

[33] ISO 50015:2014. Energy management systems — Measurement and verification of energy performance of organizations — General principles and guidance.

[34] ГОСТ Р ИСО 50001—2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.

[35] Energy Management in Mining. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry, 2016 [Электронный ресурс]. — URL: https://industry.gov.au/resource/Documents/LPSDP/LPSDP-Energy-Management-in-Mining-Handbook.pdf.

[36] Natural Resources Canada, 2005. Benchmarking the Energy Consumption of Canadian Open-Pit Mines, 2005 [Электронный ресурс]. — URL: http://www.nrcan.gc.ca/sites/oee.nrcan.gc.ca/files/pdf/publications/industrial/mining/open-pit/Open-Pit-Mines-1939B-Eng.pdf.

[37] United States Department of Energy, 2007. Mining Industry Energy Bandwidth Study [Электронный ресурс]. — URL: http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/resources/mining/pdfs/mining_bandwidth.pdf.
№ 665.

Список источников к разделу 4

[1] 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.

[2] Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии : утверждены приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665.

[3] Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities [Электронный ресурс]. — URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/mmr_adopted_0109.pdf.

[4] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production (2012) [Электронный ресурс]. — URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/I&S/IS_Published_0312.pdf.

[5] Comprehensive Industry Document on Iron Ore Mining, 2007 [Электронный ресурс]. — URL: http://cpcb.nic.in/upload/NewItems/NewItem_105_iron_ore_mining_31.07.08.pdf.

[6] ИТС 16—2016 Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы [Электронный ресурс]. — [Режим доступа]: http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=801&etkstructure_id=1872.

[7] Наилучшие экологические практики в горнодобывающей промышленности. Центр окружающей среды Финляндии, 2011 [Электронный ресурс]. — [Режим доступа]: https://helda.helsinki.fi/handle/10138/39454.

[8] Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в редакции федеральных законов от 29.12.2014 № 458-ФЗ; от 29.12.2015 № 404-ФЗ; от 03.07.2016 № 254-ФЗ).

[9] Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (в ред. от 03.07.2016 с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2017).

[10] Справочный документ ЕС по наилучшим доступным технологиям «Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды» [Электронный ресурс]. — [Режим доступа]: http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/b2e/economika_1303.pdf.

[11] Reference Document on Economics and Cross-Media Effects, 2006 [Электронный ресурс]. — URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ecm_bref_0706.pdf.