ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК
ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС 12—2019
Производство никеля и кобальта



Москва
Бюро НДТ
2019

gost.e-ecolog.ru

Оглавление

Введение IV

Предисловие VII

Область применения 1

Раздел 1. Мировое состояние никель-кобальтовой промышленности 4

1.1. Никель- и кобальтсодержащие руды. Запасы и ресурсы 19

1.2. Добыча никеля и кобальта 23

1.3. Производство никеля и кобальта 25

1.3.1. Переработка латеритовых руд с получением богатых промпродуктов или товарных металлов 30

1.3.2. Переработка сульфидных руд с получением файнштейна 35

1.3.3. Получение рафинированного никеля 54

1.3.4. Переработка кобальтомышьяковых и медно-кобальтовых руд 67

1.4. Ресурсная база никеля и кобальта России 69

Раздел 2. Основные технологические процессы и оборудование, применяемые в настоящее время при производстве никеля и кобальта в Российской Федерации. Текущие уровни эмиссий 79

2.1. Технологии производства никеля из сульфидных медно-никелевых концентратов 79

2.1.1. Головные переделы 79

2.1.2. Рафинировочные переделы 93

2.2. Технологии производства никеля из окисленных руд 109

2.3. Технологии производства кобальта 113

Раздел 3. Определение наилучших доступных технологий 119

Раздел 4. Наилучшие доступные технологии 121

4.1. Системы экологического менеджмента (СЭМ) 121

4.2. Энергоменеджмент и энергия 121

4.3. Контроль технологических процессов и мониторинг эмиссий 122

4.4. Сокращение расхода реагентов и материалов 123

4.5. Неорганизованные эмиссии 124

4.6. Организованные эмиссии 128

4.7. Сбросы загрязняющих веществ в водные объекты 133

Раздел 5. Экономические аспекты применения наилучших доступных технологий при производстве никеля и кобальта 138

Раздел 6. Перспективные технологии при производстве никеля и кобальта 140

6.1. Технология двухзонной печи Ванюкова 140

6.2. Усовершенствование технологии гидрометаллургического обогащения бедного никель-пирротинового концентрата 144

6.3. Производство никеля электроэкстракцией рафинированием ПНТП..... 146

6.4. Производство никеля электроэкстракцией растворов выщелачивания никелевого концентрата от разделения файнштейна..... 148

6.5. Технология производства карбонильного никеля с использованием синтеза среднего давления 150

Заключительные положения и рекомендации..... 153

Приложение А (обязательное) Перечни маркерных веществ и технологических показателей..... 156

Приложение Б (обязательное) Перечень НДТ 160

Приложение В (обязательное) Энергоэффективность..... 162

Приложение Г Заключения по наилучшим доступным технологиям «Производство никеля и кобальта» 165

Библиография..... 186

Введение

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (далее – справочник НДТ) «Производство никеля и кобальта» разработан на основании анализа распространённых в Российской Федерации и перспективных технологий, оборудования, сырья, других ресурсов с учётом климатических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации.

Справочник НДТ разработан взамен справочника НДТ ИТС 12–2015 «Производство никеля и кобальта» в соответствии с распоряжением от 30 апреля 2019 г. № 866-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».

В соответствии с положениями Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7 ФЗ [1] объекты, оказывающие воздействие на окружающую среду, подразделяются на четыре категории. Производство никеля и кобальта включено в I категорию и отнесено к областям применения наилучших доступных технологий. Профильные предприятия рассматриваются как объекты, деятельность которых оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду и которые обязаны получать комплексные экологические разрешения на осуществление своей деятельности. Общая цель комплексного подхода к экологическому нормированию хозяйственной деятельности заключается в совершенствовании регулирования и контроля производственных процессов с целью обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды. Хозяйствующие субъекты должны принимать все необходимые предупредительные меры, направленные на предотвращение загрязнения окружающей среды и рациональное использование ресурсов, в частности посредством внедрения НДТ, которые дают возможность обеспечить выполнение экологических требований.

Термин «наилучшие доступные технологии» определён в статье 1 Федерального закона № 7 ФЗ [1], согласно которому, НДТ – это технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности её применения.

Краткое содержание справочника

Введение. Представлено краткое содержание справочника НДТ.

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

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

В **разделе 1** представлена информация о мировом состоянии и уровне развития никель-кобальтовой промышленности – основных производителях и потребителях никеля и кобальта, рудной базе, применяемых при производстве технологических процессах, качестве товарной продукции.

В **разделе 2** представлены сведения о технологических процессах, применяемых при производстве никеля и кобальта из руд и концентратов, дана оценка потребления энергоресурсов и уровней эмиссий в окружающую среду, характерных для производства никеля и кобальта в Российской Федерации.

Раздел подготовлен на основе данных, представленных предприятиями Российской Федерации в рамках разработки справочника НДТ, а также различных литературных источников.

В **разделе 3** описаны особенности подходов, применённых при разработке данного справочника НДТ и в целом соответствующих Правилам определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по НДТ (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458) и Методическим рекомендациям по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии (утверждены приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665).

В **разделе 4** приведено краткое описание НДТ для производства никеля и кобальта, включая:

– системы экологического и энергетического менеджмента, контроля и мониторинга технологических процессов;

– технические и технологические решения для повышения энергоэффективности, ресурсосбережения, снижения эмиссий загрязняющих веществ, методы обращения с отходами и побочными продуктами производства.

В **разделе 5** приведены доступные сведения об экономических аспектах реализации НДТ на предприятиях Российской Федерации.

В **разделе 6** приведены краткие сведения о новых технологических и технических решениях (не применяемых в России на момент подготовки справочника), направленных на повышение энергоэффективности, ресурсосбережения, снижение эмиссий загрязняющих веществ, эффективное обращение с отходами, промежуточными и побочными продуктами.

Заключительные положения и рекомендации. Приведены сведения о членах технической рабочей группы, принимавших участие в разработке справочника НДТ, рекомендации предприятиям по дальнейшим исследованиям экологических аспектов их деятельности.

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

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

– область применения;

– описание НДТ, уровни эмиссий, соответствующие НДТ (технологические показатели), а также информацию, позволяющую оценить их применимость;

– методы производственного экологического контроля (прежде всего подходы к организации измерений, в том числе касающиеся систем автоматического контроля).

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

Библиография. Приведён перечень источников информации, использованных при разработке справочника НДТ.

Предисловие

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

1. Статус документа

Настоящий справочник НДТ является документом по стандартизации.

2. Разработчик

Справочник НДТ разработан технической рабочей группой «Производство никеля и кобальта» (ТРГ-12), созданной приказом Минпромторга от 02 июля 2019 г. № 2343 «О создании технической рабочей группы «Производство никеля и кобальта». Перечень организаций и их представителей, принимавших участие в разработке справочника НДТ, приведён в разделе «Заключительные положения и рекомендации».

Справочник НДТ представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (далее – Бюро НДТ) (gost.e-ecolog.ru

3. Краткая характеристика

Справочник НДТ содержит описание применяемых при производстве никеля и кобальта технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить эмиссии в окружающую среду, сократить водопотребление, повысить энергоэффективность, обеспечить экономию ресурсов. Из числа описанных технологических процессов, технических способов, методов выделены решения, отнесённые к НДТ. В справочнике НДТ установлены технологические показатели, соответствующие выделенным НДТ.

4. Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Справочник НДТ разработан на основе справочника Европейского союза (ЕС) по наилучшим доступным технологиям для предприятий цветной металлургии (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries) с учётом особенностей производства никеля и кобальта в Российской Федерации.

5. Сбор данных

Информация о технологических процессах, технических способах, методах, применяемых при производстве никеля и кобальта 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, утверждённым приказом Минпромторга России от 18 апреля 2017 г. № 1234.

6. Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми (актуализируемыми) в соответствии с распоряжением Правительства от 30 апреля 2019 г. № 866-р, приведена в разделе «Область применения».

7. Информация об утверждении и введении в действие

Настоящий справочник НДТ утверждён приказом Росстандарта от 12 декабря 2019 г. № 2978.

Настоящий справочник НДТ введён в действие с 1 марта 2020 г., официально опубликован в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.e-ecolog.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ПРОИЗВОДСТВО НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА

Production of nickel and cobalt

Дата введения – 2020-03-01

Область применения

Настоящий справочник НДТ «Производство никеля и кобальта» распространяется на процессы производства первичных никеля и кобальта, т. е. получаемых из рудного сырья.

Поскольку производство никеля, кобальта и меди из сульфидных медно-никелевых руд включает ряд последовательных операций в едином взаимосвязанном производственно-технологическом процессе, справочник также распространяется на процессы производства меди из такого сырья.

Справочник НДТ также распространяется на процессы, связанные с основными видами деятельности по производству первичного никеля и кобальта, которые могут оказать влияние на объёмы эмиссий и (или) масштабы загрязнения окружающей среды:

- хранение, подготовка и транспортировка сырья;
- хранение и подготовка топлива, материалов, реагентов и продукции;
- производственные процессы (пирометаллургические, гидрометаллургические).

Справочник НДТ не распространяется на:

- добычу и обогащение никелевых и полиметаллических руд на месторождениях (область действия ИТС НДТ 23);
- вопросы, которые касаются исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Вопросы обеспечения промышленной безопасности и охраны труда частично рассматриваются только в тех случаях, когда оказывают влияние на виды деятельности, включённые в область применения настоящего справочника НДТ.

Дополнительные виды деятельности при производстве никеля и кобальта, а также соответствующие им справочники НДТ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Дополнительные виды деятельности при производстве никеля и кобальта и соответствующие им справочники НДТ

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Методы очистки сточных вод, направленные на сокращение сбросов металлов в водные объекты	ИТС 8–2015 Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях
Методы очистки выбросов 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

Окончание таблицы 1

Хранение и обработка материалов	ИТС 46–2019 Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)
Промышленные системы охлаждения, градирни, пластинчатые теплообменники	ИТС 20–2016 Промышленные системы охлаждения
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)
Выработка пара и электроэнергии на тепловых станциях	ИТС 38–2017 Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии
Вопросы производственно-экологического контроля	ИТС 22.1–2016 Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения

В настоящем справочнике использованы термины и определения в соответствии с ГОСТ Р 56828.15-2016 «Наилучшие доступные технологии. Термины и определения» [4].

Сфера распространения настоящего справочника НДТ приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сфера распространения ИТС НДТ

ОКПД 2	Наименование продукции по ОК 034–2014 (ОКПД)	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
		Производство металлургическое	24
		Производство основных драгоценных металлов и прочих цветных металлов, производство ядерного топлива	24.4
		Производство прочих цветных металлов	24.45
		Производство никеля	24.45.1
24.45.1	Никель необработанный; промежуточные продукты металлургии никеля		
24.45.11	Никель необработанный		

Окончание таблицы 2

ОКПД 2	Наименование продукции по ОК 034–2014 (ОКПД)	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
24.45.11.000	Никель необработанный		
24.45.12	Штейн никелевый, агломераты оксидов никеля и прочие промежуточные продукты металлургии никеля		
24.45.12.110	Штейн никелевый		
24.45.12.120	Агломераты оксидов никеля		
24.45.12.130	Продукты металлургии никеля промежуточные прочие		
		Производство кобальта	24.45.6
24.45.30.150	Кобальт и изделия из него, сплавы на основе кобальта, порошки		
24.45.30.151	Кобальт необработанный		
24.45.30.152	Штейн кобальтовый		
24.45.30.153	Порошки кобальтовые		

Раздел 1. Мировое состояние никель-кобальтовой промышленности

Мировое производство первичного никеля во всех видах в 2018 году, по данным аналитиков Wood Mackenzie, составило 2235 тыс. т (+6,3 % к уровню 2017 года), в том числе 1153 тыс. т никеля (51,5 %) – в ферроникеле и никелистом чугуне [5].

Под первичным никелем, по определению International Nickel Study Group, подразумевается продукция плавильных и рафинировочных заводов, пригодная для использования потребителями, в том числе:

– никель класса I с содержанием никеля 99 % и выше (электролитный никель – в виде полноразмерных или резаных катодов, гранулы, брикеты, порошки/хлопья, пеллеты, рондели);

– никель класса II с содержанием никеля менее 99 % (ферроникель, оксид никеля/синтер, ютилити-никель, никелистый чугун).

Отдельная группа включает химикаты на основе никеля.

На долю 10 крупнейших стран – производителей никеля пришлось почти 85 % мирового выпуска. Практически недосягаемым лидером является Китай, на который приходится почти 1/3 мирового производства (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Производство никеля во всех видах в 2018 году по странам [5]

Страна	Производство первичного никеля, тыс. т никеля	Доля от мирового производства, %
Китай	707	31,6
Индонезия	288	12,9
Япония	165	7,4
Россия	159	7,1
Канада	135	6,0
Австралия	114	5,1
Новая Каледония	107	4,8
Норвегия	91	4,1
Бразилия	65	2,9
Финляндия	61	2,7
Прочие страны	343	15,3
Мир в целом	2235	100

Мировое потребление первичного никеля во всех видах в 2018 году составило 2279 тыс. т (+3,3 % к уровню 2017 года), из которых на долю первой пятёрки – ведущих

потребителей никеля пришлось ¾ мирового потребления. Безоговорочным лидером является Китай – около половины мирового потребления никеля, на Россию приходится менее 2 %, т. е. ~ 33 тыс. т (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Потребление первичного никеля во всех видах в 2018 году по странам [5]

Страна	Потребление первичного никеля, тыс. т	Доля от мирового потребления, %
Китай	1147	50,3
Япония	163	7,2
Индонезия	156	6,8
США	138	6,0
Южная Корея	98	4,3
Россия	33	1,4
Прочие страны	544	23,9
Мир в целом	2279	100

Более 2/3 мирового потребления никеля приходится на сектор производства нержавеющей стали (рисунок 1.1). В 2018 году в Китае было произведено 26,3 млн т нержавеющей стали, что составляет 52 % от мирового выпуска (50,6 млн т).

Быстро растёт потребление никеля в секторе батарей для электромобилей. Если в 2018 году в структуре потребления никеля на сектор батарей для электромобилей приходилось ~3 %, то уже в 2020 году эта доля может возрасти до 5 %, а к 2025 году – до 18 %. Двумя доминирующими типами катодных материалов стали NCA (Li-Ni/Co/Al) и NMC (Li-Ni/Co/Mn). Рост цен на кобальт и отсутствие уверенности потребителей в надёжности будущих поставок (почти 2/3 добычи кобальта – в ДР Конго) стимулировали переключение с NMC 111 или NMC 622 на состав, содержащий меньше кобальта и больше никеля – NMC 811.

По Никелевому контракту Лондонской биржи металлов (ЛБМ) может быть поставлен первичный никель (т. е. произведённый из рудного сырья) в виде катодов (полноразмерных или резаных), дроби или брикетов, удовлетворяющий по химическому составу одному из двух стандартов: ASTM Standard Specification for Nickel B39-79 (2013) или GB/T 6516-2010 – Ni9990 grade (табл. 1.3–1.5).

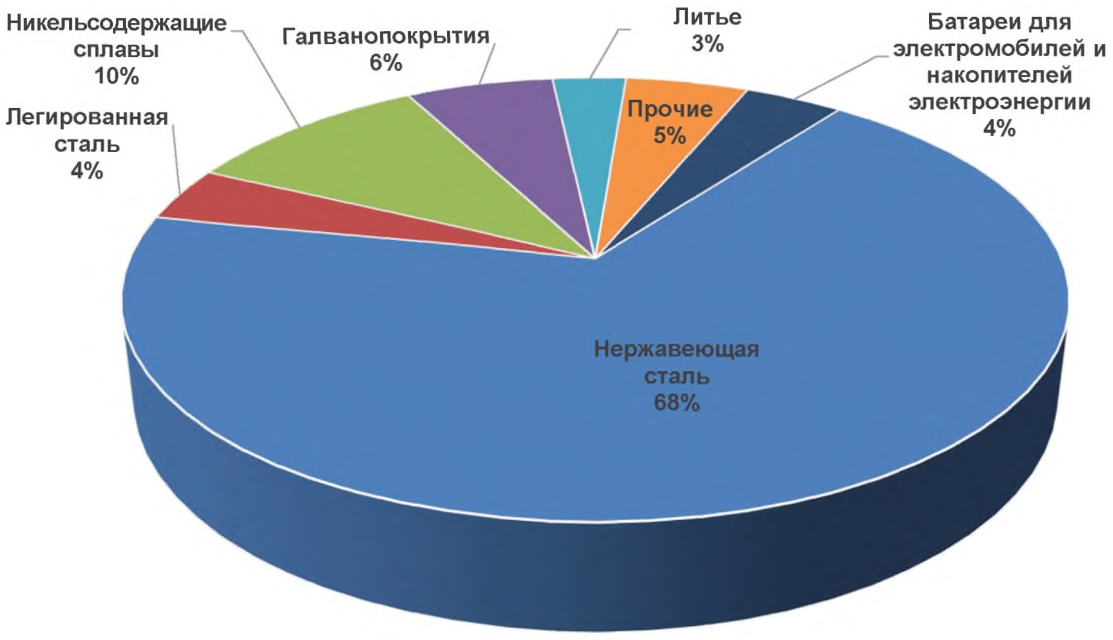


Рисунок 1.1 – Области потребления никеля в 2018 году (100 % = 2279 тыс. т) [5]

Таблица 1.3 –Требования к составу первичного никеля стандартов ASTM B39-79 (2013) и GB/T 6516-2010 – Ni9990

Элемент, % масс.	Стандарт ASTM	Стандарт GB/T
Сорт		Ni 9990
Ni+Co		min 99,90
Ni	min 99,80	
Co	max 0,15	max 0,08
Cu	max 0,02	max 0,02
C	max 0,03	max 0,01
Fe	max 0,02	max 0,02
S	max 0,01	max 0,001
P	<0,005	max 0,001
Mn	<0,005	
Si	<0,005	max 0,002
As	<0,005	max 0,001
Pb	<0,005	max 0,0015
Sb	<0,005	max 0,0008
Bi	<0,005	max 0,0008
Sn	<0,005	max 0,0008
Zn	<0,005	max 0,002
Cd		max 0,0008
Mg		max 0,002

Таблица 1.4 – Марки никеля, зарегистрированные на ЛБМ

Производитель	Страна	Марка	Вид продукции*
BHP Billiton Nickel West Pty Ltd	Австралия	BHP BILLITON NICKEL BRIQUETTES	Б
Minara Resources Pty Ltd		MINARA HIGH GRADE NICKEL BRIQUETTES	
Votorantim Metais S.A.	Бразилия	TOCANTINS **	К, РК
The Cobalt Refinery Company Inc	Канада	SHERRITT NICKEL BRIQUETTES	Б
Vale Canada Ltd		VALE NICKEL PELLETS	Д
Yantai Cash Industrial Co., Ltd	Китай	CASH	К
Jinchuan Group Co., Ltd		JINTUO GRADE 1	К, РК
Norilsk Nickel Harjavalta Oy	Финляндия	NORILSK NICKEL HARJAVALTA CATHODES	К, РК
		NORILSK NICKEL HARJAVALTA BRIQUETTES	Б
Eramet S.A.	Франция	NICKEL HP**	К, РК
Sumitomo Metal Mining Co., Ltd	Япония	SUMITOMO METAL MINING CO. LTD	РК
		SMM	К
Dynatec Madagascar S.A.	Мадагаскар	AMBATOVY NICKEL BRIQUETTES	Б
Glencore Nikkelverk AS	Норвегия	NIKKELVERK NICKEL	К, РК
PJSC MMC Norilsk Nickel JSC «Kola GMK»	Россия	NORILSK COMBINE H-1**	К, РК
		NORNICKEL	К
		SEVERONICKEL COMBINE H-1	К, РК
		SEVERONICKEL COMBINE H-1Y	К, РК
Impala Platinum Ltd	Южная Африка	IMPALA NICKEL	Б
Rustenburg Platinum Mines Ltd		RPM NICKEL	К, РК
Vale Canada Lim-ited/Vale Europe Limited	Великобритания	VALE NICKEL PELLETS	Д
RioZim Limited	Зимбабве	BCL EMPRESS **	К, РК
* Б – брикеты; К – катоды; РК – резаные катоды; Д – дробь. ** Регистрация на ЛБМ не продлена.			
Ист.: ЛБМ			

Таблица 1.5 – Описание и химический состав некоторых марок никеля, зарегистрированных на ЛБМ (данные компаний)

Марки	VALE NICKEL PELLETS	GUORUN	JINTUO GRADE 1	NICKEL HP**	NIKKELVERK NICKEL	VALE NICKEL PELLETS	Severonickel Combine H-1Y
Завод	Copper Cliff, Канада	Китай	Китай	Sandouville, Франция	Nikkelverk, Норвегия	Clydach, Британия	Kola GMK, Россия
Химический состав							
Ni	≥ 99,98	≥ 99,98	99,99	99,99	> 99,98	≥ 99,98	99,97
Co	≤ 0,00005	≤ 0,007	0,005	< 0,00009	< 0,0002	≤ 0,00005	0,011
Fe	≤ 0,001	≤ 0,005	0,002	0,0009	< 0,001	≤ 0,01	0,0046
C	≤ 0,007	≤ 0,005	0,005	0,0021	< 0,002	≤ 0,015	0,007
S	≤ 0,0005	≤ 0,001	0,001	< 0,0003	< 0,0002	≤ 0,0005	0,0006
Cu	≤ 0,0005	≤ 0,0005	0,0015	< 0,00012	< 0,0001	≤ 0,0005	0,0071
Zn	≤ 0,00005	≤ 0,001	0,001	< 0,0001	< 0,0002	≤ 0,00005	0,00065
Pb	≤ 0,00005	≤ 0,0003	0,0003	0,00006	< 0,0002	≤ 0,00005	0,00036
As	≤ 0,00005	≤ 0,0008	0,0008	< 0,00005		≤ 0,00005	0,0003
Si	≤ 0,0005	≤ 0,0012	0,001			≤ 0,0005	0,0008
P	≤ 0,00005	≤ 0,001	0,001	< 0,0002		≤ 0,00005	<0,0003
Cd	≤ 0,00005	≤ 0,0003	0,0003	< 0,00001		≤ 0,00005	<0,0001
Sn	≤ 0,00005	≤ 0,0003	0,0003			≤ 0,00005	<0,0001
Sb	≤ 0,00005	≤ 0,0003	0,0003			≤ 0,00005	<0,0001
Bi	≤ 0,00005	≤ 0,0003	0,0003			≤ 0,00005	<0,00002
Al	≤ 0,00005	≤ 0,001	0,001			≤ 0,00005	
Mn	≤ 0,00005	≤ 0,001	0,001			≤ 0,00005	< 0,0002
Mg	≤ 0,00005	≤ 0,001	0,001			≤ 0,00005	< 0,0002
O	< 0,007					≤ 0,01	
Вид продукции *	Д	К	РК, К	РК, К	РК, К	Д	К, РК
Размеры	D <20 мм	90 × 95 см Толщина: 3 / 5 мм		К: 77 × 130 см РК: 100 × 100 50 × 50 мм Толщина: 13–15 мм	К: 72 × 128 см РК: 25 × 25 50 × 50 100 × 100 мм	D <20 мм	К: 800×900 (+/-50) мм 880×1050 (+/-50) мм толщина: 2–6 мм РК: 25,4×25,4 мм 50,8×50,8 мм 101,6×101,6 мм Толщина: 2–6 мм

* К – катоды; РК – резаные катоды; Д – дробь. ** Регистрация на ЛБМ не продлена.

Продолжение таблицы 1.5

Марки	Severonickel Combine Н-1	NORNICKEL	Norilsk Nickel Harjavalta	Norilsk Nickel Harjavalta
Завод	Kola GMK, Россия	Kola GMK, Россия	Norilsk Nickel Harjavalta	Norilsk Nickel Harjavalta
Химический состав				
Ni	99,96	> 99,7	> 99,7	> 99,80
Co	0,011	0,0222	0,0222	0,0020
Fe	0,0051	0,0001	0,0001	0,0041
C	0,007	0,0026	0,0026	0,0202
S	0,0006	0,0009	0,0009	
Cu	0,011	0,0005	0,0005	< 0,0001
Zn	0,00085	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Pb	0,00065	0,0001	0,0001	< 0,0001
As	0,0003	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Si	0,0008	< 0,0005	< 0,0005	
P	< 0,0003	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Cd	< 0,0001			
Sn	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Sb	< 0,0001	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004
Bi	< 0,00002	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Al				
Mn		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Mg	< 0,0002			
O				
Вид продукции*	К, РК	К, РК	К, РК	б
Размеры	К: Технология электрорафинирования (с необрезанной кромкой) 890×980 (+/-50) мм 935×1135 (+/-50) мм 935×1185 (+/-50) мм (с обрезанной кромкой) 800×900 (+/-50) мм 900×1120 (+/-50) мм 900×1160 (+/-50) мм Толщина: 2–-6 мм	К: 890×970 мм Толщина: 7–12 мм РК: 12,7×12,7 мм, 25,4×25,4 мм, 50,8×50,8 мм 101,6×101,6 мм Толщина: 8–12 мм	К: 890×970 мм Толщина: 7–12 мм РК: 12,7×12,7 мм, 25,4×25,4 мм, 50,8×50,8 мм 101,6×101,6 мм Толщина: 8–12 мм	30×40×20 мм

Окончание таблицы 1.5

Размеры	Технология электроэкстракции: 1340×935 мм Толщина: 3–12 мм РК: 25,4×25,4 мм, 50,8×50,8 мм, 101,6×101,6 мм Толщина: 2-6 мм			
* К – катоды; РК – резаные катоды; Д – дробь.				

В дополнение к таблице 1.5 в таблице 1.6 приведено описание никелевой продукции зарубежных производителей, не зарегистрированной на ЛБМ.

Таблица 1.6 – Описание и химический состав никелевой продукции, не зарегистрированной на ЛБМ (данные компаний)

	Pellets:			**Rounds:**	**Disks:**	
Завод/ Компания	Copper Cliff/ Vale	Clydach/ Vale	Clydach/ Vale	Long Harbour/ Vale	Copper Cliff, Vale	Clydach,Vale
Наимен.	Nickel P-Pellets	Nickel P-Pellets	Nickel S-Pellets	Nickel Melt Rounds	Nickel Disks	Nickel Disks
Хим. состав						
Ni	> 99,98	> 99,98	> 99,97	Min 99,8	Min 99,8[1]	Min 99,8[1]
Co	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002			
Fe	< 0,0006	< 0,004	< 0,004			
C	< 0,007	< 0,011	< 0,005			
S	< 0,0001	< 0,0002	~ 0,022 - 0,030			
Cu	< 0,00004	< 0,0001	< 0,0001			
Zn	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002			
Pb	< 0,000002	< 0,00001	< 0,000001			
As						
Вид продукции	Карбонил. дробь	Карбонил. дробь	Карбонил. дробь	Электр. никель в виде «пуговиц»	Карбонильный Ni в виде дисков	
Размеры	Диам. ≈ 8–12 мм	Диам. ≈ 8–12 мм	Диам. ≈ 6–14 мм	Диам. ≈ 25–29 мм, толщина ≈ 5–6 мм, вес 26–32 г	Диам. ≈ 14–18 мм, толщина 3,5–5,5 мм	Диам. > 11 мм, толщина > 5 мм
[1] – по химическому составу превосходят следующие стандарты: ASTM B39, BS 375, R 99.5, NR9980, ISO 6283						

Продолжение таблицы 1.6

	Chips:					
Завод, Компания	Copper Cliff, Vale	Clydach, Vale	Jinhcuan/ Jinhcuan Group			
Наимен.	Nickel Plating Chips	Nickel Plating Chips	Electrolytic Nickel Chips			
			P-1	P-2	H-1	H-2
Хим. состав						
Ni	> 99,98	> 99,98	> 99,96*	> 99,9*	> 99,94*	> 99,9*
Co	< 0,00002	< 0,00002	0,02	0,08	0,02	0,08
Fe	< 0,0006	< 0,004	0,01	0,02	0,01	0,02
C	< 0,007	< 0,007	0,01	0,01	0,01	0,02
S	< 0,0001	< 0,0001	0,001	0,001	0,02	0,02
Cu	< 0,00004	< 0,0002	0,01	0,02	0,01	0,02
Zn	< 0,00002	< 0,00002	0,0015	0,002	0,0015	0,002
Pb	< 0,000002	< 0,000003	0,001	0,001	0,001	0,001
Si			0,002	0,002	0,002	0,002
Pb			0,001	0,001	0,001	0,001
As			0,0008	0,001	0,0008	0,001
Cd			0,0003	0,0008	0,0003	0,0008
Sn			0,0003	0,0008	0,0003	0,0008
Sb			0,0003	0,0008	0,0003	0,0008
Bi			0,0003	0,0008	0,0003	0,0008
Mg			0,001	0,002	0,001	0,002
Вид продукции	Карбонильный Ni в виде «похожем на диски»		Электролитный Ni в виде «пуговиц»			
Размеры	Диам. ≈17–25 мм, толщина ≈4–5 мм	Диам. ≈18–22, толщина ≈4–5 мм				
* - Ni+Co						

Продолжение таблицы 1.6

	Tonimet		**Utility**		**Handy Nickel**	
Завод, Компания	Matsusaka, Vale		Kaohsiung, Onsan, Dalian, Vale	Long Harbour, Vale	Niihama, Sumitomo Metal Mining	
Наимен.	Tonimet briquettes	Tonimet compacts	Utility Nickel	Utility Rounds	Handy-E	Handy-S
Хим. состав						
Ni	~ 93	~ 97	> 97	~ 97	≥ 99,8	≥ 99,9*
Co	~ 1,3	~ 1,3	~ 1,4	~ 2,4	≤ 0,15	
Fe	~ 0,6	~ 0,6	~ 0,7	~ 0,015	≤ 0,02	≤ 0,02
C			~ 0,2	~ 0,005	≤ 0,01	≤ 0,010
S	~ 0,003	~ 0,003	~ 0,1	~ 0,0005	≤ 0,001	0,01 - 0,03
Cu	~ 0,1	~ 0,1	~ 0,4	~ 0,090	≤ 0,005	≤ 0,005
Si			~ 0,1	~ 0,001	≤ 0,004	≤ 0,005
P	< 0,001	< 0,001	~ 0,005	~ 0,0001		
Cr						
Mn					≤ 0,001	≤ 0,001
Pb					≤ 0,0015	≤ 0,0015
Вид прод-и	Ni, рафинир. по собств. способу в виде гранул или брикетов	Ni, рафинир. по собств. способу в виде «прессовок» цилиндрич. формы	Ni, рафинир. по собств. способу в виде дроби	Ni, рафинир. по собств. способу в виде «пуговиц»	Электрол. Ni в виде «пуговиц»	
Размеры	Гранулы: 10–100 меш. 0,2–0,4 мм (60–90 %) 0,4–0,9 мм (10–40 %) Брикеты: 20×30×15 мм	Диам. × высота 25×15 мм	3 – 80 мм (> 96 %)	Диам. 25–29 мм, толщина 5–6 мм, вес 26–32 г	Диаметр ~ 20 мм	
* - Ni+Co						

Окончание таблицы 1.6

Завод, Ком-пания	Nikkelverk, Glencore				Nikkelverk, Glencore
Наимен.	**Crowns:**				
	Crowns	Microcrowns	D-crowns	D-Microcrowns	
Хим. состав					
Ni	> 99,98	> 99,98	> 99,95	> 99,95	> 99,99
Co	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Fe	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,0005
C	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,0015
S	< 0,0002	< 0,0002	< 0,022	< 0,02	< 0,0002
Cu	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Zn	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	
Pb	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	Max 0,00010
Si					
H					< 0,0003
N					< 0,0002
O					< 0,002
Ag					Max 0,00010
Zn					< 0,0002
Mg					
Al					
Ca					
Cr					
Mn					
Вид продукц.	Элетрол. Ni в виде «корон»	Электрол. Ni в виде «микро-корон»	Электрол. Ni с доб. S в виде «корон»	Электрол. Ni с доб. S в виде «микро-корон»	Электрол. Ni с пониженным сод-ем C в виде резанных квадратов
Размеры	D ~ 20 мм	D ~ 12 мм	D ~ 20 мм	D ~ 12 мм	50 X 50 мм

Мировое производство рафинированного кобальта, по оценкам Cobalt Institute (CI) – Института кобальта (ранее Cobalt Development Institute), составило в 2018 году 124,3 тыс. т, что на 7,4 тыс. т выше показателя 2017 года [6] (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Производство рафинированного кобальта в 2017–2018 годах, т

Компания/страна	2017	2018
Китай (исключая производство Umicore в Китае)	69600	78360
Freeport Cobalt, Финляндия (ранее OMG)	12221	12874
Glencore: Nikkelverk, Норвегия (ранее Falconbridge)	3500	4200
Glencore: Katanga Mining, Демократическая Республика Конго	0	0
Glencore: Minara, Австралия	3000	3200
Umicore, Бельгия (включая производство в Китае)	6987	6360
Chambishi Metals, Замбия (90 % ERG)	2520	1613
Sumitomo, Япония	4159	3669
NPMC, Канада (Sherritt)	3601	3234
Ambatovy, Мадагаскар (40 % Sherritt)	3053	2852
Queensland Nickel, Австралия	0	0
Норильский никель, Россия	2077	1800
Vale, Канада (ранее Inco)	2906	2918
CTT, Марокко	1428	1619
Votorantim, Бразилия	46	8
ЮАР	1062	1089
Gecamines, Демократическая Республика Конго	400	400
Eramet, Франция	277	48
Индия	100	100
Итого:	116937	124344

Существенный вклад в предложение вносит вторичный кобальт – порядка 10 тыс. т/г, в том числе в США около 2,8 тыс. т. Однако оценки объёмов его производства носят весьма приблизительный характер, так как многие предприятия перерабатывают как первичное, так и вторичное сырье, и разделить эти потоки не представляется возможным.

По оценкам CI, кажущееся потребление кобальта (производство + импорт и минус экспорт) составило в 2018 году около 125 тыс. т против 123 тыс. т в 2017 году [6].

Основная часть кобальта используется при производстве аккумуляторных батарей (~ 76 тыс. т в 2018 году) и суперсплавов (~ 17,6 тыс. т в 2018 году), причём уровень производства перезаряжаемых источников энергии и, соответственно, потребление кобальта неуклонно растут (рисунок 1.2). Так, если в 1995 году спрос на кобальт в этом секторе потребления оценивался на уровне 700 т, то в 2014 году он приблизился к 40 тыс. т, а в 2018 году – к 76 тыс. т (60 % мирового спроса). На все прочие области пришлось порядка 26 % мирового спроса [7].



Рисунок 1.2 – Структура потребления кобальта в 2018 году (100 % = 126 тыс. т)

По Кобальтовому контракту Лондонской биржи металлов (ЛБМ), введённому в действие в 2009 году, поставляемый кобальт должен был иметь чистоту минимум 99,3 %, но с января 2018 года этот показатель заменён на 99,80 %. Таким образом, на ЛБМ может быть поставлен кобальт минимальной чистоты 99,80 %, а содержание прочих элементов указывается каждым производителем зарегистрированной на ЛБМ марки кобальта. (таблицы 1.8, 1.9) Кобальт может быть в виде катодов (ломаных или резаных), слитков, брикетов, «пуговиц» или (с 2015 года) крупнозернистого порошка.

Таблица 1.8 – Марки кобальта, зарегистрированные на ЛБМ (по данным ЛБМ)

Производитель/страна	Марка	Вид продукции[1]
Votorantim Metais S.A., Бразилия	TOCANTINS ALLOY GRADE 99,8 %[2]	ЛК
Vale Canada Limited, Канада	VALE ELECTROLYTIC CO-BALT ROUNDS	ПГ
Yantai Cash Industrial Co., Ltd., Китай	CASH (см.17/241)	РК
Jinchuan Group Co., Ltd, Китай	GOLDEN CAMEL 9995	РК
Jiangsu Cobalt Nickel Metal Co., Ltd., Китай	KLK 9995	РК
Huayou Cobalt Co., Китай	Huayou[3]	РК
Freeport Cobalt Oy, Финляндия	FC Coarse Powder S1 d200/1000	П
Sumitomo Metal Mining Co., Ltd, Япония	SMM CO 99,8 %	РК
CTT – Compagnie de Tifnout Tiranimine, Марокко	CMBA[4]	ЛК
Kasese Cobalt Company Limited, Уганда	KCCL[2]	ЛК
JSC «Kola GMK», Россия	NORILSK 1	РК
Chambishi Metals Plc, Замбия	CMA	ЛК
Chambishi Metals Plc, Замбия	CMP	ЛК

1. Виды продукции: ЛК – ломаные катоды; РК – резаные катоды; ПГ – «пуговицы»; СЛ – слитки; П – порошок.
2. Регистрация на ЛБМ не продлена.
3. Произведён 16.07.2019 г. или после этой даты.
4. Произведён 26.04.2011 г. или после этой даты.

Таблица 1.9 – Описание и химический состав кобальтовой продукции, зарегистрированной на ЛБМ (Co – мин. содержание, примеси – макс. содержание)

Марки	VALE ELECTRO-LYTIC COBALT ROUNDS	TOCANTINS AL-LOY GRADE 99,8 %[1]	SMM CO 99.8 %	GOLDEN CAMEL 9995	KCCL[2]	KLK 9995	CASH	CASH пере-смотр.	CMBA	CMBA пере-смотр.
Регистрация	18.04.2012	17.11.09	23.11.09	30.11.09	18.01.10	29.01.10	04.05.10	04.05.10	26.04.11	22.08.18
Хим. состав										
Al	0,0002	0,0010		0,002		0,003	0,001	0,002		
As	0,0002			0,0005	0,00002	0,0005	0,0003	0,0007		
Bi				0,0003		0,0005	0,0003	0		
C	0,0050	0,0060	0,01	0,005	0,012	0,007	0,005	0,005	0,0075	0,010
Ca		0,0010			0,005				0,0050	0,0050
Cd	0,0001	0,0020	0,0005	0,0003	0,005	0,0005	0,0003	0,005	0,0010	0,0010
Co	99,8	99,80	99,8	99,95	99,8	99,95	99,95	99,95	99,80	
Cr		0,0010			0,005				0,0020	0,0020
Cu	0,0002	0,0030	0,01	0,003	0,02	0,006	0,004	0,005	0,0050	0,0050
Fe	0,0008	0,0100	0,01	0,006	0,02	0,006	0,005	0,006	0,010	0,010
Mg		0,0010		0,002	0,005	0,002	0,001	0,002	0,002	0,0020
Mn	0,0008	0,0030	0,001	0,005	0,01	0,005	0,001	0,005	0,0050	0,0100
Ni	0,17	0,0800	0,15	0,002	0,08	0,008	0,005	0,01	0,030	0,030
P	0,0005			0,001		0,002	0,001	0,001		
Pb	0,0008	0,0020	0,001	0,0004	0,01	0,0005	0,001	0,0005	0,0050	0,0100
S	0,0010	0,0050	0,001	0,001	0,008	0,002	0,001	0,001	0,007	0,010
Sb	0,0004			0,0003		0,0005	0,0003	0,0006		
Se	0,0001									
Si		0,0010	0,001	0,003		0,003	0,001	0,003		
Sn				0,0003		0,0005	0,0003	0,0005		
Zn	0,0016	0,0025	0,005	0,002	0,01	0,003	0,001	0,002	0,0050	0,0050
Вид продукции[3]	ПГ	ЛК	РК	РК	ЛК	РК	ЛК	ЛК	ЛК	ЛК

Окончание таблицы 1.9

Марки	CMA	CMP	FC Coarse Co Powder Powder	Norilsk 1	Huayou
Регистрация	29.08.2013	29.08.2013	22.12.2016	08.05.2019	16.07.2019
Хим. состав					
Al	0.0010	0.0010			
As					
Bi					
C	0.0200	0.0100	0.1	0.01	0.0047
Ca					
Cd	0.0050	0.0015	0.001	0.0003	0.0005
Co	99.80	99.90	99.8	99.90	99.99
Cr					
Cu	0.0050	0.0040	0.0015	0.005	0.0007
Fe	0.0100	0.0050	0.001	0.005	0.0017
Mg	0.0030	0.0010			
Mn	0.0100	0.0020	0.005	0.0001	0.0002
Ni	0.0500	0.0400	0.005	0.05	0.0008
P					
Pb	0.0060	0.0040	0.001	0.0003	0.0002
S	0.0050	0.0050	0.04	0.001	0.0002
Sb					
Se					
Si	0.0010	0.0010			
Sn					
Zn	0.0070	0.0050	0.001	0.0004	0.0002
Вид продукции[3]	ЛК	ЛК	П	РК	РК

1. Регистрация не продлена.
2. Марка снята с регистрации.
3. Виды продукции: ЛК – ломаные катоды, РК – резаные катоды, ПГ – «пуговицы», П – крупнозернистый порошок..

1.1. Никель- и кобальтсодержащие руды. Запасы и ресурсы

Содержание никеля в земной коре составляет около 0,01 % масс., он занимает пятое место по распределению в земной коре, уступая лишь Fe, O, Si и Mg. Однако число пригодных для экономически эффективного извлечения металла промышленных месторождений ограничено.

Мировые запасы никеля в рудах оцениваются в 89 млн т. Выявленные наземные ресурсы никеля в рудах (табл. 1.10), содержащих 1 % никеля или больше, составляют по крайней мере 130 млн т никеля, в том числе 60 % в латеритовых и 40 % в сульфидных месторождениях. Значительные ресурсы никеля сосредоточены также в глубоководных конкрециях.

Около 8,5 % мировых запасов никеля сосредоточено в России (7,6 млн т). По этому показателю Россия занимает 4-е место в мире, уступая Индонезии (21 млн т), Австралии (19 млн т) и Бразилии (11 млн т) [8].

Таблица 1.10 – Мировые запасы никеля на 2018 год, тыс. т

Страна	Запасы
Индонезия	21000
Австралия	19 000
Бразилия	11 000
Россия	7900
Новая Каледония	н/д
Куба	5500
Филиппины	4800
Южная Африка	3700
Китай	2800
Канада	2700
Гватемала	1800
Мадагаскар	1600
Колумбия	440
США	110
Другие страны	6500
Итого	89 000

Мировые запасы кобальта, по оценкам US Geological Survey, составляют 6,9 млн т, а выявленные наземные ресурсы – около 25 млн т. В дополнение к этому ресурсы кобальта в железомарганцевых конкрециях и корках на океанском дне оцениваются почти в 120 млн т [9].

Основными геолого-промышленными типами месторождений никеля и кобальта являются магматические сульфидные медно-никелевые, гипергенные силикатные никелевые коры выветривания и гидротермальные арсенидные и сульфоарсенидные никель-кобальтовые и собственно кобальтовые месторождения (табл. 1.11, 1.12). Важнейшие промышленные минералы никеля (и кобальта) приведены в табл. 1.13.

Таблица 1.11 – Мировые запасы кобальта на 2018 год, тыс. т [9]

Страна	Запасы
Демократическая Республика Конго	3400
Австралия	1200
Куба	500
Филиппины	280
Россия	250
Канада	250
Мадагаскар	140
Китай	80
Папуа-Новая Гвинея	56
США	38
ЮАР	24
Марокко	17
Прочие страны	640
Итого	6900

Таблица 1.12 – Содержание никеля и прочих компонентов в суммарных запасах сульфидных и окисленных руд, разрабатываемых никелевыми компаниями, по состоянию дел на 2018 год [10-20]

Компания/рудник	Содержание, %			Содержание, г/т			
	Ni	Cu	Co	Pt	Pd	Au	Примечания
Сульфидные руды:							
Vale (Садбери)	1,40	1,78	0,03	1,2	1,5	0,5	
Vale (Манитоба)	1,76	0,10					на 2010 г.
Vale (Voisey's Bay)	2,12	0,94	0,13				
Glencore (INO: Raglan и Садбери)	2,17	0,94	0,05	0,58	1,02		
Lundin (Eagle)	2,8	2,4	0,1	0,7	0,5	0,3	На 2016 г. Ag 3,4
BHP Billiton (Mt Keith)	0,65						
BHP Billiton (Leinster)	1,6						
Норильский никель (Талнахский узел)	0,93	1,71	н/д	1,12	4,21	0,24	
Норильский никель (Кольский п-в)	0,59	0,28	н/д	0,02	0,03	0,01	
Окисленные руды:							
Vale (Sorowako)	1,74						Fe-21;SiO_2-32; MgO-15

Окончание таблицы 1.12

Компания/рудник	Содержание, %			Содержание, г/т			
	Ni	Cu	Co	Pt	Pd	Au	Примечания
Vale (Onca Puma)	1,53		0,044				Fe-13; SiO_2-39; MgO-24
Vale (VNC (Goro))	1,42		0,11				Данные на 2014 г MgO-4,64
Glencore (MurrinMurrin)	1,05		0,081				
Glencore (Koniambo)	2,22						
South32 (Cerro Matoso)	1,2						
Larco (Греция)	1-1,3						
Sherritt (Moa Bay)	1,15		0,12				44 Fe
Sumitomo (Coral Bay)	1,26						
Sumitomo (Taganito)	1,25						
Antam (сапролит)	1,5-2,5						25 Fe max
Antam (лимонит)	1,2min						≥ 25 Fe
Sherritt (Ambatovy)	0,93		0,08				

Таблица 1.13 – Важнейшие промышленные минералы никеля и кобальта [21]

Название минерала и химическая формула	Содержание, %	
	Ni	Co
Сульфиды		
Пентландит $(Fe, Ni)_9S_8$	22–42	1–3
Никелистый пирротин FeS	0,4–0,7	–
Миллерит NiS	61–64	0,1–0,5
Линнеит Co_3S_4	–	40–53
Кобальтпирит $(Fe, Co)S_2$	–	0,05–3
Арсениды, сульфоарсениды и арсенаты		
Скуттерудит $CoAs_3$	0–9	11–20
Саффлорит $(Co, Fe)As_2$	0–0,3	10–30
Шмальтин – хлоантит $(Co, Ni)As_2$	1–21	4–24
Кобальтин CoAsS	0,5–2	26–34
Эритрин $Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$	0–6	20–30
Силикаты, гидросиликаты и гидроксиды		
Гарниерит $(Ni, Mg)_4[Si_4O_{10}] (OH)_4 \cdot 4H_2O$	16–35	0–0,1
Ревдинскит $(Ni, Mg)_8[Si_4O_{10}] (OH)_8$	16–35	0,0–0,1
Никелевый керолит $(Mg, Ni)_4[Si_4O_{10}] (OH)_4 \cdot 4H_2O$	10–15	Следы
Нонтронит $m\{Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2\}\ p\{(Al, Fe)_2\ [Si_4O_{10}] (OH)_2\}$	0,5–2,0	Следы
Никелевый серпофит $(Mg, Ni, Fe)_6[Si_4O_{10}] (OH)_8$	4–5	Следы

Характерной особенностью сульфидных месторождений, сосредоточенных преимущественно на территории России и Канады, является сравнительно выдержанный

минеральный состав руд. Главными минералами руд являются пирротин, пентландит, халькопирит и магнетит. Руды содержат никель, медь, кобальт, платиноиды, а также селен и теллур, золото, серебро и серу. Месторождения описываемого типа являются ведущими в запасах и добыче никеля и кобальта в России.

В сульфидных рудах чаще всего основная часть никеля встречается в виде минерала пентландита (Ni, Fe)$_9$S$_8$. Лишь небольшие количества никеля бывают представлены миллеритом NiS, виоларитом Ni$_2$FeS$_4$ и никельсодержащим пирротином (Fe, Ni)$_8$S$_9$. В рудах некоторых месторождений Австралии, например, существенная часть никеля представлена полидимитом Ni$_3$S$_4$. Пентландит всегда встречается вместе с другими сульфидными минералами, чаще всего с пирротином Fe$_8$S$_9$ и халькопиритом CuFeS$_2$. Эти сульфидные минералы вмещает силикатная и алюмосиликатная порода. В табл. 1.14 приведён примерный минералогический состав некоторых сульфидных руд.

Таблица 1.14 – Минералогический состав некоторых канадских сульфидных никелевых руд [22]

Рудники	Пентландит, %	Халькопирит, %	Пирротин, %	Пустая порода, %
Raglan	8	2,4	11	79
Садбери (1)	3,6	4,3	23	70
Садбери (2)	3–6	2–5	20–30	Остальное
Манитоба, Томпсон	7	0,4	11	70

Большинство месторождений окисленных (латеритовых) руд, представляющих интерес для добычи, сосредоточено в экваториальном поясе: в Новой Каледонии, на Кубе, Мадагаскаре, Филиппинах, в Индонезии и др. Силикатные никелевые месторождения России играют подчинённую роль в запасах и добыче никеля и кобальта. Минеральный состав окисленных никелевых руд очень сложный: металлы распределены по многим минеральным формам и представлены как силикатными, так и оксидными и гидроксидными соединениями.

Двумя основными подтипами латеритовых руд, представляющих коммерческий интерес, являются лимониты и сапролиты. Лимониты обычно залегают ближе к поверхности, непосредственно под покрывающим пластом (зона феррикрета), ниже залегают сапролиты. Лимониты и сапролиты существенно различаются по составу. В целом в лимонитах содержание никеля (0,8 – 1,5 %), магния (0 – 5 % MgO) и кремнезёма (0 – 10 % SiO$_2$) ниже, а железа (40 – 50 %) и кобальта (0,10 – 0,20 %) выше, чем в сапролитах. В случае если никель сосредоточен в основном в силикатной фазе сапролитовой зоны, латеритовое месторождение относят к «гарниеритовому типу», содержащему 1,8 – 3,5 % Ni, 0,02 – 0,08 % Co, 10 – 25 % Fe, 15 – 25 % MgO и 30 – 50 % SiO$_2$.

Чисто лимонитовая руда представляет собой в основном окислы (гидроокислы) железа, в то время как серпентинитовая руда представлена в основном сложными железо-магниевыми силикатами. В обеих разновидностях окисленных руд никель изоморфно замещает железо (и магний) в решётке, соответственно, окислов и силикатов

(за очень редким исключением в таких рудах присутствуют собственно никелевые силикаты), поэтому окисленные руды не могут быть обогащены с применением обычных физических методов обогащения (флотации, гравитации и т. п.), как это имеет место при переработке сульфидных руд. Иногда производится рудоразборка с отбраковыванием крупных кусков – фазы, которая в ряде случаев существенно обеднена никелем (например, обогащение разделением по классам крупности было заложено в схему Cawse). Однако этот приём позволяет лишь незначительно обогатить сырьё.

Почти половина мировых запасов кобальта сосредоточена в Демократической Республике Конго в многочисленных медно-кобальтовых месторождениях Медного пояса, тянущегося из Замбии через провинцию Катанга в юго-восточной части Демократической Республики Конго. Содержание кобальта в наиболее богатых зонах достигает 1 – 2 %. Первичная минерализация – сульфидная; основные медьсодержащие минералы – халькопирит, халькозин Cu_2S; кобальт преимущественно – в карролите ($Cu(Co, Ni)_2S_4$). Гипергенная (вторичная) минерализация ассоциирована с высокой степенью окисления минералов, залегающих вблизи поверхности (не глубже 100 м от поверхности). Медь и кобальт сосредоточены преимущественно в малахите $Cu_2CO_3(OH)_2$ и гетерогените CoO(OH). Содержание кобальта обычно составляет 0,3 %, меди – ~3 %.

На сегодняшний день богатые кобальтом месторождения так называемой первичной кобальтовой руды, или собственно кобальтовой руды, практически исчерпаны. Единственным рудником (подземным), где с 1928 года по сию пору ведут разработку, является рудник Bou-Azzer (Марокко) компании CTT Managem. Содержание кобальта в руде, включающей Co-Ni-Fe-арсениды и сульфоарсениды (главный промышленный минерал скуттерудит (Co, Fe, Ni) As_2), а также сульфиды меди и молибденит – высокое, порядка 1 %.

Имеются проекты добычи и переработки мышьяковистой руды: проект Idaho Cobalt Project (США), где основными кобальт- и медьсодержащими минералами являются соответственно кобальтин CoAsS и халькопирит $CuFeS_2$; проект NICO (Канада) компании Fortune Minerals, предусматривающий переработку Co-Bi-Cu-Au-руды, в которой основным кобальтсодержащим минералом является арсенопирит и др.

1.2. Добыча никеля и кобальта

Новых крупных сульфидных месторождений никеля и тем более богатых в последние годы не выявлено. Некоторые разрабатываемые десятилетиями месторождения сульфидной руды имеют ограниченный оставшийся срок эксплуатации.

В ретроспективе объём добычи никеля из сульфидных руд заметно превышал добычу из латеритовых руд, однако в последние годы доля сульфидного никеля в общем объёме добычи снизилась (табл. 1.15).

Таблица 1.15 – Горная добыча никеля в 2017–2018 годы по странам, тыс. т Ni [8]

Страна	2017	2018
Индонезия	345	560
Филиппины	366	340
Новая Каледония	215	210
Россия	214	210
Австралия	179	170
Канада	214	160
Китай	103	110
Бразилия	78,6	80
Куба	52,8	53
Гватемала	53,7	49
Финляндия	34,6	46
ЮАР	48,4	44
Колумбия	45,5	43
Мадагаскар	41,7	39
США	22,1	19
Прочие страны	146	180
МИР	2160	2300

По данным US Geological Survey, мировая добыча кобальта в 2018 году составила 140 тыс. т, причём более 60 % приходится на Демократическую Республику Конго (Киншаса) (табл. 1.16).

Таблица 1.16 – Горная добыча кобальта в 2017–2018 годах тыс. т [9]

Страна	2017	2018
ДР Конго	73,0	90,0
Россия	5,9	5,9
Куба	5,0	4,9
Австралия	5,0	4,7
Филиппины	4,6	4,6
Канада	3,9	3,8
Мадагаскар	3,5	3,5
Папуа-Новая Гвинея	3,3	3,2
Китай	3,1	3,1
Марокко	2,2	2,3
ЮАР	2,3	2,2
США	0,6	0,5
Прочие страны	7,65	7,0
МИР:	120	140

1.3. Производство никеля и кобальта

Технологические схемы переработки никелевых руд определяются их типом и особенностями химического состава. Так, если переработка сульфидных руд не отличается разнообразием (за исключением трёх гидрометаллургических производств – Надеждинского металлургического завода в Норильске (Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель», Россия), завода в Long Harbour (Vale, Канада) и предприятия компании Terrafame в Финляндии, головными операциями технологической схемы являются пирометаллургические процессы, обеспечивающие получение медно-никелевого файнштейна), то схемы получения никеля из латеритов весьма разнятся между собой, как по типу и набору технологических операций, так и по виду конечной продукции. При этом наибольшее распространение имеет плавка окисленной никелевой руды на ферроникель, в меньшей степени распространены процессы высокотемпературного автоклавного выщелачивания и Карон-процесс (таблицы 1.17.1, 1.17.2). В настоящее время всё шире применяется плавка окисленных никелевых руд на никелистый чугун (продукт, близкий по составу к ферроникелю), весьма широко востребованный при производстве нержавеющих сталей.

Таблица 1.17.1 – Никелевые предприятия, перерабатывающие сульфидную руду

№ пп	Компания, плав. завод/страна	Подготовка сырья	Плавка/ конвертирование	Рафинирование/ продукт
Пирометаллургическая переработка флотационных концентратов				
1.	Glencore Sudbury/Канада	Обжиг в КС флотац. концентрата	Плавка на штейн в электропечи/конвертеры Пирса-Смита	Хлорное выщелачивание ф-на на заводе Nikkelverk, Норвегия Катодные Ni, Co, Cu
2.	Boliden Harjavalta/ Финляндия	Сушка концентрата	Взвешенная плавка по способу DON	Файнштейн с 4 - 6 % Fe и Ni+Cu+Co ≈ 70 % на продажу
3.	Asa Resource Group Bindura / Зимбабве (высокая степень готовности возобновления производства)	Сушка концентрата	Плавка на штейн в электропечи/конвертеры Пирса-Смита	Выщелачивание ф-на по способу Outokumpu Катодный Ni, гидроксид Co
4.	BHP Billiton Kalgoorlie/Австралия	Сушка конц-та	Взвешенная плавка на штейн по способу Outotec/конвертеры Пирса-Смита	Аммиачное выщелачивание – восстановление водородом на заводе Kwinana
5.	ПАО «ГМК «Норильский никель»			Флотационное выделение никелевого концентрата, окислительный и восстановительный обжиг, рафинирование черновых никелевых анодов, либо хлорное растворение восстановленного огарка и электроэкстракция

Окончание таблицы 1.17.1

№ пп	Компания, плав. завод/страна	Подготовка сырья	Плавка/ конвертирование	Рафинирование/ продукт
7.	Vale плав. Copper Cliff/ Канада	Сушка конц-та	Взвешенная плавка по способу Inco/конвертеры Пирса-Смита	Медленное охлаждение файн-штейна, выделение магн. фракции с ~ 65 % Ni для рафинир. завода Copper Cliff и немагн. фракции – на флотац. раздение Cu_2S-конц-та и Ni_3S_2-кон-та; медный конц. – на плавку, никелевый – на обжиг до NiO и далее на Clydach
	Рафинир.Copper Cliff/ Канада		Карбонил-процесс	Карбонильные порошки никеля
	Clydach/Великобритания		Карбонил-процесс	Карбонильные порошки никеля
8.	Jinchuan Nickel Jinchuan/Китай	Сушка конц-та	Взвешенная плавка на штейн по способу Outotec/конвертеры Пирса-Смита	Электрорафинирование с получением катодного Ni и карбонилирование с получением порошков
Гидрометаллургическая переработка сульфидной руды				
9.	Vale Long Harbour/Канада	Автоклавное выщелачивание концентрата по схеме, запатентованной Vale в 2000 г.		Катодные Ni (>99,80 %, >99,9 %), Co (>99,9 %), Cu (99,999 %)
10.	Terrafame Tarlivaara/Финляндия	Кучное биовыщелачивание		Ni/Co смешанный сульфид, (сульфид цинка, сульфид меди и жёлтый кек) – на продажу
11.	ПАО «ГМК «Норильский никель» НМЗ	Автоклавное выщелачивание пирротинового концентрата, осаждение сульфидов, выделение серы		Ni/Cu/Co сульфидный концентрат и элементарная сера

Таблица 1.17.2 – Никелевые предприятия, перерабатывающие окисленную руду

№ пп	Компания, завод/страна	Способ переработки	Продукт
Пирометаллургическая переработка окисленной руды:			
1.	Sumitomo Metal Mining Hyuga/Япония	Традиционная технология RKEF (вращающаяся обжиговая печь – плавка в электропечи) – рафинирование чернового FeNi	FeNi
2.	Nippon Yakin Oheyama/Япония	Модифицир. процесс Krupp-Renn	FeNi

Продолжение таблицы 1.17.2

№ пп	Компания, завод/страна	Способ переработки	Продукт
3.	Pacific Metals Hachinohe/Япония	RKEF	FeNi
4.	POSCO Gwangyang/Южная Корея	RKEF	FeNi
5.	Americano Nickel Falcondo/Доминиканская респ.	RKEF	FeNi
6.	Glencore Koniambo/Новая Каледония	Новая технология FBDC («обжиговая печь с кипящим слоем – плавка в электропечи на постоянном токе») – рафинирование черн. FeNi	FeNi
7.	Anglo American Codemin/Бразилия	RKEF	FeNi
8.	Anglo American Barro Alto/Бразилия	RKEF	FeNi
9.	South32 Cerro Matoso/Бразилия	RKEF	FeNi
10.	Vale Onca Puma/Бразилия	RKEF	FeNi
11.	Aneka Tambang Pomalaa/Индонезия	RKEF	FeNi
12.	Eramet Doniambo/Новая Каледония	RKEF	FeNi
13.	Larco Larymna/Греция	RKEF	FeNi
14.	Cunico Resources Kavadarci/Сев. Македония	RKEF	FeNi
15.	Cunico Resources Drenas/Косово	RKEF	FeNi
16.	Solway Investment Group Побужский завод/Украина (остановлен)	RKEF	FeNi
17.	Solway Investment Group ProNiCo/Гватемала	RKEF	FeNi
18.	ОАО «Уфалейникель» Уфалейникель/Россия (остановлен)	шахтная плавка	
19.	Vale Sorowako/Индонезия	Плавка на штейн/конвертирование	Файнштейн с ~75 %Ni, 20 %S, 20 % файнштей-на – для Sumitomo (на Niihama), 80 % - для переработки на заводе Matsu-zaka

Продолжение таблицы 1.17.2

№ пп	Компания, завод/страна	Способ переработки	Продукт
	Vale Matsuzaka/Япония	Двухстадийный обжиг файнштейна Sorowako до S≈0,003 %	2 марки никеля Tonimet
	Vale Dalian/Китай	Промпродукты Matsuzaka и Goro перерабатывается в готовый Ni класса II	Utility Nickel
Гидрометаллургическая переработка окисленной руды			
20.	СП Moa (Sherritt/General Niquel) Moa/Куба	Высокотемпературное АКВ	Смешанный Ni-Co сульфид (~60 %Ni+Co) для рафинирования на заводе Форт-Саскачесван
	Cobalt Refining Co (Sherritt) Fort Saskatchewan/Канада	Аммиачное выщелачивание – восстановление водородом	Порошки, брикеты (спечённые 99,8 % Ni, неспечённые – 99,4 %)
21.	Sumitomo (54 %) Coral Bay/Филиппины	Высокотемпературное АКВ	Смешанный Ni-Co сульфид для рафинирования на заводе Niihama
	Sumotomo (75 %) Taganito/Филиппины	Высокотемпературное АКВ	Смешанный Ni-Co сульфид для рафинирования на заводе Niihama
	Sumitomo Niihama/Япония	Рафинирование смеш. сульфидов и части файнштейна Sorowako по технологии: хлорное выщелачивание - электролиз	Электролит.Ni и Co
22.	Ramu NiCo (85 % у ММС, Китай) Basamuk/ Папуа-Новая Гвинея	Высокотемпературное АКВ	Смешанный Ni-Co гидроксид (~46 %Ni+Co по проекту) для отправки китайским переработчикам
23.	First Quantum Minerals Ravensthorpe/Австралия (законсервирован с 2017 г., план возобновления производства в 1 кв. 2020 г.)	Высокотемпературное АКВ лимонитов +атмосферное выщелачивание сапролита	Смешанный гидроксид (~40 %Ni, 1,4 %Co) на продажу

Окончание таблицы 1.17.2

№ пп	Компания, завод/страна	Способ переработки	Продукт
24.	Vale Goro/Новая Каледония	Высокотемпературное АКВ	Ni в оксиде (часть – в гидроксиде), карбонат Co
25.	СП Sumitomo/Kores/Sheritt Ambatovy/Мадагаскар	Высокотемпературное АКВ – восстановление водородом	Ni – 99,8 % порошок, брикеты, Co – 99,9 %
26.	Minara Resources («дочка» Glencore) Murrin Murrin/Австралия	Высокотемпературное АКВ – восстановление водородом; отходы рудоподготовки перерабатываются кучным выщелачиванием	Ni (99,8 %), Co порошки и брикеты
27.	СП 50:50 Zorlu Holdings (Турция)/ GSR Capital (Китай) Gördes/Турция	Высокотемпературное АКВ	Смешанный Ni-Co гидроксид
28.	Cubaniquel Punta Gorda/Куба	Карон-процесс (восстановительный обжиг – аммиачное выщелачивание)	Синтер, Ni-Co сульфид
29.	Votorantim Metais San Miguel Paulista (Tocantins)/Бразилия (остановлен до улучшения ситуации на рынке никеля)	Карон-процесс (восстановительный обжиг – аммиачное выщелачивание – восстановление водородом)	Катодные никель и кобальт
30.	Queensland Nickel Yabulu/Австралия (остановлен в 2017 г.)	Карон-процесс (восстановительный обжиг – аммиачное выщелачивание – прокалка карбоната никеля с получением NiO – восстановление NiO синтазом)	Ni в карбонате и оксиде (78 %), Ni ≥ 99,0 и Ni Hi Grade ≥ 99,45; Co ChemGrade 64,5-67 %

Учитывая растущую потребность рынка в материалах для производства перезаряжаемых батарей, Sumitomo расширила производство сульфата никеля до >70 тыс. т/г. Terrafame (Финляндия) приступает к производству сульфата никеля и кобальта с 2021 года. Компания BHP со 2 кв. 2020 года начинает производство сульфата никеля с исходной мощностью ~100 тыс. т/г сульфата или 22 тыс. т/г Ni в сульфате. Предусматривается расширение мощностей далее до 200 тыс. т/г по сульфату. Объем производства никеля рафинировочного завода Kwinana – около 75 тыс. т/г. Выпускаемый на рафинировочном заводе Kwinana никелевый порошок по схеме «аммиачное выщелачивание – восстановление водородом» будут растворять в серной кислоте, получаемой из SO_2, образующегося при плавке сульфидных концентратов на заводе Калгурли. На полной мощности завод будет потреблять 44 тыс. т/г никеля и станет крупнейшим в мире по выпуску сульфата.

1.3.1. Переработка латеритовых руд с получением богатых промпродуктов или товарных металлов

Латеритовые Ni-Co-руды перерабатывают пирометаллургическими методами (плавка на ферроникель, никелистый чугун или штейн), гидрометаллургическими методами (сернокислотное автоклавное выщелачивание, иногда в комбинации с атмосферным и кучным выщелачиванием) и комбинированными методами, сочетающими приёмы пиро- и гидрометаллургии (например, аммиачное выщелачивание по методу М. Карона). Выбор метода в значительной степени определяется химическим и минералогическим составом руды. Так, для переработки Mg-гидросиликатного подтипа руды почти в ¾ случаев применяется плавка. Напротив, для переработки железооксидного подтипа используются преимущественно гидрометаллургические способы, включая метод Карона (рисунок 1.3).

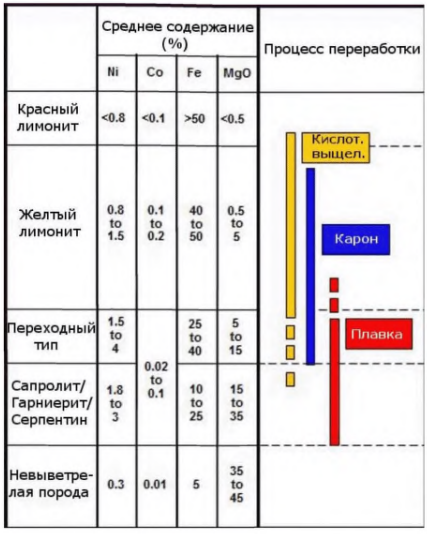


Рисунок 1.3 – Вертикальный разрез месторождения тропических Ni-Co латеритов [23]

Плавка латеритовой никелевой руды на ферроникель, никелистый чугун, штейн за рубежом

Совместное присутствие в латеритах никеля и железа создаёт предпосылки для получения железосодержащих никелевых продуктов – ферроникеля и никелистого чугуна, пригодных для производства нержавеющих сталей.

Сырьём для производства ферроникеля служит преимущественно сапролит (%: Ni – 1,5 – 3; Co – 0,04–0,08; Fe – 15; SiO_2–40; MgO – 25), позволяющий из-за пониженного по сравнению с лимонитом содержания железа при меньших производственных затратах получать ферроникель заданного состава.

Технологический процесс включает в себя сушку руды, обжиг, восстановление оксидов никеля и железа в электропечах с получением чернового ферроникеля и его рафинирование, обеспечивающее удаление серы и фосфора. Своеобразным стандартом отрасли стал процесс RKEF (rotating kiln – electric furnace), включающий в себя обжиг во вращающейся печи («RF») и восстановительную плавку в электропечи («EF»). В типичном случае готовый ферроникель содержит 20 – 40 % Ni.

Производство никелистого чугуна (НЧ) началось в Китае в 2005 году как реакция на высокие цены на никель, и уже к 2014 году никелистый чугун покрывал более половины потребности в никеле китайских производителей нержавеющей стали.

В технологическом отношении китайцы прошли следующий путь. Производство никелистого чугуна (~ 2 % Ni) началось в доменных печах, использовавшихся ранее для выплавки чугуна. Затем получила развитие плавка в электропечи: как и в случае с домнами, поначалу использовали уже имеющиеся печи, использовавшиеся ранее для выплавки других сплавов – FeSi, FeMn и др. В электропечах получают НЧ с 10 – 15 % Ni, что делает его пригодным для производства нержавеющих сталей серии 300.

С 2011 года началось быстрое развитие производства НЧ по хорошо известной технологии производства ферроникеля RKEF. Такой никелистый чугун как по составу, так и по способу производства практически ничем не отличается от обычного ферроникеля.

Переработка латеритовой руды на штейн осуществляется на единственном заводе – Sorowako компании Vale. В местных рудах отношение SiO_2/MgO ~ 2,1. При SiO_2/MgO 1,8 – 2,2 получается шлак со сравнительно низкой температурой плавления, что делает такие руды более пригодными для плавки на штейн, а не на ферроникель.

На заводе Sorowako производительностью порядка 80 тыс. т в год по никелю подсушенную во вращающейся печи руду подвергают сульфидирующему обжигу при 800 °С с вбрызгиванием жидкой серы, плавке на никелевый штейн (~ 26 % Ni) в электропечи и конвертированию в конвертерах Пирса-Смита с получением файнштейна с ~ 78 % Ni. Файнштейн гранулируют в сильном потоке воды, гранулы (0,3 мм) отправляют Sumitomo (20 % объёма файнштейна) и предприятия Vale в Азии для дальнейшей переработки (см. табл. 1.7).

Компания Eramet до 2016 года сульфидировала примерно 1/5 часть полученного на заводе Doniambo (Новая Каледония) ферроникеля: жидкую серу вдували в расплавленный рафинированный ферроникель (25 % Ni) в конвертере Пирса-Смита с получением файнштейна (75 % Ni, 1 % Co). Слитки файнштейна отправляли на завод компании Sandouville (Франция) для производства рафинированных никеля и кобальта (металлический никель высокой чистоты (> 99,97 %), хлорид и карбонат никеля, хлорид кобальта).

В рамках реорганизации производства никеля с целью сокращения издержек сульфидирование ферроникеля на заводе Doniambo прекращено, а завод Sandouville переходит на переработку файнштейна с завода Harjavalta компании Boliden.

Гидрометаллургическая переработка латеритовых руд

Высокотемпературное сернокислотное автоклавное выщелачивание (HPAL) является вторым по распространённости в мире процессом, предназначенным для производства никеля из окисленных никелевых руд, и обеспечивает возможность извлечения в товарную продукцию до 90 % и более никеля и основную часть кобальта.

Процесс HPAL – это процесс, в котором никель и кобальт из латеритовой руды выщелачиваются серной кислотой при высоком давлении (~ 40 атм.) и температуре (230 °С – 240 °С). Из раствора выщелачивания после очистки его от примесей либо осаждают смешанные сульфиды или гидроксиды никеля и кобальта, либо ведут процесс с использованием жидкостной экстракции и электроэкстракции до получения металлических никеля и кобальта. Последнее характерно для относительно новых предприятий.

Технология реализована и применяется на восьми действующих заводах (табл. 1.18). Заводы Cawse и Avalon компании Wingstar Investments Pty ltd в Австралии, принадлежавшие до 2014 года различным компаниям (в том числе ПАО «ГМК «Норильский никель»), в настоящее время законсервированы.

На заводе Ravensthorpe (Австралия) компании First Quantum Minerals используется сочетание высокотемпературного автоклавного сернокислотного выщелачивания (лимонитов) с атмосферным выщелачиванием сапролита. Завод был остановлен в 2017 году по причине низких цен на никель, но по объявленным компанией весной 2019 года планам производство может возобновиться с 1 кв. 2020 года.

Таблица 1.18 – Действующие предприятия, использующие HPAL процесс

Завод	Пуск (остановка)	Руда	Содерж-е Ni, %	Проектная мощность	Процесс	HPAL, млн. т/г	Кислота, кг/т	Извлечение при выщ-и, %		Товарная продукция
								Ni	Co	
Moa	1959	Лимонит	1,30	37 тыс. т/г Ni, 3,7 тыс. т/г Co	HPAL	3,4	260	96	96	Ni - Co сульфидный конц-т 60 % Ni+Co
Murrin Murrin	1999	Смектит/ смесь	1,24	45 тыс. т/г Ni, 3,0 тыс. т/г Co	HPAL	4,0	400	-	-	Ni порошок, Ni брикеты
Cawse	1998 (’08)	Лимонит	1,69	9 тыс. т/г Ni, 2,0 тыс. т/г Co	HPAL	0,5	375	-	-	-
Bulong	1999 (’03)	Смектит	1,70	10 тыс. т/г Ni, 0,9 тыс. т/г Co	HPAL	0,6	518	-	-	-
Coral Bay	2005	Лимонит	1,26	24 тыс. т/г Ni, 1,9 тыс. т/г Co	HPAL	2,4	-	95	95	Ni - Co сульфидный конц-т 55 – 60 % Ni
Ravensthorpe	2007 (’17) законсервир.	Лимонит/ сапролит	1,65	36 тыс. т/г Ni, 1,3 тыс. т/г Co	EPAL	2,0	332	96	96	Смешанные Ni - Co гидроксиды ~40 % Ni, 1,4 % Co
Goro	2010	Лимонит/ сапролит	1,50	60 тыс. т/г Ni, 4,5 тыс. т/г Co	HPAL	4,0	355	-	-	Синтер ~ 78 % Ni, $CoCO_3$
Ambatovy	2012	Лимонит	1,13	60 тыс. т/г Ni, 5,6 тыс. т/г Co	HPAL	6,1	-	97	97	Брикет. 99,8 % Ni, 99,8 % Co
Ramu	2012	Лимонит/ сапролит	1,15	33 тыс. т/г Ni, 3,3 тыс. т/г Co	HPAL	3,4	260	-	-	Смешанные Ni - Co гидроксиды
Taganito	2013	Лимонит	1,25	36 тыс. т/г Ni, 2,6 тыс. т/г Co	HPAL	3,4	-	-	-	Ni - Co сульфидный конц-т 55 – 60 % Ni
Gordes	2014	Лимонит	-	10 тыс. т/г Ni, 0,8 тыс. т/г Co	HPAL	1,4	-	-	-	Смешанные Ni - Co гидроксиды

На заводе Murrin Murrin компании Minara Resources, в дополнение к цепочке высокотемпературного АКВ (автоклавного кислотного выщелачивания), отвалы рудоподготовки перерабатываются кучным выщелачиванием.

Гидрометаллургическая технология получения никеля и кобальта с использованием процесса Карона (восстановительный обжиг с последующим аммиачным выщелачиванием) позволяет перерабатывать лимонитовую руду или смесь лимонитов с сапролитами, при этом с увеличением относительной доли сапролита извлечение никеля и кобальта снижается. По сравнению с процессом автоклавного кислотного выщелачивания (HPAL) применение процесса Карона экономически оправдано для переработки руды с более высоким содержанием магния (примерно до 8 %). Однако в этой технологии извлечение никеля и особенно кобальта существенно ниже, чем в HPAL, а извлечение никеля ниже, чем при плавке на ферроникель. Кроме того, головные пирометаллургические операции энергозатратны, а последующие гидрометаллургические операции требуют различные реагенты.

В настоящее время процесс Карона применяется на одном действующем заводе – Punta Gorda (Куба). Завод Nicaro, где этот процесс был применён впервые, закрыт на постоянной основе. Завод Sao Miguel Paulista (Бразилия) в 2016 году был остановлен из-за низких цен на никель на неопределённое время. Завод Yabulu (Австралия) компании Queensland Nickel, перерабатывавший импортную руду, пришлось закрыть в 2016 году. Компания обанкротилась.

Ниже в табл. 1.19 приведены некоторые показатели перечисленных выше заводов.

Таблица 1.19 – Показатели извлечения никеля и кобальта и способы их извлечения из аммиачно-карбонатных растворов на предприятиях, использующих Карон-процесс

	Nicaro, Куба	Punta Gorda, Куба	Yabulu, Townsville, Австралия	Sao Miguel Paulista, Бразилия
Ввод в эксплуатацию	1941	1990	1974	1981
Извлечение, %				
Ni	75		84	80
Co	40		40	50
Товарная продукция	Синтер, Ni-Co сульфидный концентрат		99,5 % Ni, 98,5 % Ni, QN ChemGrade Cobalt	Катодный никель, Катодный кобальт
Способ выделения металлов				
Ni	Отгонкой аммиака в виде основного карбоната		Жидкостная экстракция, реэкстракция, отгонка аммиака с получением основного карбоната Ni, прокалка, восстановление водородом	Осаждение основных карбонатов Ni и Co, растворение в H_2SO_4, электроэкстракция
Co	$(NH_4)_2S$ в виде смешанных Ni-Co сульфидов перед выделением Ni		H_2S в виде сульфида из никелевого рафината, доводка до Co металлического	Экстракционное выделение из Ni-Co раствора, электроэкстракция

В 2010 – 2011 годах компания Direct Nickel презентовала технологию переработки латеритов в азотнокислой среде с регенерацией азотной кислоты и запустила демонстрационную пилотную установку. Одним из элементов установки был агрегат для термического разложения, в который подаётся моногидрат нитрата магния, а образуется MgO в виде порошка и выделяются газы NO_x, проходящие через серию абсорберов и скрубберов, в которых извлекается 99 % окислов азота и получается 55 %-ная азотная кислота. Работа демонстрационной установки показала возможность регенерации более 95 % азотной кислоты и извлечения никеля и кобальта в гидратный продукт более 90 %. Однако, несмотря на высокие показатели эффективности, на сегодняшний день информация о коммерческом использовании технологии отсутствует.

Следует упомянуть и о таком направлении, как хлоридное выщелачивание. Исследования возможности переработки латеритовых руд в солянокислой среде идут с 70-х гг. Среди компаний, активно ведущих разработки в области хлоридной технологии, следует упомянуть: BHP Billiton (разработавшую процесс хлоридного кучного выщелачивания), Jaguar Nickel, Nichromet Solutions Inc, Intec Ltd, Anglo American (процесс Anglo Research Nickel – ARNi) и др. Однако ни один из перечисленных процессов пока не достиг стадии коммерческого внедрения.

1.3.2. Переработка сульфидных руд с получением файнштейна

Никельсодержащие сульфидные руды, в отличие от окисленных, поддаются флотационному обогащению. Так, из руды, содержащей 1 – 3 % Ni, получают концентрат с 7 – 20+ % Ni. Технологическая схема включает в себя дробление, измельчение и флотацию. В зависимости от состава руды, в частности, от соотношения меди и никеля, используются различные схемы.

При небольшом содержании в руде халькопирита реализуется процесс коллективной флотации с получением Ni-Cu-концентрата, при значительном (массовое соотношение Cu: Ni > 0,3) – производится разделение на никелевый (медно-никелевый) и медный концентраты. На Талнахской обогатительной фабрике ЗФ ПАО «ГМК «Норильский Никель», перерабатывающей сплошные сульфидные руды, осуществлялось также выделение никелистого пирротина в отдельный, так называемый пирротиновый концентрат.

Наиболее распространённой практикой переработки никелевых сульфидных концентратов является штейновая плавка, которая может быть реализована либо в автогенных агрегатах (печь взвешенной плавки), либо в руднотермических электропечах. Полученный штейн конвертируют с получением файнштейна, который затем рафинируют гидрометаллургическим (весь мир) или комбинированным способом(Россия[1]) с получением товарных металлов (рисунок 1.4).

[1] По данным на 2016 год, на единственном никельрафинировочном предприятии России – комбинате Североникель АО «Кольская ГМК» – до сих пор используется устаревшая технологическая схема получения катодного никеля методом электрорафинирования металлических анодов, однако от этой технологии в настоящее время отказываются, постепенно переходя на технологию хлорного выщелачивания никелевого порошка трубчатых печей с получением никеля электроэкстракцией.



Рисунок 1.4 – Принципиальная схема переработки сульфидных медно-никелевых руд

Главным преимуществом головной пирометаллургической операции является возможность практически количественного концентрирования присутствующих в сульфидных медно-никелевых рудах драгоценных металлов (за исключением серебра).

Для руд, практически не содержащих драгоценных металлов (медно-никелевые руды канадского месторождения Voisey's Bay), возможна гидрометаллургическая переработка с тотальным вскрытием сульфидной составляющей и получением медно-никель-кобальтового раствора, пригодного для дальнейшей переработки с получением катодных рафинированных металлов и отвального кека, который после нейтрализации можно захоранивать.

Следует также остановиться на переработке пирротиновых никельсодержащих концентратов, прямая пирометаллургическая переработка которых ввиду низкого содержания ценных компонентов экономически нецелесообразна[2]. Процедура гидрометаллургического обогащения, реализованная на Надеждинском металлургическом заводе ЗФ ПАО «ГМК «Норильский Никель», с выводом в отдельные продукты основной части серы в элементарной форме, а железа – в гидратной делает получаемый сульфидный концентрат весьма привлекательным для извлечения из него ценных компонентов (никеля, кобальта, меди, драгоценных металлов) стандартными пирометаллургическими способами.

Производство штейна

Головной операций пирометаллургической переработки никельсодержащих руд и концентратов является плавка на штейн.

В исторической ретроспективе плавку предварительно обожжённых и окускованных концентратов или кусковой руды вели в отражательных или шахтных печах. Эти способы плавки характеризовались относительно низкой удельной производительностью, высоким расходом кокса и повышенными потерями ценных компонентов с отвальными шлаками из-за присущей минералам пустой породы медно-никелевых руд тугоплавкости. Данные обстоятельства, а также стремительное развитие электроэнергетики

[2] Никельсодержащий пирротиновый концентрат месторождений района Sudbury (Канада) также ранее перерабатывали компании Inco (теперь Vale) и Falconbridge (теперь Glencore). Обе компании, стремясь увеличить пропускную способность плавильного передела, максимально удаляли моноклинный пирротин из рудных концентратов с помощью барабанных магнитных сепараторов. С 1950-х годов Inco перерабатывала этот моноклинный пирротин с получением железорудных (гематитовых) окатышей для предприятий черной металлургии (67 % Fe), чёрного оксида NiO (77 %) и серной кислоты. Пульпу обжигали в КС, горячий огарок с 95 % Ni в $NiFe_2O_4$ и 5 % никеля – в сульфиде никеля перерабатывали модифицированным процессом Карона: восстановительным обжигом и выщелачиванием NH_3-CO_2. Извлечение железа – более 90 %, никеля – около 75 %. В 1982 году в разгар экономического спада была закрыта цепочка восстановления/выщелачивания, а в 1991 году остановлен обжиг.

Falconbridge начала селективный сульфатирующий обжиг пирротина в 1950-е годы. Огарок содержал растворимый в воде сульфат никеля и нерастворимый Fe_2O_3. Получали синтетические железосодержащие окатыши с 66 % Fe и кеки с 20 % Ni (9 %Fe, 36 %S), который после нейтрализации известью отправляли на плавку. Завод был закрыт в 1972 году, когда были введены в действие экологические стандарты (газы с SO_2 выбрасывались прямо в трубу, пыль улавливалась плохо) [25].

привели к достаточно быстрому вытеснению этих процессов значительно более эффективной и менее «капризной» электроплавкой, которая, в свою очередь, также постепенно заменяется автогенными процессами плавки.

До недавнего времени электроплавка предварительно обожжённого никелевого (медно-никелевого) концентрата применялась на пяти заводах (в т. ч. двух, расположенных на территории Российской Федерации)[3], перерабатывающих никелевое (никель-медное) сульфидное сырьё. В никель-платиновой подотрасли руднотермическая плавка повсеместно используется и по сей день, при этом из-за низкого содержания серы материал не обжигают, а после сушки непосредственно подают в электропечь (табл. 1.19–1.20).

Несмотря на то, что процесс электроплавки является довольно старым, он имеет ряд неоспоримых преимуществ, а именно:

– возможность переработки малосульфидного высокомагнезиального сырья за счёт способности электропечи обеспечивать высокие температуры шлаковых расплавов;

– возможность переработки конвертерных шлаков и прямого получения отвальных по цветным и драгоценным металлам шлаков, не требующих специального обеднения.

Именно эти обстоятельства и обусловливают повсеместное применение руднотермических печей для плавки платиносодержащих концентратов. Даже при содержании в шлаке оксида магния на уровне 13 – 23 % за счёт поддержания высокой температуры шлаковой ванны удаётся обеспечить чрезвычайно низкие потери цветных и драгоценных металлов (потери ДМ пропорциональны потерям меди, т. к. никель может присутствовать в шлаках не только в виде корольков, но и в растворенной форме) (табл. 1.20[4]).

К недостаткам процесса следует отнести высокий удельный расход электроэнергии (который может быть несколько снижен при загрузке в печь горячего огарка, как это реализовано на канадских заводах), практически полное отсутствие возможности управления степенью десульфуризации в процессе плавки и выходом штейна (данные показатели регулируются степенью удаления серы на стадии предварительного обжига), а также получение большого объёма бедных по сернистому ангидриду газов, утилизация которых затруднена.

На двух канадских предприятиях, использующих схему «окислительный обжиг-электроплавка», флотационный концентрат обжигают в печах кипящего слоя (КС) (табл. 1.20, 1.21, 1.22), являющихся наиболее эффективными обжиговыми агрегатами

[3] После закрытия Никелевого завода в Норильске в 2016 году в России и никелевого завода Томпсон в Канаде в 2018 году в эксплуатации останутся только два никелевых плавильных завода (Печенганикель компании «Норильский Никель» и завод в г. Садбери компании Glencore), работающие по этой технологии. Заметим, что в январе 2016 года Glencore получила отсрочку на 10 лет для своего плавильного завода по части выполнения новых стандартов Канады по выбросам в атмосферу.

[4] Следует отметить, что в таблице приведено содержание цветных металлов в шлаке после флотации. Однако утверждение не теряет силы, поскольку при флотации шлаков содержание драгоценных и цветных металлов снижается почти пропорционально, всего примерно в два раза.

для удаления основного количества серы в газовую фазу. Содержания SO_2 в отходящих газах на уровне 5 – 15 % (по объёму) вполне достаточно для использования в сернокислотном производстве, а интенсивный массообмен в агрегате обеспечивает высокую удельную производительность.

Таблица 1.20 – Обжиг концентратов на никелевых заводах, работающих по технологии обжиг/электроплавка [21, 22]

	Садбери, Канада, Glencore	Томпсон, Канада, Vale (по 2018 г.)
Ввод в строй	1978 г.	1961 г.
Печи:		
Тип и число обжиговых печей	2 печи КС	2 печи КС
Внутр. размеры каждой печи, м	диаметр слоя – 5,6 м, диаметр надслоевого пространства – 8 м	диаметр слоя – 5,5 м, диаметр надслоевого пространства – 6,4 м, высота над фурмами – 6,5 м
Номинальная мощность каждой печи, т/час (сух.)	40	55
Число фурм	Н. д.	256
Сырьё	концентрат (70 %) вода (30 %)	концентрат (90 %) вода (10 %)
Степень десульфуризации, %	70	40
Направление SO_2	на сернокислотный завод	в трубу
Температура, °С		
слоя	760	600
огарка при выгрузке	760	580
отходящего газа	–	530
Отходящий газ		
Скорость образования, $нм^3$/час	40000	48000 при 530°С
SO_2, об. %	11–13	до 25
Система газоулавливания	Циклоны – охлаждение газа, электрофильтры, очистка газа в скруббере, удаление воды и на сернокислотный завод	Циклоны, дымоход, дымовая труба

Таблица 1.21 – Часть 1: электроплавка на штейн никелевых концентратов (в скобках для комбината «Печенганикель» указаны характеристики РТП-5) [22], [26]

	Садбери, Канада, Glencore	Томпсон, Канада, Vale (по 2018 г.)	Печенганикель Россия, Норильский Никель	Bindura Nickel Corp., Зимбабве
Подготовка концентрата	Обжиг	Обжиг	Обжиг	Сушка
Печи:				
Тип	1 прямоугольная	2 прямоугольные	2 прямоугольные (1 прямоугольная)	1 прямоугольная
Внешние размеры: Д × Ш × В, м	30 × 9 × 2,7 (внутр.)	31,7 × 10,7 × 6,4	27,5 × 11,1 × 6,6 (17,2 × 7,9 × 7,5)	Н. д.
Рабочие характеристики:				
Средняя рабочая мощность, МВт	40	16	24 (18)	Н. д.
Энергопотребление, кВт·час/т сух. твёрдого	440	470	600 – 720	853
Производительность, т/час/печь	80	65	50 (25 – 30)	Н. д.
Сырье:				
Тип добавленного восстановителя	Кокс (~ 0,04 т/т огарка)	Н. д.	Угольный штыб	Н. д.
Флюс	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Известняк
Примерный состав сырья, %	Ni – 12; Cu – 4,5; Co – 0,5; Fe – 31; S – 28	Ni – 14; Cu – 0,3; Co – 0,3; Fe – 37; S – 29	Ni – 5–10; Cu – 2,5; Co – 0,2; Fe – 40; S – 20 – 25	Ni – 10,5; Cu – 2,1; Co – 0,3; Fe – 22; S – 17, MgO – 17
Конвертерный шлак	Нет	Да (расплавленный)	Да (расплавленный)	Да (расплавленный)
Электроды:				
Количество	6	6	6 (3)	6

Окончание таблицы 1.21 (часть 1)

	Садбери, Канада, Glencore	Томпсон, Канада, Vale (по 2018 г.)	Печенганикель Россия, Норильский Никель	Bindura Nickel Corp., Зимбабве
Диаметр, м	1,4	1,2	1,1 (1,2)	Н. д.
Расход массы, кг/т сух. твёрд. сырья		3,5	1,1	Н. д.
Продукты плавки:				
Штейн, т/час	~30	По ~30 с печи	Н. д.	Н. д.
t штейна, °С	1250–1275	1190	1250	1300
Состав, %	Ni – 36; Cu – 11; Co – 1; Fe – 33; S – 17	Ni – 30; Cu – 1; Co – 1; Fe – 37; S – 27	NiCuCo – 18–26; Fe – 0 – 50; S – 23,3	Ni – 26,5; Cu – 5,0; Co – 1,2; Fe – 34,5; S – 27,2
Переработка штейна	Конвертер Пирса-Смита	Конвертер Пирса-Смита	Конвертер Пирса-Смита	Конвертер Пирса-Смита
Шлак, т/час	~ 50	~ 35 (с каждой печи)	Не определяется	Н. д.
*t*шлака, °С	1300–1320	1310	1350	1500
Способ переработки	Отвал	Грануляция и отвал	Грануляция и отвал	Грануляция и отвал
Состав, %	Fe – 35; SiO_2 – 35; MgO – 4–6	Ni – 0,4; Co – 0,2; Fe – 37; Fe_3O_4–10; SiO_2 – 35; MgO – 2,7	Ni – 0,2; Cu – 0,12; Fe – 35; SiO_2 – 38–40; MgO – 12,5	Ni – 0,23; Cu – 0,11; Co – 0,23; Fe – 24; SiO_2 – 42; MgO – 22
SO_2 в отходящем газе, об. %	1	3,3	<0,3	Н. д.

Таблица 1.22 – Часть 2: электроплавка МПГ – Ni – (Cu, Co) сульфидных концентратов

Завод/страна компания	Waterval, ЮАР Amplats	Mortimer, ЮАР Amplats	Polokwane, ЮАР Amplats	Rustenburg, ЮАР Implats	Lonplats, ЮАР	Northam, ЮАР	Selous, Зимбабве Zimplats	Columbus, США Sybanye-Stillwater
Подготовка конц-та	сушка	сушка	сушка	сушка	сушка	сушка	сушка	сушка
Печи:								
Тип	2 прямо-угольн.	1 прямо-угольн.	1 прямо-угольн.	4 прямо-угольн. (в работе – 2)	1 круглая	1 прямо-угольн.	1 круглая	1 прямо-угольн.
Внешние размеры: Д × Ш, м	26 × 8 (внутр.)	25×7	29×10	26×8	Диаметр 11 м	26×9	Диаметр 12 м	9×5
Рабочие характеристики:								
Средняя рабочая мощность, МВт	34	20	68	35 и 38	28	15	12,5	5
Энергопотребление, кВт·час/т сух. твёрдого	700	820–850	750–850	721	850	1000	900	900
Производительность, т/час/печь	36	20	87	92 (обе печи)	30	10	10	1
Сырье:								
Флюс	Известняк	Известняк	Известняк (иногда)	Нет	Н. д.	Н. д.	Известняк	Известняк
Примерный состав сырья, %								
	МПГ – 70 г/т Ni – 3,6; Cu-2,1; Co -0,08; Fe – 16; S – 9; MgO – 15	МПГ – 70 г/т Ni – 2,2; Cu –1,1; Co – 0,04; Fe – 12; S – 5; MgO – 20	МПГ – 70 г/т Ni – 2,1; Cu – 1,2; Co – 0,04; Fe – 12; S – 5; MgO – 18	МПГ – 130 г/т Ni – 1,7; Cu –,1; Co -0,05; Fe – 12; S – 5; MgO — 18	МПГ – 300 г/т Ni — 2,5; Cu-1,5; Co –0,13; Fe – 17; S – 6; MgO – 17	МПГ – 130 г/т Ni 2,5; Cu – 1,3; Co – 0,05; Fe – 13; S – 5; MgO – 18	МПГ – 80 г/т Ni – 2,0; Cu – 1,5; Co – 0,07; Fe – 13; S – 6; MgO – 24	МПГ – 90 г/т Ni – 5,3; Cu –3,2; Co – 0,01; Fe – 15; S – 13; MgO – 12

Продолжение таблицы 1.22 (часть 2)

Завод/страна компания	Waterval, ЮАР Amplats	Mortimer, ЮАР Amplats	Polokwane, ЮАР Amplats	Rustenburg, ЮАР Implats	Lonplats, ЮАР	Northam, ЮАР	Selous, Зимбабве Zimplats	Columbus, США Sybanye-Stillwater
Электроды:								
Количество	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Н. д.	3 электрода	6 электродов	3 электрода	3 электрода
Диаметр, м	1,1	1,25	1,6	1,14	1,4	1	1,2	0,3
Расход массы, кг/т сух. тверд. сырья	2		3	2	2,6	2,6	3,1	3,5
Продукты плавки:								
Штейн, т/час	7–8	3						
t°C выпуска штейна		1550	1550	1300	1550	1400	1400	1200
Состав, %	МПГ – 600 г/т Ni – 17; Cu – 9; Co – 0,5; Fe – 41; S – 27	МПГ – 600 г/т Ni – 12; Cu – 7; Co – 0,3; Fe – 37; S – 25	МПГ – 600 г/т Ni – 14; Cu – 8; Co – 0,3; Fe – 40; S – 30, Cr – 2	МПГ – 1000 г/т N – 14; Cu – 9; Co – 0,3; Fe – 45; S – 30	МПГ – 2000 г/т Ni – 15; Cu – 9; Co – 0,5; Fe – 43; S – 28	МПГ – 700 г/т Ni – 16; Cu – 8; Co – 0,4; Fe – 41; S – 27	МПГ –600 г/т Ni – 15; Cu – 10; Co – 0,7; Fe – 43; S – 28	МПГ – 400 г/т Ni – 17; Cu – 11; Co – 0,02; Fe – 43; S – 27
Переработка штейна	Непрерывное конвертирование АСР на заводе Waterval			Конвертеры Пирса-Смита	Конвертеры Пирса-Смита	Конвертеры Пирса-Смита	Конвертеры Пирса-Смита	Конвертер TBRC
Шлак, т/час	36	14						
t°C выпуска шлака	1550	1650	1600	1460	1650	1500	1600	1500
Способ переработки	Грануляция, измельчение, флотация	В отвал	В отвал	Грануляция, измельчение, флотация	В отвал	В отвал	Грануляция и в отвал	Медленное охлаждение и возврат на О/Ф

Окончание таблицы 1.22 (часть 2)

Завод/страна компания	Waterval, ЮАР Amplats	Mortimer, ЮАР Amplats	Polokwane, ЮАР Amplats	Rustenburg, ЮАР Implats	Lonplats, ЮАР	Northam, ЮАР	Selous, Зимбабве Zimplats	Columbus, США Sybanye-Stillwater
Состав, %	Ni – 0,19; Cu – 0,11; SiO_2 – 46; Fe – 24; MgO – 15	SiO_2 – 41; Fe – 16; MgO – 13	SiO_2 – 52; Fe – 8; MgO – 23; Cr_2O_3 – 2	SiO_2 – 47; Fe – 9; MgO – 21	SiO_2 – 45; Fe – 22; MgO – 20	SiO_2 – 44; Fe – 16; MgO – 20	SiO_2 – 54; Fe – 14; MgO – 22	SiO_2 – 45; Fe – 10; MgO – 14
SO2 в отходящем газе, об. %	0,5–1,3	0,5–1	0,5–1,5	0,9			0,1	4
Способ утилизации газов	Сернокислотное производство			Сернокислотн. производство	Сернокислот производство			Тканевый фильтр - мокрая очистка

Основной тенденцией современной металлургии в области переработки высокосернистых концентратов является применение автогенных процессов. К наиболее распространённым относятся технология и печь взвешенной плавки, разработанные и внедрённые в производство в конце 1940-х годов фирмой Outokumpu (ныне Outotec) для плавки медных концентратов. Начиная с 1960-х годов этот процесс получил широкое распространение на предприятиях медной и никелевой подотраслей.

В настоящее время по технологии взвешенной плавки в мире работает 5 заводов, перерабатывающих никельсодержащие сульфидные концентраты[5]. Завод Fortaleza (Бразилия) был остановлен в 2013 году, завод Selebi-Phikwe в Ботсване остановлен в 2016 году. Завод Copper Cliff компании Vale использует собственную технологию взвешенной плавки в горизонтальной печи (табл. 1.23).

В автогенных процессах большая часть потребности в тепле удовлетворяется за счёт окисления железа и серы, содержащихся в концентрате, в результате чего расходы топлива или электричества малы. Производительность печей взвешенной плавки по сырью (в пересчёте на сухой вес) обычно составляет 100 – 150 т/час. В печах Outotec содержание кислорода в реакционном газе меняется от 30 – 40 об. % до 85 об. %; печи Inco (завод Copper Cliff) работают на кислородном дутье.

Одним из вариантов усовершенствованной технологии взвешенной плавки является DON-процесс (так называемый «процесс прямой плавки никеля Outokumpu» – 'Direct Outokumpu Nickel' Smelting), разработанный Outotec и реализованный на плавильном заводе Harjavalta (Финляндия) и ныне бездействующем заводе Fortaleza (Бразилия). В процессе DON в одном агрегате совмещаются процессы штейновой плавки и конвертирования, таким образом, на выходе из печи получается три продукта: богатый штейн/файнштейн; шлак, близкий по составу к конвертерному; поток богатых по сернистому ангидриду газов. Для обеднения шлаков используется электропечь, обеспечивающая получение отвальных шлаков и малосернистого штейна, который затем вместе с файнштейном может быть направлен на гидрометаллургическую переработку (ранее на таком сырье работал рафинировочный завод Harjavalta) или после грануляции, сушки и измельчения возвращен в ПВП. Новый процесс DON позволяет [27]:

– перейти на непрерывный режим производства;

– сократить операционные и эксплуатационные расходы за счёт ликвидации конвертеров Пирса-Смита;

– сделать процесс взвешенной плавки целесообразным для переработки концентратов с высоким содержанием MgO, низким содержанием меди и высоким содержанием МПГ;

– сократить выбросы SO_2;

– улучшить условия труда.

Другим вариантом усовершенствования печи и, соответственно, технологии взвешенной плавки является интеграция электропечи для обеднения шлаков с печью взвешенной плавки. Подобная концепция реализована на заводах Kalgoorlie (Австралия) и Jinchuan (Китай).

[5] На медных заводах эксплуатируются 44 печи.

Таблица 1.23 – Характеристики печей для взвешенной плавки никелевых концентратов по способу Outotec и Inco [22]

Завод, страна, компания	Copper Cliff Канада, Vale	Kalgoorlie Австралия, BHP Billiton	Selebi Phikwe Ботсвана, BCL (бездействует)	Jinchang Китай, Jinchuan	НМЗ Россия, Норникель	Harjavalta Финляндия, Boliden
Ввод в строй	1993	1972	1973	1992	1981	1959
Процесс	ВП Inco	ВП Outotec со встроенной электропечью	ВП Outotec	ВП Outotec со встроенной электропечью	ВП Outotec	DON Outotec (с 1995 года)
Ni в штейне, тыс. т/год	133	100	27	65	140–170 (2 печи)	38
Размеры (внутренние), м:						
Под, Ш × Д × В	2 печи * 8 × 30 × 9	8 × 37 × 3,5	8 × 22 × 4	7 × 32 × 3,5	10 × 31 × 6	7 × 19 × 2,6
Реакц. шахта:						
Диаметр		7	8	6	8	4,6
Высота над крышей отстойника		6	11	6	9	7,6
Число концентр. горелок	4 горизонтальные	4	4	4	1	1
Аптейк:	Квадратный				Круглый	
Диаметр	4 × 4	3,5 × 8	5	3		
Высота над крышей отстойника	15	7	17	7		
Кампания, лет	2–3	10	9	8	8	10
Сырье:						
Свежий сухой концентрат, т/час	125	140	120	50	150	45
Состав, %	Ni – 10; Cu – 12; Co – 0,3; Fe – 39; S – 34	Ni – 15; Cu – 0,3; Co – 0,4;Fe – 34;S – 32	Ni – 5; Cu – 4; Co – 0,2; Fe – 43; S – 31	Ni – 9; Cu – 4; Co – 0,2; Fe – 38; S – 27	Ni – 9; Cu – 4; Co – 0,5; Fe – 44; S – 33	Ni – 15; Cu – 0,8; Co – 0,4; Fe – 30; S – 29

Продолжеение таблицы 1.23

Завод, страна, компания	Copper Cliff Канада, Vale	Kalgoorlie Австралия, BHP Billiton	Selebi Phikwe Ботсвана, BCL	Jinchang Китай, Jinchuan	НМЗ Россия, Норникель	Harjavalta Финляндия, Boliden
Дутье:						
Температура, °С	*t* окружающей среды	500	260	Н. д.	*t* окружающей среды	*t* окружающей среды
O_2, об. %	96	35	31	42	85	75
Скорость потока, $нм^3$/час	14000	85000	150000	33000	60000-70000	7000
Питание кислородом, т/час	11	25	40	12	40–50	4
Продукция:						
Штейн, т/час	65	25	25		25–35	5
Состав штейна, %	Ni – 23; Cu – 25; Co – 0,6; Fe – 24; S – 26	Ni – 47; Cu – 1,5; Co – 0,8;Fe – 20; S – 27	N – 17; Cu – 15; Co – 0,4; Fe – 33; S – 25	Ni – 29; Cu – 15; Co – 0,6; Fe – 29; S – 23	Ni – 33; Cu – 14; Co – 0,5; Fe – 23; S – 27	Ni – 65; Cu – 5; Co – 0,7; Fe – 5; S – 22
Шлак, т/час	120	70	110	50	160	20
Состав шлака, %	Ni – 0,5; Cu – 0,5; Co – 0,2; Fe – 43; SiO_2 – 36	Ni — 1,5; Cu – 1,3; Co – 0,1; Fe – 40; SiO_2 – 28	Ni – 0,2; Cu – 0,2; Co – 0,1; Fe – 41; SiO_2 – 36	Ni – 0,6; Cu – 0,3; Co – 0,2; Fe – 40; SiO_2 – 34	Ni – 4; Cu – 0,3; Co – 0,5; Fe – 38; SiO_2 – 29	
Отходящий газ:						
Скорость потока, $нм^3$/час	26000		100000	60000 (на пылеуловителе)	60 000	16000
SO_2, об. % на выходе из печи	55 (сух.)		7,2	8 (на сернокис. заводе)	35	30
Направление SO_2		Сернокис. завод	В атмосферу	Сернокис. завод	В атмосферу	Сернокис. завод
Температура штейн/шлак/газ,°С	1210/1280/1350	1170/1300/1400	1160/1240/1400	1320/1380/1380	1150/1250/1150	1360/1400/1400
SO_2, об. % на выходе из печи	55 (сух.)		7,2	8 (на сернокис. заводе)	35	30

Окончание таблицы 1.23

Завод, страна, компания	Copper Cliff Канада, Vale	Kalgoorlie Австралия, BHP Billiton	Selebi Phikwe Ботсвана, BCL	Jinchang Китай, Jinchuan	НМЗ Россия, Норникель	Harjavalta Финляндия, Boliden
Направление SO2		Сернокис. завод	В атмосферу	Сернокис. завод	В атмосферу	Сернокис. завод
Температура штейн/шлак/газ,°С	1210/1280/1350	1170/1300/1400	1160/1240/1400	1320/1380/1380	1150/1250/1150	1360/1400/1400
Подача топлива:						
Количество углеводородного топлива, сгорающего в час	340 нм^3 природного газа + 1,4 т. кокса (на поверхн. шлака)	1,5 м^3 нефти	6 т. угля	1,3 м^3 нефти + 0,8 т. угля	До 6000 нм^3 газа в час (18 горелок в отстойнике)	1 т. сырой нефти
Электроэнергия		6,25 МВт, 6 электродов	0	5 МВт, 6 электродов	Нет	Н. д.
* В январе 2013 года Vale приняла решение о переходе на плавку в одной печи.						

Главным преимуществом технологии взвешенной плавки являются низкие энергозатраты, возможность получения стабильного потока богатых по сере газов, содержащих 20–25 % об. SO_2. К недостаткам следует отнести необходимость строгого соблюдения требований к подготовке сырья (гранулометрический состав, влажность), безусловное соблюдение состава концентратов, обеспечивающих автогенность процесса (содержание серы не ниже 26 %) и невозможность прямого получения отвальных шлаков.

Производство файнштейна

Полученный при плавке сульфидного сырья штейн содержит большое количество железа, которое может быть удалено из него в силикатный шлак в ходе окислительной продувки – конвертирования.

Традиционно конвертирование в никелевой отрасли осуществляют в конвертерах Пирса-Смита – агрегатах периодического действия, представляющих собой горизонтальную цилиндрическую печь с расположенными на боковой поверхности фурмами для подачи в расплав воздуха и кислорода. Заливка расплава и удаление отходящих газов осуществляются через горловину, расположенную в средней части корпуса. К недостаткам конвертеров Пирса-Смита относятся периодичность процесса и, как следствие, нестабильный поток отходящих газов, затрудняющий утилизацию из них серы, малый срок службы конвертера (футеровка разрушается из-за колебаний температуры и при воздействии высоких температур в околофурменной зоне), выбросы сернистого газа в атмосферу цеха, малое время работы под дутьём.

В настоящее время происходит постепенный переход с получения файнштейна в конвертерах Пирса-Смита, работающих в периодическом режиме, на внедрение TBRC-конвертеров, процесса Ausmelt или ACP – Anglo Platinum Converting System (система конвертирования Anglo Platinum) (табл. 1.24). Anglo Platinum разработала процесс конвертирования ACP совместно с Ausmelt; технология с погруженной фурмой от Ausmelt была адаптирована к плавке Ni-Cu штейна.

Основные цели разработки нового способа конвертирования заключались в сокращении выбросов SO_2 в атмосферу и увеличении производительности конвертерного передела. Также подобная задача может быть решена путём внедрения DON-процесса, исключающим процесс конвертирования как таковой (см. выше).

Плавка во вращающемся наклонном конвертере с верхней продувкой в так называемых «конвертерах Kaldo» с 1960-х годов применялась при выплавке стали, но затем получила широкое распространение и в цветной металлургии, где такие конвертеры чаще называют TBRC (Top Blown Rotary Converter – вращающийся конвертер с верхней продувкой). Это компактный, энергосберегающий реактор с высокой производительностью. Продувка ведётся с помощью вводимой через горловину фурмы, не погруженной в расплав. Интенсивное перемешивание расплава в конвертере достигается как за счёт барботирования его дутьём, так и за счёт вращения конвертера, что обусловливает весьма высокую производительность последнего (по черновому никелю – 275 т/сут). Достоинства конвертирования TBRC:

– хорошая теплопередача и высокая скорость протекания физико-химических реакций за счёт вращения агрегата;

– точная система наклона конвертера упрощает его загрузку и способствует хорошему разделению шлака и сульфидного или металлического расплава;

– отсутствие погружной фурмы увеличивает срок службы агрегата и упрощает технологические процессы.

К недостаткам следует отнести сложность конструкции агрегата и его высокую стоимость, а также периодический режим плавки.

Процесс Ausmelt – плавка в вертикальном агрегате с жидкой ванной с подачей дутья через погруженную в расплав сверху фурму со сменными насадками – был изобретён в начале 1970-х годов. В печи Ausmelt может осуществляться как плавка на штейн, так и конвертирование последнего; также возможно объединение процессов плавки и конвертирования в одном агрегате. Технология может применяться как в периодическом, так и в непрерывном режиме.

Расплав в печи Ausmelt перемешивается с очень большой интенсивностью, что обусловливает высокую удельную производительность агрегата. Простая и полностью герметичная система загрузки обеспечивает высокую степень улавливания SO_2 и утилизацию более 99 % серы. Дутьё в данном агрегате может быть обогащено до 60 % кислорода, что достаточно при использовании отходящих газов для производства серной кислоты, но может оказаться недостаточным для получения из них элементной серы. Срок службы футеровки печи Ausmelt значительно выше, чем в конвертерах Пирса-Смита.

Главными недостатками процесса является невозможность прямого получения отвального шлака (при штейновой плавке) из-за высокой интенсивности перемешивания расплава в печи и, соответственно, необходимость эксплуатации обогреваемого отстойника или электропечи обеднения, а также возможность установки агрегата в цехах большой высоты из-за необходимости обслуживания вертикально расположенной фурмы.

Близкими по конструкции и эксплуатационным характеристикам являются печи ACP (Anglo Platinum Converting System) южноафриканской компании Anglo Platinum.

Таблица 1.24 –Конвертирование Ni – (Cu, Co, МПГ) штейнов в конвертерах Пирса-Смита

	Sudbury Glencore, Канада	Thompson Vale, Канада	Печенганикель Норникель, Россия	НМЗ Норникель, Россия	Kalgoorlie BHPB, Австралия	Jinchuan, Китай	BCL, Ботсвана	Cop.Cliff Vale, Канада
Тип штейна	ЭП	ЭП	ЭП	ВП Outotec	ВП Outotec	ВП Outotec	ВП Outotec	ВП Inco
Производительность, тыс. т Ni/год	63	50	35	140	100	65 (2004 г.) 115 (2015)	27,5	134
Число конвертеров	3		5	6	3	3	2 + (1-резерв.)	5*
Вн. размеры, ∅×дл, м	1: 4×15 2: 4×9	4×10,7	4×12	4×9	3,6×7,3	3,6×8,2	3,96×9,14	3: 3,96×13,7 2: 3,96×10,7
Число и диам. фурм, мм	1: 6; ∅32, 2: 42; ∅50	30-42, ∅51	52, ∅50	48; ∅50	28, ∅63,5	34, ∅48	44, ∅38	3: н. д., ∅51 2: н. д., ∅42
Расход дутья, нм^3/ч	1: 6450 2: 30000		36000	36000	19000	18000–22000	32000	~35000
O_2 в дутье, об. %	33–43 % и 21 %	21	21	до 27	21	21	21	24–27
Добавки оборотов перв. штейна, вес%				-	10	25–30	25	-
Флюс (SiO_2), %				95	98,7	95,4	82,8	96
Файнштейн:								
ΣNi, Cu, Co, %	75,5	80	72,6	Ni 40-52, Cu 18-30, Co 1-1,2	69	73	80,82	77,3
Ni/Cu (Ni/Co)	3,1 (30)	26 (109)	1,6 (55)	1,9 (180)	37 (74)	1,93 (56)	1,12 (95)	0,82 (79)
Fe, %	2-2,5	0,6	3	3,4	4,2	4,2	1,49	0,52
S, %	21	18,7	24,3	22–23	24	22,4	16,7	21-22
Шлак:								
SiO_2 %/Fe%/Fe_3O_4	21/48	26/50	20/45	20/52/25	21/55/32	24–28/48/14–18	26/44/17,6	26/51/23

Продолжение таблицы 1.24

	Sudbury Glencore, Канада	Thompson Vale, Канада	Печенганикель Норникель, Россия	НМЗ Норникель, Россия	Kalgoorlie BHPB, Австралия	Jinchuan, Китай	BCL, Ботсвана	Cop.Cliff Vale, Канада
Переработка шлака	на обеднение	возврат в ЭП	возврат в ЭП	на обеднение	возврат на ПВП	на обеднение	на обеднение	возврат на ВП
Коэф. разубож. газов через подсосы в напыльник				3–4	1:1 на H_2SO_4 завод,2:1 в дым. трубу	2,5–3	2,5	~3–4
Разубож. объем отход. конв. газов, $нм^3/ч$	-	75000	180000	140000	41000 на H_2SO_4завод, ≈ 60000 - в дым. трубу	50000–60000	80000 на 1 конверт.	140000
SO_2 (сух.), об. %	-	3,6	2,5	2,5	≈4 % на H_2SO_4 завод 2,7 %- в трубу	2,5-3,5	5,2	3-5
Охлажд. и система очистки газов				Котёл-утилизатор, э/фильтр	форсуночный холодильник (воздух и вода)	Котёл-утилизатор, и э/фильтр	Н. д.	Котел-утилизатор, и э/фильтр
Утилизация газов	в атмосферу	в атмосферу	H_2SO_4 завод	в атмосферу	на H_2SO_4 завод или в атмосферу	на H_2SO_4 завод	в атмосферу	в атмосферу
Утилизация пыли			возврат в конвертеры	возврат на ВП	возврат на ВП	возврат на ВП	возврат на ВП	возврат сух. пыли на ВП

***** – по состоянию на конец 2015 года в рамках реализации проекта по сокращению выбросов в атмосферу диоксида серы, пыли и т. д., компания Vale на заводе Copper Cliff уже установила два новых конвертера TBRC из планируемых трёх конвертеров взамен 5 конвертеров Пирс-Смита. Диоксид серы, образовывающийся при конвертировании, ранее поступал в дымовую трубу, а теперь будет улавливаться новой системой мокрой газоочистки, а затем поступать на сернокислотный завод.

Окончание таблицы 1.24

	Waterval Anglo-Plat, ЮАР	Springs , Impala, ЮАР	Maricana Lonmin, ЮАР	Northam, ЮАР	Selous Zimplats, Зимбабве	Columbus Stillwater, США
Производительность, тыс. т Ni/год	22, вкл. Union и Polokwane	12,7	3,7	1,5	1,6	0,1
Тип и число конвертеров	2 АСР	6ПС	3 ПС	2 ПС	2 ПС	2 TBRC
Внешние размеры, диам.×дл, м	4,5(внутр. диам)×4 высота	2: 3,6×7,3 4: 3×4,5	3×4,6	3×6,1	3×4,6	8×1,5
Число и диам. фурм, мм	-	26 (малые) 32 (большие); 51 мм	20; 65 мм	22	18; 50 мм	-
Средняя скорость дутья, нм^3/ч	25000 макс.	11000–22000	11000		8500	2600
O2 в дутье, об. %	до 40 %	воздух без обогащения	воздух	воздух	воздух	92–94 (тех. кислород)
Файнштейн:						
NiCuCo, %	73,5	78,0	77,6	78,5	79,1	75
Ni/Cu	1,81	1,6	1,7	1,9	1,4	≈1,3
Ni/Co	94	160	80	102	114	-
Fe, %	2,9	0,6	1,4	1,0	0,6	≈2
S, %	21,7	20,3	20	19	17,5	20
SiO2 %/Fe%/Fe3O4 в конв. шлаке	24–28/42–48	27/64,5 (FeO)	29/62 (FeO)	27/49,8	27,5/51,3	5–7 SiO_2, 20–25 % CaO, 45–50 Fe
SO2 (сух.), об% в отходящем разубож. газе	12–16	3–8 (без разубожив.)			0,4	65
Размещение отходящих газов	на H_2SO_4завод	на H_2SO_4завод	э/фильтр, двойная щелочная очистка	в дым. трубу	в дым. трубу	Тканевый фильтр, скруббер SO_2, дым. труба
Размещение конверт. шлаков	гранулир. и обедн. электропечь	гранулир., измельчение/флотация	гранулир., флотация	возврат на ЭП	возврат на ЭП	гранулир., возврат на ЭП

1.3.3. Получение рафинированного никеля

Как было показано выше, при переработке сульфидных и окисленных никелевых руд никель и кобальт обычно концентрируются в богатых промежуточных продуктах, за исключением гидрометаллургических технологий, использующих метод жидкостной экстракции, который позволяет производить товарные катодные металлы без промежуточного осаждения концентратов. К этим богатым промпродуктам, пригодным для дальнейшего рафинирования с получением товарных никеля и кобальта, относятся: файнштейн (сульфидные руды), штейн, смешанные никель-кобальтовые гидроксиды (или карбонаты), смешанные никель-кобальтовые сульфиды (окисленные никелевые руды).

Способы переработки сульфидных никелевых продуктов чрезвычайно разнообразны (табл. 1.25) и определяются составом и экономическими соображениями с учётом географического положения и исторических особенностей развития конкретных предприятий. Однако обзор мировой практики получения рафинированного никеля показывает практически повсеместное распространение процессов гидрометаллургического рафинирования файнштейна. Наряду с получением никеля электроэкстракцией в мировой практике достаточно широко применяется карбонил-процесс, позволяющий получать никелевую продукцию с высокой добавленной стоимостью. Он реализован на предприятиях Vale: Copper Cliff (Канада) и Clydach (Великобритания), а также на заводе Jinchuan (Китай) компании Jinchuan Group и на комбинате Североникель (АО КГМК, ПАО «ГМК «Норильский никель», Россия). На заводах Copper Cliff и Jinchuan также осуществляют электролитическое рафинирование сульфидных анодов.

На ряде предприятий с целью упрощения технологической схемы Ni-Cu-МПГ файнштейны медленно охлаждают, что способствует раскристаллизации, при этом образуются крупные индивидуальные зерна хизлевудита Ni_3S_2, халькоцита Cu_2S и металлического (магнитного) сплава. После дробления и измельчения затвердевшего файнштейна методами магнитной сепарации и/или флотации выделяют сплав, сульфидный медный концентрат и сульфидный никелевый концентрат. Такая практика имеет место на рафинировочном заводе Copper Cliff компании Vale, Jinchuan компании Jinchuan Group, рафинировочном заводе базовых металлов (BMR) компании Anglo American Platinum в ЮАР и в России на комбинате Североникель (АО КГМК, ПАО «ГМК «Норильский никель»). Так, на рафинировочном заводе Copper Cliff полученный в результате магнитной сепарации файнштейна металлический концентрат с ~65 % Ni, 17 % Cu и высоким содержанием Au, Ag и МПГ направляется на конвертирование в конвертерах TBRC и далее на карбонилирование. Разделение меди от никеля в немагнитной фракции осуществляется флотацией. Полученный никелевый сульфидный концентрат (~71 % Ni, 0,9 % Cu) поступает на окислительный обжиг с получением NiO для отправки на завод компании Clydach (Великобритания), где он перерабатывается карбонил-процессом при атмосферном давлении. Медный сульфидный концентрат (~74 % Cu, 4 % Ni) поступает в медеплавильное производство. Промпродукт (подситовый продукт измельчения и очистки медного концентрата), содержащий ~66 % Ni и 6,6 % Cu, обжигают и далее рафинируют карбонилированием на Copper Cliff.

Таблица 1.25 – Способы получения рафинированного никеля на некоторых предприятиях

Завод, компания, страна	Исходный материал	Состав, %	Принцип переработки	Продукция
Nikkelverk (Норвегия), Glencore	Файнштейн завода Sudbury	Ni – 52,0; Cu – 19,0÷20,0; Co – 2,5; Fe – 2,5, Остальное – сера	Хлорное выщелачивание, автоклавное выщелачивание, электроэкстракция	Ni-катоды, Cu-катоды, концентрат МПГ
Niihama (Япония), Sumitomo Metal Mining	Файнштейн завода Sorowako и Ni-Co смеш. сульфиды Coral Bay и Taganito	Ni – 73; Cu – 4,5; Co – 2,5	Хлорное выщелачивание, электроэкстракция для получения катодного никеля; автоклавное выщелачивание, жидкостная экстракция – для солей	Ni-катоды, Co-катоды, Ni-соли
Sandouville (Франция), Eramet	Файнштейн, полученный сульфидированием ферроникеля (до 2018 г.)	Ni – 78; Cu – 0,2; Co – 2; Fe – 3; остальное – сера	Хлорное выщелачивание, электроэкстракция	Ni-катоды
Matsuzaka, Vale (Япония)	Файнштейн завода Sorowako	Н. д.	Окислительный обжиг, восстановительный обжиг, брикетирование	Tonimet-брикеты, Tonimet, Tonimet 97, синтер, Compact 97
Комбинат Североникель, ПАО «ГМК «Норильский Никель», Мончегорск, Россия	Файнштейн	Ni – 40 % 52 %, Cu – 18 %–30 %, Co – 0,2 %–0,3 %	Медленно охлаждённый файнштейн дробят, измельчают, флотируют с получением никелевого и медного концентратов. Затем никелевый концентрат обжигают намертво, восстанавливают и плавят с получением металлических никелевых анодов, направляемых на электролитическое рафинирование. В ближайшей перспективе обожжённый и восстановленный никелевый концентрат (никелевый порошок трубчатых печей) будет направляться на операции хлорного растворения и последующей электроэкстракции	Ni-катоды, Ni-карбонильный (порошки, дробь), Cu-катодная, Co-катодный, концентрат МПГ, концентрат Ag

Продолжение таблицы 1.25

Завод, компания, страна	Исходный материал	Состав, %	Принцип переработки	Продукция
Thompson (Канада), Vale (до 2018 г.)	Файнштейн	Ni – 73,0÷75,0; Cu – 2,5÷4; Co – 1,0; Fe – <1,0; S — 20,0	Электролитическое рафинирование сульфидных анодов, отлитых из файнштейна	Ni-катоды
Copper Cliff, Vale, Канада	Файнштейн	Ni – 45,0; Cu – 35,0	Из файнштейна выделяется обогащённая ДМ магнитная фракция, а немагнитная фракция разделяется флотацией на никелевый и медный концентраты. Никелевый концентрат обжигается, восстанавливается до металла, далее, как и магнитная фракция, рафинируется карбонилированием	Карбонильная никелевая продукция
Jinchuan, Nonferrous Metals, вание	Файнштейн	Ni 47,0; Cu 23,0÷26,0; Co 0,6÷0,7; Fe 2,4; S 22,0	Из файнштейна обогатительными методами выделяются ДМ-концентрат, медный и никелевый концентраты. Из никелевого концентрата отливаются сульфидные аноды, которые рафинируются электролизом	Катодный никель, карбонильная никелевая продукция
Kwinana, BHP Billiton, Австралия	Файнштейн	Ni 73,5; Cu 4,0; Fe 0,8; Co 0,7; S 20,0	Аммиачное выщелачивание, водородное восстановление	Ni-брикеты, Ni-порошок, Cu-сульфидный концентрат, Ni-Co-сульфидный концентрат
Fort Saskatchewan, Канада	Ni-Co смешанные сульфиды с завода Моа (Куба)	Ni+Co 60 %	Аммиачное выщелачивание, водородное восстановление	Ni-брикеты 99,8 %, Co-брикеты 99,9 %
Bindura, Bindura Nickel, Зимбабве (бездействует)	Файнштейн	Ni 38,0; Cu 54,0; Fe 0,1; S 5,5; As 0,1	Сернокислотное автоклавное выщелачивание, электроэкстракция	Ni-катоды, медный сульфидный концентрат, гидроксид кобальта

Окончание таблицы 1.25

Завод, компания, страна	Исходный материал	Состав, %	Принцип переработки	Продукция
Harjavalta, ПАО «ГМК «Норильский никель», Финляндия	Немагнитная фракция никелевого концентрата флотации файнштейна	Ni 65,0; Cu 5,0; Fe 4,0; S 21,0	Комбинация процессов атмосферного и автоклавного сернокислотного выщелачивания, электроэкстракция и/или восстановление H2	Ni-катоды, Ni-брикеты, Co-брикеты, Cu-сульфидный концентрат
Yabulu Refinery, Австралия (остановлен в 2016 г.)	Импортная латерит. руда	Ni 1,6; Co 0,15; Fe 37; Mg 5,2	Жидкостная экстракция, реэкстракция, отгонка аммиака с получением основного карбоната никеля, прокалка, восстановление водородом, кобальт осаждается в виде сульфида, затем доводится до кобальта металлического, медь осаждается в виде сульфида	«QNI Highgrade» — 99,5 % Ni, рондели — 98,5 % Ni, QN ChemGrade Cobalt, медный сульфидный концентрат
Impala Platinum, Springs ЮАР	Файнштейн	N 45,0; Cu 28,0	Сернокислотное автоклавное выщелачивание, восстановление H2	Ni-порошки, брикеты
Sybanie Stillwater, США	Файнштейн	Н. д.	Комбинация процессов атмосферного и автоклавного сернокислотного выщелачивания закалённого файнштейна	Сульфат никеля, катодная медь, концентрат МПГ
BMR, Anglo Platinum ЮАР	Файнштейн	Ni 47,0÷48,0; Cu 28,0	Медленно охлаждённый файнштейн измельчают, выделяют металлизированную фракцию магнитной сепарацией, раздельное выщелачивание продуктов, электроэкстракция	Ni-катоды, Cu-катоды, концентрат МПГ
Northam Platinum, ЮАР	Файнштейн	Н. д.	Комбинация процессов атмосферного и автоклавного сернокислотного выщелачивания закалённого файнштейна	Сульфат никеля, катодная медь, концентрат МПГ
Clydach, Великобритания	Обожжённый никелевый концентрат немагнитной фракции флотации файнштейна	Н. д.	Карбонил-процесс	Карбонильная продукция

На заводе BMR компании Anglo Platinum (ЮАР) в результате магнитной сепарации получают немагнитную сульфидную фракцию и магнитный сплав. На сульфиды приходится примерно 90 % веса файнштейна, на сплав – порядка 10 % веса. Однако в сплаве, содержащем порядка 60 % никеля, остальное – медь и железо, коллектируется более 99 % МПГ (а также серебро). Очевидно, что обособленная переработка магнитной фракции существенно сокращает длительность технологического цикла получения концентратов драгметаллов и их безвозвратные потери.

Переработка сульфидных никель-кобальтовых концентратов, осаждённых из растворов высокотемпературного автоклавного сернокислотного выщелачивания окисленных никелевых руд, аналогична таковой для файнштейнов; смешанные никель-кобальтовые гидроксиды (карбонаты) могут быть легко интегрированы в технологический цикл любого рафинировочного завода, хотя более логичным представляется их использование в сульфатных схемах.

Следует отметить, что гидрометаллургическое рафинирование файнштейна и производство никеля методом карбонилирования целесообразно рассматривать как основу современных и прогрессивных технологий получения рафинированного никеля.

Гидрометаллургическое рафинирование файнштейнов

Во всех случаях гидрометаллургического рафинирования богатых никелевых промпродуктов (за исключением смешанных гидроксидов) головной операцией рафинирования является окислительное выщелачивание, которое осуществляется в хлоридных, сульфатных или аммиачно-сульфатных средах. Дальнейшая конфигурация технологической схемы предусматривает очистку раствора от примесей и разделение присутствующих в растворе меди, никеля и кобальта. Ниже рассмотрены примеры реализации процесса на некоторых предприятиях (табл. 1.26).

Рафинирование файнштейна в хлоридных средах

В настоящее время технология рафинирования файнштейна в хлоридных средах применяется на трёх предприятиях, технологические схемы которых существенно различаются между собой, как по условиям растворения файнштейна, так и по способу очистки растворов от примесей. На всех четырёх предприятиях катодный никель получают электроэкстракцией в ящичных ваннах с общим катодным пространством и помещёнными в анодные диафрагменные ячейки титановыми нерастворимыми анодами с активным покрытием из оксидов рутения. Из каждой анодной ячейки осуществляется совместная аспирация анолита и анодных газов.

На рафинировочном никелевом заводе Nikkelverk (Glencore, Норвегия) измельчённый файнштейн выщелачивается при температуре кипения в каскаде реакторов в оборотном никелевом анолите при подаче хлора и поддержании заданного окислительно-восстановительного потенциала для коллектирования в нерастворимом остатке меди и драгоценных металлов. Затем выщелоченная пульпа подаётся в каскад автоклавов, работающих при температуре 140°С–145°С и давлении 0,3–0,4 МПа. Пульпа из хвостового автоклава непрерывно через холодильник разгружается в реакторы медеочистки, которая осуществляется частью свежего файнштейна.

Таблица 1.26 – Условия получения катодного никеля на некоторых предприятиях

	Thompson, Vale, Кана- да (до 2018)	Harjavalta, Норильский Никель, Финляндия	BMR, Anglo Platinum ЮАР (2009)	BMR, Anglo Platinum (новый электролизный цех), ЮАР (2011)	Niihama, Sumitomo, Япония	Nikkelverk, Glencore, Норвегия	Комбинат «Североникель», «Норильский никель», Россия	
							Рафинирование анодов	Рафинирование НПТП (проект)
Производительность, т/год Ni	60000	15000/20000	21500	33000	30000	90000	120000	145000
Количество ванн, шт.	684	128	Н. д.	208	200	430	476	476
Размер ванн, Д × Ш × В, м	5,8 × 1,6 × × 0,9	6 × 1,2 × 1,2	6,6 × 1,2 × × 1,2	Н. д.	6 × 0,9 × 1,1	7 × 0,8 × 1,6	8,5 × 1,4 × 1,8	8,5 × 1,4 × 1,8
Материал	Бетонные, покрытые пластиком	Армированный монолитный бетон, вставка ПВХ	Блочный бетон	Полимербетон	168-бетонные, покрытые пластиком, 32-полимербетон	Армированный бетон с пластиковой вставкой	Полимербетон	Полимербетон
Электролит:	Сульфат-хлоридный	Сульфатный	Сульфатный	Сульфатный	Хлоридный	Хлоридный	Сульфат хлоридный	Сульфат- хлоридный
Состав, г/дм^3	Ni – 75–85/75–85 Cl – 50–60 H_3BO_3– 7–8	Ni 100 на входе, 65 на выходе, лаурилсульфат натрия – 20 мг/л	Ni 80 на входе, 50 на выходе H_3BO_3 6–10	80 на входе, 50 на выходе, H_3BO_3 6–10	Ni – 70–75, Cl – 85	60 на входе, 54 на выходе, Cl – 60	Ni – 70–75, Cl – 50–55, H_3BO_3– 3–6	Ni – 70, Cl – 63, H_3BO_3 – 4–6
pH	1,5/3,0	3,5–3,8	3,5	3,5	2	1,4–2,0	1,5/3,0	1,4/1,6
Скорость циркуляции электролита, м^3/мин/ванну	0,7	0,025–0,030	0,009	Н. д.	0,035	0,07	0,025	0,03
Аноды:								
Количество	27	50	41	49	53	52	51	61

Продолжение таблицы 1.26

	Thompson, Vale, Канада (до 2018)	Harjavalta, Норильский Никель, Финляндия	BMR, Anglo Platinum ЮАР (2009)	BMR, Anglo Platinum (новый электролизный цех), ЮАР (2011)	Niihama, Sumitomo, Япония	Nikkelverk, Glencore, Норвегия	Комбинат «Североникель», «Норильский никель», Россия	
							Рафинирование анодов	Рафинирование НПТП (проект)
Размер, Д × Ш × В, м	1,1 × 0,7 × × 0,045	Н. д.	Н. д.	Н. д.	1 × 0,8 × 0,002	1 × 0,8 × × 0,002	0,92 × 0,83 × × 0,095	1,24 × 0,835
Состав	Ni – 76 %, Cu – 2,5 %, S – 19 %	Свинец	Свинцовый сплав (0,6 % Sn, 0,05 % Sr)	Свинцовый сплав (0,6 % Sn, 0,05 % Sr)	Покрытая оксидом рутения титановая сетка	Покрытая оксидом рутения титановая сетка	Ni 87 %–90 %, Cu 4,5 Fe 3,5	Покрытая оксидом рутения титановая сетка
Анодная кампания, сут.	16–17	–	–	–	–	–	27	–
Катоды:								
Количество	26	49	40	48	52	51	50	60
Расстояние между катодами, м	0,2	0,133	0,16	Н. д.	0,11	0,13	0,165	0,13
Размер, Д × Ш, мм		970 × 890				1300 × 700	1085 ×935	1340×935
Катодная кампания, сут.	10	7+2 (для основы на Ti-матрице)	6+2 (для основы на Ti-матрице)	10–14 (безосновный)	7	7	3–5	(5–7) + 1
Напряжение на ванне, В	3 с повышением до 6 по мере роста толщины шламовой корки	3,8–4,0	3,6–3,9	3,6–3,9	3,0–3,1	Н. д.	2,4–2,5	3,6–4,0
Катодная плотность тока, А/м^2	250	220–230	220	220–260	233–273	260	250–270	227
Выход по току, %		93	97	>95	99,5	98–99	96,5	95,5

Очищенный от меди фильтрат поступает на гидролитическую железоочистку, которая осуществляется в реакторах путём подачи карбоната никеля и хлора, затем на выделение гипса и жидкостную экстракцию кобальта 15 %-ным раствором триизооктиламина в керосине.

Никелевый рафинат после разбавления оборотным электролитом и гидролитической очистки от свинца и марганца подаётся на передел электроэкстракции никеля. Из кобальтового реэкстракта после дополнительной гидролитической очистки получают катодный кобальт.

На заводе Niihama (Япония) компании Sumitomo Metal Mining (SMM) файнштейн подвергают хлорному растворению в две стадии по противотоку. На первой стадии (цементации) медистый раствор (40 г/дм^3 Cu) реагирует с исходным файнштейном с переводом в раствор части никеля (~20 %) и осаждением меди в виде сульфида до остаточного содержания ~ 0,01 г/дм^3.

На второй стадии при использовании хлора в качестве окислителя из кека глубоко выщелачивается никель и медь, таким образом, что суммарное извлечение никеля в раствор на двух стадиях выщелачивания оказывается более 95 %, а окисление серы до сульфатной не превышает 3 %.

Богатый никелем раствор со стадии цементации поступает на гидролитическую очистку от кобальта и железа окислением их хлором в присутствии карбоната никеля, а затем на электроэкстракцию с получением катодного никеля и возвратом газообразного хлора на стадию выщелачивания и очистки растворов. Кобальт извлекается из железо-кобальтового кека растворением в серной кислоте с подачей сульфита натрия. Полученный раствор после очистки от железа и меди направляют на жидкостную экстракцию с получением чистых хлоридных растворов никеля и кобальта, из которых получают никелевые соли и катодный кобальт и кобальтовые соли, соответственно.

Удаление меди из цикла выщелачивания осуществляется электроэкстракцией, которая предусмотрена технологической схемой между стадиями выщелачивания и цементации, с получением промпродуктового медного порошка, передаваемого затем на медный завод.

На заводе Sandouville компании Eramet (Франция) до 2018 года, когда на переработку поступал низкомедистый (0,2 % меди) файнштейн с Новой Каледонии, его выщелачивали в две стадии раствором хлорного железа в солянокислой среде с подачей хлора. В результате выщелачивания получали раствор хлоридов никеля, кобальта и железа. Сера в элементарной форме отделялась от раствора вместе с нерастворимым остатком.

Из раствора трибутилфосфатом экстрагировали железо (которое после реэкстракции частично возвращается на выщелачивание, а частично выпускается в качестве товарного хлорида железа), а затем с помощью три-изо-октиламина – кобальт, который реэкстрагируется в форме хлорида, являющегося товарной продукцией. Оставшийся после выделения железа и кобальта раствор хлорида никеля очищался от свинца электроэкстракцией, от других примесей – ионообменом, от органики – активированным

углем. Из очищенного раствора электроэкстракцией получали катодный никель; образующийся в процессе электролиза хлор поступал на выщелачивание исходного файнштейна.

На сегодняшний день идёт перестройка технологии завода Sandouville в связи с изменением сырья с низкомедистого (0,2 % меди) файнштейна, который поступал из Новой Каледонии, на медно-никелевый файнштейн с плавильного завода Harjavalta компании Boliden (Швеция).

На входящей в группу компаний ПАО «ГМК «Норильский никель» АО «Кольская ГМК» в настоящее время осваивается процесс рафинирования в хлоридных средах восстановленной закиси никеля, полученной из никелевого концентрата от разделения файнштейна. Более подробно эта технология описывается в разделе 2.

Рафинирование файнштейна в сульфатных средах

Технологические схемы рафинирования файнштейна в сульфатных средах более распространены в мире и ближе друг к другу по идеологии, нежели хлоридные. Обычно они представляют собой комбинацию процессов атмосферного и автоклавного выщелачивания, организованную в противоточном режиме. При получении катодного никеля электроэкстракцией используются ящичные ванны с диафрагменными катодными ячейками и общим анодным пространством, в котором расположены нерастворимые аноды из сплава на основе свинца. Чистый продукционный раствор подаётся в каждую катодную ячейку.

В качестве примеров рассмотрим технологии рафинирования файнштейна на заводе Harjavalta (Финляндия) и предприятиях Южной Африки.

На гидрометаллургическом заводе Harjavalta (Норильский никель, Финляндия) в настоящее время перерабатывается немагнитная фракция никелевого концентрата от флотации файнштейна российских предприятий ПАО «ГМК «Норильский никель».

Согласно технологической схеме, материал подвергается двухстадийному атмосферному окислительному выщелачиванию. Целью первой стадии – медеочистки – является глубокая очистка оборотного раствора от меди и железа, второй – повышение извлечения в раствор никеля за счёт частичного разложения сульфидов.

Более глубоко разложение сульфидов протекает на стадии автоклавного выщелачивания, реализуемой под давлением кислорода. Полученная пульпа, содержащая в жидкой части достаточное количество меди для растворения никеля, подаётся без разделения жидкого и твёрдого на автоклавное рафинирование, которое проводится в атмосфере паров воды без подачи окислителя. На этой стадии происходит взаимодействие сульфидной составляющей с присутствующим в растворе сульфатом меди с получением медного кека, коллектирующего драгоценные металлы. Этот кек для дальнейшей переработки направляется на медерафинировочные предприятия. Раствор автоклавного рафинирования после автоклавной железоочистки, осуществляемой с использованием в качестве нейтрализатора натриевой щелочи, направляется на первую атмосферную стадию (медеочистку).

Из раствора медеочистки жидкостной экстракцией выделяется кобальт, а также малые примеси меди, железа, цинка, марганца и др. Серной кислотой из промытого

экстракта реэкстрагируют кобальт с получением раствора сульфата кобальта, из которого после дополнительной очистки от малых примесей получают товарные кобальтовые соли.

Товарную никелевую продукцию – катодный никель и никелевые брикеты, получаемые из порошка автоклавного водородного осаждения в аммиачно-сульфатных средах, – производят из никелевого рафината в двух цехах: электролизном и цехе водородного восстановления. Из относительно небольшой части никелевого рафината в цикле жидкостной экстракции никеля получают более чистый никелевый реэкстракт, который направляется на производство никелевых солей. Побочной продукцией предприятия является сульфат аммония, получаемый из растворов после водородного восстановления никеля.

Гидрометаллургическая технология рафинирования файнштейна на заводах ЮАР представляет собой многостадийную противоточную схему сернокислотного автоклавного выщелачивания файнштейна.

На заводе Springs (Impala Platinum, ЮАР) измельчённый файнштейн проходит через три противоточных стадии автоклавного окислительного выщелачивания. На первой и второй стадиях в раствор переходит до 85 % никеля. На третьей стадии автоклавного окислительного выщелачивания в раствор извлекают остатки цветных металлов и серы и получают концентрат ДМ, который передают на аффинаж. Богатый раствор первой стадии выщелачивания очищают от меди осаждением гидросульфидом натрия, что обеспечивает полноту осаждения ДМ. Кек после осаждения меди направляется на вторую стадию автоклавного окислительного выщелачивания, фильтрат которой после железоочистки направляется на электроэкстракцию меди. Из очищенного от меди раствора первой стадии автоклавного окислительного выщелачивания также гидролитическим способом осаждают железо. Затем из него автоклавным водородным восстановлением получают чистый никелевый порошок, который непосредственно отправляют на продажу или предварительно брикетируют. Водородное восстановление осуществляют в аммиачно-сульфатных средах, а из растворов после осаждения никеля регенерируют аммиак подачей извести, что позволяет выводить сульфат-ион в форме отвального гипса. Остаток никеля и кобальта осаждают из раствора гидросульфидом натрия в виде смешанных никель-кобальтовых сульфидов, которые перерабатывают по технологии, предусматривающей применение жидкостной экстракции для разделения никеля и кобальта.

В отличие от завода Springs, на рафинировочном заводе базовых металлов BMR (Anglo American Platinum, ЮАР) файнштейн, как упоминалось выше, перед рафинированием проходит через магнитную сепарацию, которая отделяет магнитную фракцию, содержащую основное количество металлов платиновой группы, от немагнитной, обеднённой по ДМ-фракции.

Магнитная фракция выщелачивается в отдельном трёхстадийном цикле с получением богатого концентрата ДМ, который направляется на аффинажное предприятие. Растворы выщелачивания магнитной фракции передаются на стадию автоклавного рафинирования цикла переработки немагнитной фракции.

Немагнитная фракция файнштейна растворяется в отдельном противоточном цикле выщелачивания, включающем атмосферную стадию медеочистки файнштейном, атмосферную стадию окислительного выщелачивания, автоклавное рафинирование и автоклавное окислительное выщелачивание медного сульфидного кека стадии автоклавного рафинирования. Фильтрат автоклавного выщелачивания медного кека после очистки от селена и теллура направляется на производство товарной меди электроэкстракцией. Железо из раствора цикла выщелачивания выводится автоклавным окислением с использованием раствора каустика. Очистке от железа подвергается фильтрат второй стадии атмосферного выщелачивания перед его подачей на первую стадию, где осуществляется очистка от меди.

Никелевый раствор после стадии очистки от меди очищается от свинца добавкой гидроксида бария. Далее фильтрат очищается от кобальта полученным электрохимическим окислением черным гидратом никеля.

Очищенный от примесей никелевый раствор поступает на электроэкстракцию никеля. Анолит из цеха электроэкстракции никеля возвращается на атмосферное выщелачивание никеля и частично отсекается на передел осаждения карбоната никеля, производимого для операций гидролитических очисток. Из фильтрата карбонатного передела производится товарный сульфат натрия.

Рафинирование файнштейна в аммиачных средах

Рафинирование по методу Sherritt в аммиачных средах реализовано на заводах Fort Saskatchewan (Sherritt, Канада) и Kwinana (BHP Billiton, Австралия), при этом Sherritt в своё время модифицировала исходный процесс в связи с изменением характера сырья на заводе Fort Saskatchewan – с переходом в 1990-е годы с рафинирования файнштейна на переработку смешанных Ni – Co сульфидов с завода Moa (Куба). Технологическая схема рафинирования в аммиачной среде включает в себя стадии автоклавного окислительного выщелачивания в аммиачных средах и переработку растворов с водородным осаждением никеля и кобальта.

С другой стороны, широкое распространение имеют технологические схемы, использующие в качестве головных операций сернокислотное автоклавное выщелачивание, а на завершающих стадиях – водородное осаждение из аммиачных сред (Harjavalta, Финдяндия и Impala Platinum, ЮАР). В последнем случае разделение никеля и кобальта, а также очистка от примесей реализуются на стадии работы с кислыми сульфатными растворами, а осаждение производится из чистых индивидуальных растворов никеля и кобальта.

На заводе Fort Saskatchewan смешанные сульфиды выщелачивают в автоклавах в аммиачных растворах под давлением кислорода. При этом порядка 99 % никеля и 98+% кобальта переходят в раствор в форме комплексных солей – аммиакатов, сера (в виде сульфата) переходит в раствор на 75 %. Железо образует гидроксид и выпадает в осадок.

Полученный раствор перерабатывается гексаминовым методом, суть которого заключается в осаждении смешанной соли: гексамин сульфат кобальта (III)/гексамин сульфат никеля (II)/сульфат аммония, которая является исходным сырьём для получения рафинированного кобальта.

Переработка гексамина кобальта (III) – никеля (II) включает в себя выщелачивание водой и слабым оборотным раствором для удаления никеля, а затем перекристаллизацию в аммиачно-сульфатном растворе. Полученная соль характеризуется соотношением Co : Ni > 10000 : 1 и направляется на получение товарного кобальта. Для этого её растворяют, кобальт восстанавливают до степени окисления 2 + оборотным кобальтовым порошком и серной кислотой, а затем полученный раствор обрабатывают водородом для получения товарного металла в виде порошка чистотой 99,8 %. Этот порошок сушат и упаковывают либо компактируют с получением брикетов и спекают с получением продукта Co 99,9 %, обычно содержание S < 0,002 %, C < 0,002 %.

Из богатого никелевого раствора, оставшегося после выделения кобальта, удаляют медь в две стадии: на первой стадии за счёт отгонки аммиака, на второй – путём введения элементарной серы и SO_2. Осадок сульфида меди (~ 70 % Cu) отфильтровывают и в итоге отправляют на медеплавильные предприятия.

Раствор после оксигидролиза поступает на восстановление никеля водородом в автоклаве. При 250°C и давлении 35 бар осаждают порошок никеля. Никелевый порошок брикетируют и спекают в атмосфере водорода. В типичном случае брикеты содержат 99,8 % Ni, 0,1 % Co, <0,01 % S, <0,005 % C.

Раствор от операции восстановления никеля водородом кристаллизуют с получением сульфата аммония для продажи в качестве удобрения.

Электролитическое рафинирование файнштейна

Электролитическое рафинирование файнштейна реализовано на двух заводах – Thompson компании Vale (Канада) и Jinchuan компании Nonferrous Metals (Китай). При электролитическом рафинировании черновых анодов используются ящичные ванны с общим анодным пространством и катодными диафрагменными ячейками, в каждую из которых подаётся очищенный никелевый раствор.

На заводе Thompson (остановленном в 2018 году) маломедистый файнштейн разливается в горизонтальные изложницы для получения анодов размером 1,1 × 0,7 × 0,045 м, которые затем помещают в полипропиленовые мешки и завешивают в электролизные ванны. Анолит, образующийся в процессе растворения черновых анодов, очищается от примесей в гидрометаллургическом отделении, а затем подаётся в катодное.

На комбинате Jinchuan измельчённый файнштейн проходит через магнитную сепарацию для выделения обогащённого ДМ металлического сплава (магнитной фракции), который направляют в шламовый цех для извлечения драгоценных металлов. Немагнитная фракция файнштейна флотацией разделяется на никелевый и медный концентраты. Никелевый концентрат от флотационного разделения файнштейна плавится в отражательных печах на аноды, которые подвергаются электролитическому рафинированию.

Карбонильный процесс

Около четверти всего объёма файнштейна превращается в никель высокой чистоты с помощью газофазного процесса карбонилирования. Этот процесс применяется

в Канаде (завод Copper Cliff), России (Кольская ГМК), Китае (Jinchuan) и Великобритании (завод Clydach).

Процесс карбонилирования может проходить при атмосферном давлении (Clydach), при высоком давлении (Кольская ГМК), а также при среднем давлении (Copper Cliff).

Vale производит по карбонильной технологии порошки и дробь на рафинировочных заводах в Великобритании (Clydach) и Канаде (Copper Cliff) суммарной мощностью более 100 тыс. т/год, из которых около 25 тыс. т/г приходится на порошки.

В настоящее время Vale производит 2 типа никелевых порошков: тип 123 – дискретные квазисферические частицы со средним размером частиц (по Фишеру) 8–10 мкм и тип 255 – частицы с трёхмерной цепочечной структурой со средним размером цепочек 15–20 мкм.

Основным сырьём для никелевого рафинировочного завода Clydach компании Vale служит оксид никеля (синтер 75), поставляемый с канадского комплекса Copper Cliff, также принадлежащего Vale. Суммарная мощность завода оценивается примерно в 40 тыс. т/год. В 2015 году выпуск завода Clydach составил ~ 9 – 10 тыс. т карбонильного порошка, остальное – карбонильная дробь.

Компания Jilin Jien Nickel (Китай) производит никелевый порошок по технологии, предоставленной канадской компанией CVMR (карбонилирование при атмосферном давлении). Основным сырьём служит промпродукт – гидроксид никеля, из которого получается оксид никеля и далее восстановлением водородом никель металлический. Никель затем взаимодействует при атмосферном давлении с CO с образованием газообразного карбонила никеля, в результате термического разложения которого получают как дискретные, так и нитеобразные порошки в реакторах, аналогичных установленным у компании Vale. Мощность по никелевым порошкам – около 2000 т/год.

Канадский рафинировочный никелевый завод Copper Cliff Nickel Refinery (CCNR) компании Vale работает с 1972 года по технологии карбонилирования под средним давлением, запатентованной компанией Inco. Синтез тетракарбонила никеля при среднем давлении реакционного газа (70 бар) и повышенных температурах осуществляется из-за необходимости извлекать никель в присутствии меди в сравнительно больших концентрациях, а также существенного ускорения реакции и, соответственно, увеличения производительности оборудования.

На заводе CCNR перерабатывают промпродукты от разделения файнштейна с плавильно-рафинировочного комплекса Copper Cliff в Садбери, а также Ni-содержащие (и содержащие драгоценные металлы) остатки других предприятий компании, которые для получения однородного по составу нерафинированного расплава никеля переплавляют в TBRC конвертере и гранулируют с образованием маленьких пористых гранул.

Выделенные при флотации немагнитной фракции сульфиды никеля (с низким содержанием меди) обжигают в кипящем слое до NiO и отправляют на завод Clydach для извлечения никеля по карбонильной технологии при атмосферном давлении.

В зависимости от состава сырья и аппаратурного оформления в процессе карбонилирования параллельно с образованием карбонила никеля, Ni(CO)4, протекают реакции синтеза карбонилов железа, кобальта, серы. Этот продукт – карбонил-сырец – подвергают ректификации для получения чистого карбонила никеля.

Разложение чистого карбонила никеля с получением дроби осуществляется в разложителях с циркулирующими в нем частицами никелевой дроби, предварительно подогретыми до 240–270°С. Часть $Ni(CO)_4$ после перегонки конденсируют и затем повторно переводят в газовую фазу, но с более высокой концентрацией. Этот газ поступает в разложитель для порошков с наружным электрообогревом стенок. Тетракарбонил подвергается тепловому удару, в результате нуклеации образуется множество никелевых частиц, которые впоследствии лишь немного увеличиваются в размерах. Размер и морфологию (например, сферическую форму или нитевидную) можно контролировать изменением скорости подачи сырья, концентрации и температуры внутри разложителя, а также путём добавок небольших количеств химических агентов, затрудняющих или способствующих разложению карбонила на различных участках.

Некоторое время назад китайская компания Jinchuan ввела в строй завод по «стандартной» карбонильной технологии мощностью ~5000 т/год никелевого порошка. Известно лишь, что процесс включает синтез при среднем давлении. В настоящее время Jinchuan выпускает два типа порошков: с нитеобразными частицами – тип N06, аналог T255 (Vale), и с дискретными частицами N24 – аналоги T123 (Vale). Другие нитеобразные порошки Jinchuan N04 и N09, грубо говоря, аналогичны порошкам T210 и T287, производство которых Vale было прекращено.

Комбинированные пиро-гидрометаллургические способы

Электрорафинирование черновых металлических никелевых анодов, полученных пирометаллургическими способом из сульфидного никелевого продукта от разделения файнштейна, до чистых никелевых катодов ранее было распространённым способом получения товарного никеля. На сегодняшний день оно сохранилось на одном предприятии, расположенном на территории Российской Федерации, – комбинате Североникель АО «Кольская ГМК». Однако и на нём происходит его постепенная замена на метод электроэкстракции из хлоридных растворов.

Комбинированная технологическая схема получения товарного никеля в Российской Федерации будет рассмотрена ниже.

1.3.4. Переработка кобальтомышьяковых и медно-кобальтовых руд

Переработка кобальто-мышьяковых руд

Как упоминалось выше, единственным рудником, где в настоящее время добывают кобальтовую мышьяковистую руду, является рудник Bou-Azzer (Марокко) компании CTT Managem, остальные по экологическим соображениям были закрыты. Из руды с ~ 1 + % Co получают флотационный концентрат, содержащий ~10–11 % Co. Руды, подобные марокканским, традиционно перерабатывали по схеме, включающей обжиг и выщелачивание кислотой. Концентрат обжигают в печи с кипящим слоем с целью удаления 60–70 % мышьяка в виде As_2O_5.

Огарок можно обрабатывать либо соляной кислотой и хлором, либо серной кислотой. Раствор выщелачивания очищается от примесей гидрометаллургическими методами, а из очищенного раствора кобальт извлекают электроэкстракцией или осаждением в виде карбоната $CoCO_3$.

По проекту Idaho Cobalt (США) австралийской компании Jervois Mining для переработки рудного концентрата по ТЭО 2017 года предусматривается использование автоклавного кислотного выщелачивания в присутствии кислорода и катализатора – азотсодержащих частиц (~2 г/л азотной кислоты). На этапе выщелачивания кобальт, медь и часть золота переходят в раствор, а основная часть железа и мышьяка гидролизуются с образованием скородита и гидрониоярозита в стабильном остатке выщелачивания [25].

Переработка медно-кобальтовых руд

Медно-кобальтовые руды (сульфидные, окисленные и смешанные) характерны для месторождений Замбии и ДРК. Традиционная схема переработки включает обжиг-выщелачивание-электроэкстракцию.

Сульфидные руды обогащают и флотационные концентраты подвергают сульфатизирующему обжигу, позволяющему перевести сульфиды меди и кобальта в хорошо выщелачиваемые сульфаты, а соединения железа – в оксид (гематит $Fe_2O)_3$, который не растворяется в мягких условиях выщелачивания.

Так, на рафинировочном заводе Luilu (ДРК) компании Katanga Mining (75,2 % у Glencore) до недавнего времени окисленный концентрат после репульпации отработанным электролитом и огарок сульфидного концентрата в виде пульпы с отработанным электролитом объединяли и выщелачивали при атмосферном давлении серной кислотой с добавками метабисульфита натрия $Na_2S_2O_5$ (для улучшения растворения кобальта). Полученный раствор направляют на электроэкстракцию меди. Извлечение кобальта осуществляется из отсечного электролита цеха электролиза меди. После очистки раствора от алюминия, железа, и меди, никеля и цинка раствор поступает на электроэкстракцию кобальта [29].

В конце 2017 года на заводе Luilu начался ввод в строй новых гидрометаллургических мощностей по выщелачиванию всей массы руды (‘WOL’), ликвидирующих затратный, требующий ряда реагентов (все импортные) и не слишком эффективный процесс обогащения окисленной руды с получением концентрата.

Как и раньше, обезвоженный сульфидный концентрат обжигают. Пульпу огарка и пульпу обезвоженного оксидного концентрата объединяют и выщелачивают при атмосферном давлении разбавленной серной кислотой, полученной при рециклинге рафината из цеха SX меди. При необходимости к рафинату добавляется концентрированная серная кислота. К пульпе добавляют метабисульфит в качестве восстанавливающего агента для улучшения растворения кобальта. Кобальт выпускается в виде гидроксида.

Поскольку при флотации медно-кобальтовых руд извлечение кобальта ранее обычно составляло 40–80 %, хвосты обогащения, накопленные за десятилетия добычи/обогащения, можно рассматривать как техногенный источник кобальта. Так, ERG Africa (входит в группу ERG, Казахстан) в конце 2018 года ввела в строй проект переработки гидрометаллургическим способом лежалых хвостов (112,8 млн т с 0,32 % Co, 1,49 % Cu), известном ранее как «проект Kolwezi». По этапу I планируется получать

77 тыс. т/г катодной меди и 14 тыс. т/г кобальта в гидроксиде с возможным расширением впоследствии до 120 тыс. т/г и 24 тыс. т/г, соответственно.

В качестве техногенных источников кобальта следует рассматривать и шлаковые отвалы старых медеплавильных предприятий. Так, в шлаковых отвалах завода Nkana (Замбия) содержится порядка 0,65 % Co.

Одним из вариантов переработки шлака (заводе Chambishi) является плавка в дуговой печи постоянного тока с добавками восстановителя (угля) с получением богатого по кобальту сплава, который затем после диспергирования выщелачивается под давлением, полученный раствор после соответствующих очисток направляется на получение катодного кобальта [29].

В 2008 году в Замбии компания Konkola Copper Mines ввела в строй новый медный завод Nchanga на ≈ 300 тыс. т/год меди по технологии Outotec взвешенной плавки прямо на черновую медь – 'direct-to-blister' для переработки обогащённых кобальтом медных концентратов из района Медного пояса Замбии.

Получаемый в результате богатый плавки (≈ 17–18 % Cu) расплавленный шлак направляется на двухстадийное обеднение в двух последовательно соединённых электропечах. В первой (основной) обеднительной печи идёт процесс восстановления с использованием металлургического кокса с целью извлечения меди в черновую медь. Во второй, «кобальтовой» электропечи проходят восстановление коксом шлака из первой обеднительной печи и взаимодействие со свежим концентратом. В результате плавки образуются малосульфидный сплав (63,3 % Cu, 23,8 % Fe, 6,3 % Co, 6,2 % S) и сильно восстановленный шлак.

1.4. Ресурсная база никеля и кобальта России

Россия обладает значительной сырьевой базой никеля, основу российской сырьевой базы никеля составляют комплексные месторождения сульфидного медно-никелевого типа, помимо никеля, продуктивные на медь, драгоценные металлы, кобальт, некоторые рассеянные элементы. Доля объектов других геолого-промышленных типов, представленных большей частью силикатными кобальто-никелевыми месторождениями, в сырьевой базе никеля страны не превышает пятой части, а качество их руд в сравнении с мировыми аналогами невысоко. Сульфидные руды обеспечивают и практически всю добычу никеля страны, составляющую 15 % мировой (табл. 1.27, 1.28) [30].

Таблица 1.27 – Состояние сырьевой базы никеля Российской Федерации

	На 01.01.2017 г.			На 01.01.2018 г.		
Прогнозные ресурсы	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Количество, тыс. т	1455,9	5918	5500	1758.1	6040.8	5500
Запасы	A+B+C1	C2		A+B+C1	C2	
Доля распределённого фонда, %	96,1	88		96,2	87,9	

Таблица 1.28 – Использование сырьевой базы никеля Российской Федерации, тыс. т

	2016	2017
Добыча из недр	289,4	298
Производство никеля в концентратах*	191	195

Окончание таблицы 1.28

	2016	2017
Производство первичного никеля	188,7	203
Экспорт первичного никеля	187	137,6
Импорт первичного никеля	0,9	1,5
* – без учёта богатых руд, отправляемых на металлургический передел без обогащения.		

Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации учтено 59 коренных месторождений никеля, среди которых 52 собственно никелевых и семь никельсодержащих; на 15 месторождениях учтены только забалансовые запасы. В 2016 году в категорию забалансовых переведены запасы Черемшанского силикатного месторождения в Свердловской области. Кроме того, учтены три техногенных месторождения.

Распределение запасов и прогнозных ресурсов никеля на территории России весьма неравномерно (рис. 1.5).

Для российской сырьевой базы никеля характерна высокая степень концентрации – 85 % запасов металла заключено в недрах Сибирского и Северо-Западного федеральных округов, что обусловило возникновение в этих регионах крупных горнорудных кластеров.

Около трёх четвертей запасов никеля страны сосредоточено в пределах Сибирского ФО. Почти 72 % их приходится на долю Красноярского края, в арктической зоне которого находятся месторождения Норильского рудного района, составляющие основу сырьевой базы никеля страны. Особое место занимают Октябрьское и Талнахское месторождения – каждое из них заключает более четверти запасов страны категорий А+В+С1.

В пределах рудного района находятся ещё ряд месторождений с сульфидными рудами, представленными преимущественно вкрапленными убогими разностями. Среднее содержание никеля в месторождениях Норильск-1, Масловское и Черногорское не превышает 0,35 %, общее количество запасов – 7 % российских.

На юге Красноярского края в пределах Канской металлогенической зоны в рудах месторождений Кингашское и Верхнекингашское аналогичного типа, содержащих 0,4–0,5 % никеля, суммарно заключено ещё около 8 % запасов страны категорий А+В+С1.

В Республике Тыва незначительные запасы никеля учитываются в арсенидных никель-кобальтовых рудах Ховуаксинского месторождения, содержащих в среднем 2,9 % металла.

На территории Забайкальского края в убогих сульфидных рудах комплексного Чинейского месторождения разведано небольшое количество никеля при содержании, не превышающем 0,05 %.

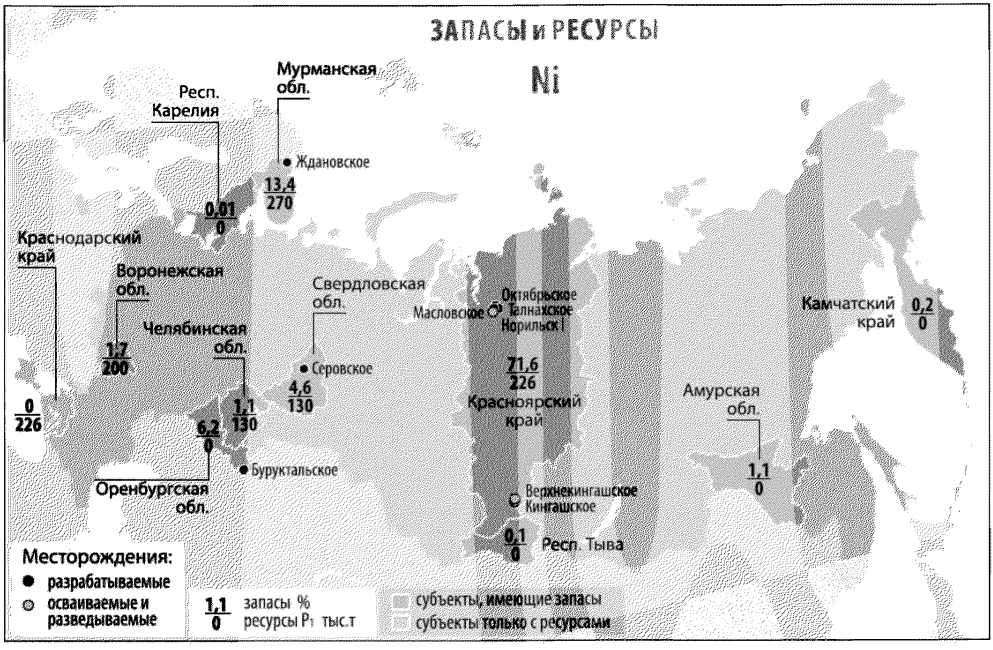


Рисунок 1.5 – Основные месторождения никеля и распределение его запасов, % и прогнозных ресурсов категории Р1 (тыс. т) по субъектам Российской Федерации

Прогнозные ресурсы никеля Сибирского ФО категории Р1 целиком локализованы на флангах и глубоких горизонтах Октябрьского месторождения и составляют 0,5 млн т. Ресурсы остальных перспективных площадей оценены в менее достоверных категориях.

Вторым центром сосредоточения запасов никеля является Северо-Западный ФО. В недрах Мурманской области заключено более 13 % металла страны. При этом почти 12 % приходится на сульфидные руды месторождений Печенгского рудного района. Объекты подобны норильским, однако сложены в основном вкраплёнными рудами – среднее содержание никеля в наиболее значимом по запасам Ждановском месторождении составляет 0,67 %. Вместе с тем на двух месторождениях рудного района с запасами менее сотой доли процента – Аллареченское и Восток – учтены запасы массивных руд, содержащих в среднем 4,2 и 7,3 % никеля соответственно.

На территории Мурманской области и Республики Карелия учитываются запасы малосульфидных собственно платиноидных руд с попутным никелем, составляющие почти 2 % российских. Руды крупных по запасам месторождений – Вуручуайвенч и Федорова Тундра – отличаются низким средним содержанием никеля (0,4 и 0,1 % соответственно).

Перспективы прироста запасов в Северо-Западном ФО связаны также с сульфидными рудами Мурманской области – прогнозные ресурсы категории Р1 локализованы на трёх объектах в количестве 0,3 млн т никеля.

Менее значительные запасы никеля учтены в недрах Приволжского, Уральского, Центрального и Дальневосточного федеральных округов.

Сырьевые базы никеля Приволжского и Уральского ФО представлены в основном месторождениями собственно никелевого силикатного кобальт-никелевого геолого-промышленного типа, однако учтены и никельсодержащие руды – бурые железняки с асболанами и бобово-конгломератовые железные руды. На территории Оренбургской, Свердловской и Челябинской областей в пределах Восточно-Уральской металлогенической провинции заключено 6,2, 4,6 и 1,1 % российских запасов металла соответственно. Российские силикатные руды обеднены никелем – среднее содержание металла при естественной влажности руд в единичных объектах незначительно превышает 1 %. Крупными запасами, около 5 % российских, обладает Буруктальское месторождение в Оренбургской области, содержание никеля в его рудах не превышает 0,7 %. В Свердловской области в недрах комплексного железо-никелевого Серовского месторождения заключено порядка 4 % запасов никеля страны. На месторождении развиты два типа руд – никелевые, силикатные, кобальтсодержащие и бобово-конгломератовые железные руды с попутными хромом, никелем и кобальтом. Содержание никеля в среднем по месторождению для каждого типа руд составляет 0,7 и 0,16 % соответственно.

Возможности расширения сырьевой базы никеля Уральского ФО связаны с никелевыми силикатными рудами – в пределах областей, входящих в Восточно-Уральскую металлогеническую провинцию, сосредоточено 0,26 млн т прогнозных ресурсов категории Р1.

Менее 2 % российских запасов никеля разведано в объектах Воронежского кристаллического массива в Центральном ФО. Здесь учтены запасы двух месторождений сульфидных медно-никелевых руд: Еланского и Елкинского. Концентрация никеля во вкрапленных рудах этих объектов составляет 1,4 и 0,85 % соответственно. Перспективы прироста запасов округа связаны с флангами Еланского месторождения, где выявлены прогнозные ресурсы категории Р1 в количестве 0,2 млн т.

Незначительное количество российских запасов никеля – 1,3 % – сосредоточено в пределах Дальневосточного ФО. В Камчатском крае разрабатывается среднее по запасам Шанучское сульфидное медно-никелевое месторождение, сложенное в основном массивными рудами, в которых содержание никеля варьирует в пределах 2,7–5,5 %, запасы объекта не превышают 0,2 % по стране в целом. В Амурской области осваивается крупное месторождение Кун-Манье, в рудах которого заключено более 1 % российских запасов никеля, однако его содержание не превышает 0,7 %. Прогнозные ресурсы в округе значительны и связаны в основном с рудопроявлениями Камчатского края, однако оценены пока только по категории Р2. Кроме того, локализованы прогнозные ресурсы никеля категории Р1 в количестве 225,9 тыс. т российского разведочного района в Тихом океане, связанные с железо-марганцевыми осадочными образованиями, где никель является попутным компонентом.

Ещё почти 51 тыс. т запасов никеля учтено в техногенных образованиях Красноярского края и Мурманской области (табл. 1.29).

Таблица 1.29 – Основные месторождения никеля

Месторождение	Промышленный тип руд	Доля в запасах A+B+C1 РФ, %	Содержание Ni в рудах, %	Добыча в 2016 г., тыс. т
ПАО «ГМК «Норильский никель»				
Октябрьское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	34,5	0,78	172,3
Талнахское (Красноярский край)		24,1	0,68	61
Масловское (Красноярский край)		2,4	0,35	0
Ждановское* (Мурманская область)		7,2	0,67	31,4
ПАО «ГМК «Норильский никель»; АО «Артель старателей "Амур"» (ГК «Русская Платина»)				
Норильск I (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	3,6	0,32	5,9
ООО «Кингашская ГРК» (ООО «УК "Интергео"»)				
Кингашское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	3,6	0,41	0
Верхнекингашское (Красноярский край)		4,3	0,47	0
ОАО «Уфалейникель» (ООО «РУСНИКЕЛЬ»)				
Серовское* (Свердловская область)	Силикатный кобальто-никелевый	1,5	0,93	9,3
	Бобово-конгломератовый железный	1,8	0,33	0
ООО «Светлинские минералы», ПАО «Комбинат Южуралникель»				
Буруктальское* (Оренбургская область)	Силикатный кобальто-никелевый	6,7	0,63	0
* – часть запасов учтена в нераспределённом фонде недр.				

Основная часть никелевых месторождений страны передана в освоение, разрабатываются только 10 из них. В нераспределённом фонде недр остаются 24 объекта, а также нелицензированные участки разрабатываемых и осваиваемых месторождений за границами горных отводов.

В 2016 году на территории России подготавливались к эксплуатации 13 месторождений никеля, девять из них – сульфидные медно-никелевые и четыре – силикатные кобальт-никелевые. Самые крупные объекты находятся в Красноярском крае – Верхнекингашское, Кингашское, Черногорское и южная часть месторождения Норильск 1.

Геологоразведочные работы ведутся не только на существенно никелевых месторождениях, но и на объектах с никельсодержащими рудами. Однако основная доля прироста запасов в 2016 году получена на сульфидных месторождениях.

Заполярным филиалом ПАО «ГМК «Норильский никель» в ходе эксплуатационно-разведочных работ получен прирост запасов никеля на Октябрьском (84,8 тыс. т) и Талнахском (22,9 тыс. т) месторождениях. Кроме того, доразведана западная часть залежи Северная 3 Октябрьского месторождения и утверждены 129,9 тыс. т запасов никеля категории С1 и 222,9 тыс. т категории С2. На месторождении Норильск 1 в пределах охранного целика, примыкающего к юго-западному флангу рудника Медвежий Ручей, были пересчитаны запасы по новым постоянным разведочным кондициям для условий открытой отработки; запасы никеля категорий А+В+С1 увеличены на 185,7 тыс. т, категории С2 – на 2,5 тыс. т.

В 2016 году на государственный учёт впервые поставлены запасы никельсодержащих бобово-конгломератовых руд Серовского железорудного месторождения в Свердловской области; работы по переоценке были проведены ФГБУ «ВИМС». Запасы никеля категории С1 составили 359,3 тыс. т, категории С2 – 521,7 тыс. т.

Прирост запасов никеля категорий А+В+С1 в 2016 году в целом по стране по результатам разведки и переоценки составил 843,6 тыс. т. Количество запасов категорий А+В+С1 по сравнению с 2015 годом увеличилось на 3 %, запасов категории С2 – на 12 %.

По предварительным данным, в 2017 году прирост запасов никеля категорий А+В+С1 составил 285 тыс. т, при этом почти 202 тыс. т получено в результате доразведки Еланского и Елкинского месторождений Воронежской области.

На Октябрьском месторождении в Норильском рудном районе утверждены запасы никеля (залежи Северная 4 категорий С1 и С2 (83 тыс. т и 179,3 тыс. т соответственно)). Впервые учтены запасы Мончетундровского малосульфидного собственно платиноидного месторождения в Мурманской области в количестве 0,4 тыс. т категории С1 и 14,9 тыс. т категории С2 и Шаргадыкского комплексного месторождения фосфорно-редкоземельно-урановых руд с попутным никелем в количестве 8,2 тыс. т категории С2. В целом, по оперативным данным, запасы никеля категорий А+В+С1 в 2017 году незначительно сократились, категории С2 – уменьшились на 1 %.

Кроме того, по результатам эксплуатационно-разведочных работ на месторождении Хвостохранилище № 1 НОФ ООО «Медвежий ручей» получен прирост техногенного никеля – 181 тыс. т категорий В+С1 и 24,9 тыс. т категории С2.

В 2017 году прошли апробацию прогнозные ресурсы никеля в количестве 402,2 тыс. т категории Р1 и 122,8 тыс. т категории Р2 по результатам поисковых работ в пределах Мончегорского рудного района, выполненных АО «Росгеология».

Традиционно основным добывающим регионом остаётся Сибирский ФО, где за счёт эксплуатации норильских месторождений было получено почти 83 % металла; ещё около 13 % извлечено из недр месторождений Печенгской группы в Мурманской области.

Практически монополистом в отечественной никелевой горнорудной и металлургической промышленности остаётся ПАО «ГМК «Норильский никель». Руды норильских месторождений эксплуатируются Заполярным филиалом компании. Добыча здесь

в 2016 году составила 239,2 тыс. т, более 172 тыс. т было извлечено из недр Октябрьского месторождения, остальное – на Талнахском и Норильск-1. Годовая производственная мощность комплекса по руде – 17,5 млн т.

В Мурманской области дочерней структурой холдинга, АО «Кольская ГМК» на объектах Печенгского рудного района получено ещё 37 тыс. т металла. Производственная мощность комплекса составляет 7,5 млн т руды в год.

Помимо первичных руд, на Норильской и Талнахской обогатительных фабриках перерабатываются техногенные материалы – их количество в 2016 году составило 3,9 тыс. т. В 2016 году общее производство никеля в концентрате фабриками холдинга из отечественного сырья составило 187 тыс. т.

Подземную добычу сульфидных руд месторождения Шануч в Камчатском крае ведёт компания ЗАО «НПК «Геотехнология» с последующей переработкой на дробильно-сортировочном комплексе промышленной площадки месторождения до медно-никелевого концентрата. В 2016 году добыча руд в пересчёте на никель составила 3,9 тыс. т, после переработки с учётом складированной руды получено 4 тыс. т никеля в концентрате. Кроме того, добытые ранее окисленные руды с пониженным содержанием никеля складированы в количестве более 12 тыс. т руды (немногим более 40 т. никеля).

Среди силикатных российских объектов разрабатывались руды Серовского месторождения в Свердловской области компанией ОАО «Уфалейникель» (входит в структуру ООО «Русникель»). В 2016 году добыча открытым способом составила 9,3 тыс. т в пересчёте на никель. Помимо первичных руд, велась переработка никельсодержащих отходов и штейна завода ЗАО «ПО «Режникель»». За 2016 год выпущено 9,95 тыс. т гранулированного никеля и 2 т. закиси никеля. В апреле 2017 года предприятие было остановлено, признано банкротом и ликвидировано, при этом добыча руды на Серовском месторождении за 2017 год осталась на уровне прошлого года и составила, по предварительным данным, 9,6 тыс. т в пересчёте на никель. Выпуск первичного никеля в целом за 2016 год составил 188,7 тыс. т, сократившись на 18 % по сравнению с 2015 годом. В 2017 году производство металла на территории страны уменьшилось ещё на 17 %, до 157,4 тыс. т, что обусловлено временным переводом части производства ПАО «ГМК «Норильский никель» на мощности финского филиала. Кроме того, компания осталась единственным продуцентом рафинированного металла в стране после выбывания мощностей уральских заводов (табл. 1.30).

Никель отечественного производства обеспечивает до 15 % мирового рынка, при этом Россия является ведущим поставщиком высокосортного рафинированного никеля с чистотой более 99,99 %.

Таблица 1.30 – Процессы, используемые в никелевой отрасли России

Компания	Предприятие, местоположение	Процесс/технологическая схема	Ссылка на разделы/ зарубежный аналог	Примечание
Русникель	Режский завод, г. Реж (РФ)	Плавка окисленной никелевой руды в шахтных печах на штейн; штейн перерабатывается далее на комбинате Уфалейникель	Зарубежных аналогов по части шахтной плавки нет	Закрыт –
Русникель	Комбинат Уфалейникель, г. Верхний Уфалей (РФ)	Плавка окисленной никелевой руды на штейн в шахтных печах, конвертирование, обжиг в печах КС, хлорирование, выщелачивание от меди, повторный обжиг в трубчатых печах – с получением NiO, восстановительная электроплавка NiO	Зарубежных аналогов по части шахтной плавки нет, дальнейшая схема переработки отчасти аналогична Sorowako/ Matsusaka	Закрыт –
ПАО «ГМК «Норильский никель»	Никелевый завод, г. Норильск; комбинат Печенганикель, п. Никель	Плавка в электропечи предварительно обожжённого флотационного рудного концентрата на штейн	Заводы Sudbury (Glencore); Thompson (Vale), Bindura Nickel, заводы платиновой подотрасли ЮАР	Никелевый завод, остановлен в июне 2016 г.
ПАО «ГМК «Норильский никель»	Надеждинский завод, г. Норильск	Взвешенная плавка Outokumpu флотационных концентратов на штейн	Заводы Selebi Phikwe, Kalgoorlie, Jinchang	–
ПАО «ГМК «Норильский никель»	Печенганикель (п. Никель), Надеждинский завод (г. Норильск)	Конвертирование штейна до файнштейна в конвертерах Пирса-Смита	Sudbury (Glencore); Thompson (Vale) – до 2018 года, Kalgoorlie, Gansu, BCL, Copper Cliff (до 2013 года) и др.	–
ПАО «ГМК «Норильский никель»	Надеждинский завод (г. Норильск)	Гидрометаллургическое обогащение никель-пирротинового концентрата (автоклавное окислительное выщелачивание с получением сульфидного концентрата цветных металлов)	Зарубежных аналогов нет	–
ПАО «ГМК «Норильский никель»	Кольская ГМК, г. Мончегорск	Получение никеля высокой чистоты методом карбонилирования	Vale Inco, завод Clydach в Великобритании, завод Copper Cliff (CCR) в Канаде	–
ПАО «ГМК «Норильский никель»	АО «Кольская ГМК», г. Мончегорск	Электролитическое рафинирование черновых никелевых анодов	Зарубежных аналогов нет	Осуществляется переход на рафинирование ПНТП
ПАО «ГМК «Норильский никель»	Кольская ГМК, г. Мончегорск	Гидрометаллургическая технология рафинирования НПТП	Зарубежных аналогов нет	–

Предприятия ПАО «ГМК «Норильский Никель», выпускающие порядка 12 % мирового никеля, имеют 4 зарегистрированные на ЛБМ марки никеля со статусом Good Delivery и опережают по данному показателю все зарубежные компании (табл. 1.31).

Таблица 1.31 – Выпускаемые ГМК «Норильский никель» марки никеля, зарегистрированные на ЛБМ

№	Марка	Компания/предприятие	Продукт
1	Norilsk Nickel Harjavalta Cathodes	Norilsk Nickel Harjavalta Oy/ Харьявалта (Финляндия)	Резаные катоды Полноразмерные катоды
2	Norilsk Nickel Harjavalta Briquettes	Norilsk Nickel Harjavalta Oy/ Харьявалта (Финляндия)	Брикеты
3	Severonickel Combine Н-1	Кольская ГМК	Резаные катоды Полноразмерные катоды
4	Severonickel Combine Н-1У	Кольская ГМК	Резаные катоды Полноразмерные катоды

Прочие формы товарной никелевой продукции, выпускаемой российскими подразделениями ПАО «ГМК «Норильский Никель», представлены в табл. 1.32–1.33.

Таблица 1.32 – Качество катодного никеля, выпускаемого АО «Кольская ГМК» (среднее за 2015 год)

	ЛБМ 1	Н-1 у		Н-1		Н-3		Н-4 ГОСТ
		ГОСТ 849 - 2008	Факт	ГОСТ 4	Факт	ГОСТ	Факт	
Ni	99,80 min		99,97 2		99,96 2		99,93 7	
Ni+Co		99,95	99,98	99,93	99,98	98,6	99,96	97,6
Co	0,15max	0,10	0,012	0,10	0,017	0,7	0,021	0,70
Cu	0,02max	0,015	0,0053	0,02	0,0066	–	0,0093	1
C	0,03max	0,01	0,005	0,01	0,005	0,1	0,009	0,15
Fe	0,02max	0,01	0,0069	0,02	0,0069		0,022	
S	0,01max	0,001	0,0006	0,001	0,0007	0,03	0,0013	0,04
P	<0,005	0,001	<0,0003	0,001	<0,0003	–	<0,0003	
Mn	<0,005	–	<0,0002	–	–	–	–	
Si	<0,005	0,002	0,0008	0,002	0,0009	0,6	0,0012	
As	<0,005	0,001	<0,0002	0,001	<0,0003	–	0,0003	
Pb	< 0,005	0,0005	0,00030	0,001	0,00057	–	0,00064	
Sb	< 0,005	0,0005	< 0,0001	0,001	< 0,0001	–	< 0,0001	
Bi	< 0,005	0,0003	< 0,00002	0,0006	< 0,00002	–	< 0,00002	
Sn	< 0,005	0,0005	< 0,0001	0,001	< 0,0001	–	< 0,0001	
Zn	< 0,005	0,001	0,00057	0,001	0,00073	–	0,00077	
Mg		0,001	< 0,0002	0,001	< 0,0002	–	< 0,0002	
Cd		0,0005	< 0,0001	0,001	< 0,0001	–	< 0,0001	

1 – Требования к никелю Лондонской биржи металлов.
2 – Расчетный метод определения.

Размеры для марок полноразмерных катодов Н-1 у и Н-1: с обрезанной кромкой 895–915 × 1145–1165 мм, толщина 2–10 мм, вес 30–80 кг. Размеры для марок полноразмерных катодов Н-3 и Н-4: Кольская – необрезанный 935 × 1135, толщина 2–6 мм, вес 30–70 кг.

Кроме того, Кольская ГМК выпускает резаные катодные листы: Н-1 у и Н-1 2 × 2 и 4 × 4 дюйма, толщина пластины 2–6 мм, а также брикеты Н-3.

В отделении карбонильного никеля (ОКН) Кольской ГМК по заявкам потребителей выпускается широкая номенклатура карбонильных никелевых порошков и карбонильной никелевой дроби в соответствии с требованиями ГОСТ 9722, СТО 00201365-01-2006 «Стандарт организации. Карбонильная никелевая продукция. Часть I. Порошок», ТУ 1732-122-48200234-2002 «Дробь никелевая карбонильная, Технические условия». В таблицах 1.33 и 1.34 приведены характеристики типичной карбонильной продукции.

Таблица 1.33 – Карбонильные никелевые порошки, выпускаемые Кольской ГМК, ПАО «ГМК «Норильский никель»

Обозначение порошка, СТО 00201365-01-2006	Средний размер частиц по Фишеру, мкм	Форма частиц	Насыпная плотность, г/см^3	Массовая доля элементов, % не более		
				C	Fe	S
Л5 (L5)	0,8–3,5	волокнистая	1,01–1,40	0,28	0,002	0,001
Л8 (L8)	0,6–2,5	волокнистая	0,45 0,60	0,28	0,002	0,001
УТ1 (UT1)	5,0–10,0	зернистая (округлая)	3,0–3,5	0,09	0,0015	0,0007
УТ3 (UT3)	3,0–6,0	зернистая (округлая)	1,91–2,50	0,09	0,0015	0,0007

Таблица 1.34 – Карбонильная никелевая дробь, выпускаемая Кольской ГМК, ПАО «ГМК «Норильский никель»

Обозначение дроби, ТУ 1732-122-48200234-2002	Средний размер частиц, мкм	Форма частиц	Массовая доля элементов, % не более			
			O	C	Fe	S
ДНК-0 (DNK-0)	8–20	Сферическая	0,02	0,015	0,015	0,001

Раздел 2. Основные технологические процессы и оборудование, применяемые в настоящее время при производстве никеля и кобальта в Российской Федерации. Текущие уровни эмиссий

Ниже рассмотрены основные применяемые в настоящее время при производстве никеля и кобальта процессы и оборудование, а также текущие уровни эмиссий. Следует принимать во внимание, что уровни эмиссий определяются не только применяемым оборудованием, но и составом сырья. Так, при переработке на Кольской ГМК и в Заполяном филиале ГМК «Норильский никель» сырья с различным содержанием серы, никеля, свинца и т. п. содержание этих элементов в отходящих газах и пыли, а также валовый выброс будут существенно различны.

2.1. Технологии производства никеля из сульфидных медно-никелевых концентратов[6]

2.1.1. Головные переделы

2.1.1.1. Технология гидрометаллургического обогащения бедного никель-пирротинового концентрата

Гидрометаллургическое обогащение никель-пирротинового концентрата является уникальным в своём роде процессом и преследует цель повышения содержания цветных металлов за счёт окисления основной части пирротина и отделения невскрывшихся и вторичных сульфидов цветных металлов от сформировавшегося при автоклавном окислительном выщелачивании (АОВ) железистого гидратного осадка и элементарной серы.

Процесс реализуется в условиях высокотемпературного автоклавного (130–150°С) выщелачивания (ВТВ) при использовании кислородо-воздушной смеси (80 % O_2) в качестве окислителя и лигносульфоната технического (ЛСТ) в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ), препятствующего пассивации поверхности сульфидов плёнкой элементарной серы. Реализация процесса при температуре выше точки плавления серы обеспечивает не только высокую скорость окисления, но и существенно снижает скорость образования серосульфидных настылей на поверхности теплообменников.

ВТВ осуществляется с обязательной добавкой ПАВ, препятствующих смачиванию расплавленной серой поверхности сульфидов. Недостаток ПАВ приводит к образованию серосульфидных гранул – «песков», нарушающих ход технологического процесса, или плавов – «козлов», полностью останавливающих процесс, избыток – к повышению потерь ценных компонентов с отвальными хвостами.

Химизм процесса окисления пирротина при выщелачивании описывается реакцией, по которой порядка 80 % серы пирротина переходит в элементарную форму. Перешедшее в раствор в процессе окисления сульфидов железо далее подвергается окислению и гидролизу с формированием твёрдой железоокисной фазы.

[6] [29], [30]

Учитывая последовательно-параллельное протекание реакций окисления сульфидов цветных металлов и пирротина, для обеспечения глубокого окисления последнего необходимо частично вскрыть также пентландит и халькопирит. В результате этого в раствор переходит порядка 75 % никеля, 50 % меди, 70 % кобальта.

Учитывая конечную цель процесса гидрометаллургического обогащения бедного никель-пирротинового концентрата – получение пригодного для дальнейшей переработки пирометаллургическими методами сульфидного концентрата цветных металлов, из растворов автоклавного выщелачивания производится осаждение частично растворившихся цветных металлов.

В качестве осадителя используются металлизированные железистые окатыши и присутствующая в пульпе элементарная сера. Осаждённые на этой операции вторичные сульфиды меди, никеля и кобальта, а также не вскрытые на головном выщелачивании первичные сульфиды цветных металлов вместе с элементарной серой извлекаются в серосульфидный концентрат методом флотации.

Учитывая флотационные свойства компонентов пульпы и задачи процесса, флотацию ведут в кислой среде при использовании в качестве собирателя бутилового ксантогената. Промпродукты флотации являются оборотными и возвращаются на основную флотацию, концентрат направляется на получение элементарной серы и товарного сульфидного концентрата, хвосты после двухстадийной нейтрализации в присутствии воздуха – в отвал.

Процесс получения элементарной серы и товарного сульфидного концентрата из серосульфидного концентрата состоит из нескольких основных технологических операций: дезинтеграции, серной флотации и автоклавной выплавки серы.

Целью дезинтеграции – высокотемпературной обработки серосульфидного концентрата – является разрушение сростков сульфидов цветных металлов и железа с элементной серой. При этом происходит выделение серы и сульфидов из их мелкодисперсных конгломератов в самостоятельные частицы и агрегации – укрупнение капель выделенной серы до размеров, обеспечивающих оптимальные показатели последующих операций. Введение технической извести в серосодержащую пульпу приводит к развитию процессов образования различных серосодержащих соединений кальция, в том числе сульфида и гидросульфида, подавляющих процесс смачивания сульфидов расплавленной серой.

Полученную пульпу вместе с хвостами серной плавки направляют на серную флотацию, концентрат которой – на автоклавную выплавку серы, а хвосты, являющиеся товарным концентратом ЦМ – в пирометаллургическое производство.

Хвосты плавки передаются на серную флотацию, расплавленная сера – в аппараты отстойники, где происходит окончательное отделение зольной составляющей (сульфидов). Зола вместе с частью серы гранулируется и передаётся на серную плавку, чистая сера – на склад готовой продукции.

Основное технологическое оборудование, используемое в технологической схеме переработки никель-пирротинового концентрата, представлено в табл. 2.1.

При гидрометаллургическом обогащении никель-пирротинового концентрата в качестве основных технологических материалов и реагентов используются: осадитель металлизированный, лигносульфонат технический, кислородо-воздушная смесь, сжатый воздух, пульпа известняка, пульпа извести технической, раствор гидроксида натрия, металлизированные железистые окатыши, моторное топливо регенерированное, бутиловый ксантогенат калия.

Таблица 2.1 – Основное оборудование

№	Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
1	Сгуститель П-50 (Ц-50)	Сгущение пирротинового концентрата	Сгуститель с периферическим (центральным) приводом в кислотостойком исполнении, диаметр – 50 м, глубина чана – 4,5 м, площадь сгущения – 1800 м^2
2	Реактор	Приготовление пульпы автоклавного выщелачивания, осаждение ЦМ из раствора автоклавного выщелачивания	Из двухслойной стали (титана), ёмкость – 80 м^3
3	Автоклав	Автоклавное окислительное выщелачивание	Геометрическая ёмкость без футеровки – 125 м^3, рабочее давление – 15 кг/см^2, с перемешивающими устройствами
4	Сгуститель П-25	Сгущение пульпы серосульфидного концентрата, сгущение пульпы серного концентрата	Сгуститель с периферическим приводом в кислотостойком исполнении, диаметр – 25 м, площадь сгущения – 500 м^2, глубина чана – 3,6 м
5	Механическая флотомашина ФМР – 63К, 8-камерная	Серосульфидная флотация	Объём камеры – 6,3 м^3, производительность по потоку пульпы – до 12 м^3 /мин.
6	Механическая флотомашина ФМР – 63К, 12-камерная	Серная флотация	Объём камеры – 6,3 м^3, производительность по потоку пульпы – до 12 м^3/мин.
7	Пачук для нейтрализации	Нейтрализация хвостов серосульфидной флотации	Объём – 225 м^3, из стали Х18Н10Т
8	Смеситель-подогреватель	Нагрев пульпы серосульфидного концентрата	Ёмкость – 40 м^3, из стали Х18Н10Т, с перемешивающими устройствами
9	Автоклав дезинтеграции	Дезинтеграция пульпы серосульфидного концентрата	Ёмкость – 50 м^3, из титана ВТ1-0, рабочее давление – 5 кг/см^2, с перемешивающим устройством
10	Реактор-охладитель	Отстаивание расплавленной серы	Ёмкость – 80 м^3, из титана ВТ1-0, с перемешивающим устройством
11	Реактор-подогреватель	Нагрев пульпы серного концентрата	Ёмкость – 50 м^3, из титана ВТ1-0, рабочее давление – 5 кг/см^2, с перемешивающим устройством
12	Автоклав сероплавильный	Выплавка серы	Ёмкость – 32 м^3, из титана ВТ1-0, рабочее давление – 5 кг/см^2, с перемешивающим устройством

При гидрометаллургическом обогащении никель-пирротинового концентрата в качестве основных технологических материалов и реагентов используются: оса-дитель

металлизированный, лигносульфонат технический, кислородо-воздушная смесь, сжатый воздух, пульпа известняка, пульпа извести технической, раствор гидроксида натрия, металлизированные железистые окатыши, моторное топливо регенерированное, бутиловый ксантогенат калия.

Основными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу являются отходящие газы автоклавов окислительного выщелачивания и аппаратов участка выплавки элементарной серы (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

Источники выбросов	Выбрасываемые вредные вещества	Метод очистки, повторного использования	Валовый выброс, г/т Ni-сульфидного концентрата
Автоклавы окислительного выщелачивания, пачуки нейтрализации	Ni, Cu, Co, Fe и их соединения, серная кислота	Улавливание брызг в каплеотбойниках	4,4
Смесители, подогреватели, самоиспарители, дезинтеграторы, автоклавы	H_2S	Очистка в газопромывателе типа «труба Вентури», улавливание брызг в каплеотбойниках	4280

Пульпа нейтрализованных отвальных хвостов, являющаяся отходом производства, откачивается на складирование в хвостохранилище по пульпопроводу. Осветлённая вода (слив хвостохранилища) возвращается в цех для повторного использования в технологии (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Отходы производства и потребления

Наименование	Объём или масса образующихся отходов, т/т Ni	Метод очистки, повторного использования	Объём или масса размещённых отходов, т/т Ni
Нейтрализованные хвосты серосульфидной флотации (твёрдая часть пульпы)	70–75	–	70–75

2.1.1.2. Технологии производства штейна

Технология получения штейна в руднотермической печи РТП

В настоящее время сульфидный медно-никелевый концентрат подвергают брикетированию и направляют на электроплавку без обжига.

Схема переработки пульпы концентрата на стадии приготовления брикетов включает в себя следующие основные этапы:

- первичное обезвоживание пульпы на пресс-фильтрах;
- смешивание концентрата со связующим (жидкий лигносульфонат);
- сушка смеси в сушильном барабане;
- повторное введение в подсушенную шихту лигносульфоната;

– брикетирование шихты на валковом брикет-прессе.

Перечень основного технологического оборудования участка брикетирования приведён в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Основное оборудование передела брикетирования концентрата

№ пп	Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
1.	Контактные чаны	Приёмка концентрата	Ёмкость – 50 м^3
2.	Ленточные сита	Удаление инородных тел	Площадь фильтрации – 0,825 м^2, полимерный материал
3.	Фильтр-пресс	Первичное обезвоживание концентрата	Площадь фильтрации – 96 м^2, количество фильтрующих плит – 16 шт., фильтровальная ткань – полипропилен, потребляемая мощность – 90 кВт, давление: подача пульпы – 0,2-1,0 МПа, прессование 0,5 – 1,6 МПа, сушка – 0,4–1,2 МПа, вода для промывки ткани – 1,0–1,4 МПа
4.	Приёмные бункера	Приёмка первично обезвоженного концентрата	Ёмкость – 50 т
5.	Двойной ленточный конвейер	Транспортировка первично обезвоженного концентрата	
6.	Смеситель интенсивного действия	Формирование шихты из Cu-Ni концентрата и ЛСТ заданной консистенции	Полезный объём – 1,5 м^3, длина – 3 м, диаметр – 1,1 м, число оборотов мешалки – 107, число оборотов завихрителя – 1500.
7.	Барабанная сушилка	Предварительная сушка концентрата	Диаметр – 3 м, длина – 25 м, температура: материала при загрузке – 10–20°С, продукта на выходе – 70–90°С, отходящих газов – 190°С
8.	Рукавный фильтр	Очистка газов сушильного барабана	Площадь фильтрации – 1642 м^2, рабочий объёмный расход газа – 100000 м^3/час, максимальная температура газов – 250°С, расход воздуха на регенерацию – 100 м^3/час, материал рукавов PTFE,
9.	Приёмный бункер сухого материала	Приёмка сухого материала	
10.	Ковшовый элеватор	Подъем материала в смеситель	
11.	Шнековый смеситель	Усреднение материала и смешение с ЛСТ	Число оборотов шнека 15–40 мин.$^{-1}$
12.	Валковый брикет-пресс	Брикетирование материала	
13.	Система конвейеров	Транспортировка брикетов на склад готовой продукции	

Со склада готовой продукции готовые брикеты железнодорожным или автомобильным транспортом транспортируются на склад привозного сырья участка подготовки сырья и шихты (УПСиШ), где шихтуется со флюсом и восстановителем и транспортёром по тракту подачи шихты подаются в расходные бункера РТП.

Основным сырьём для электроплавки является шихта, состоящая из: сульфидной медно-никелевой руды, брикетов, собственных и привозных оборотных никельсодержащих оборотов, флюса (песка), углеродистого восстановителя.

Физико-химические превращения шихтовых материалов и образование продуктов плавки происходит в основном в ванне печи на поверхности шихты, погруженной в шлак.

При нагреве шихты до 1000°С в ней протекают процессы термического разложения сложных сульфидов, сульфатов, карбонатов и гидратов, а также процессы взаимодействия между различными химическими соединениями, наиболее важными из которых являются реакции между сульфидами и окислами. При повышении температуры шихты до 1000–1300°С эти процессы получают активное развитие.

Сульфиды никеля, меди, кобальта, железа расплавляются, частично разлагаются (общая десульфуризация при электроплавке составляет около 20–35 %) и, взаимно растворяясь, образуют основной продукт электроплавки – штейн, в котором также растворяются драгоценные металлы и магнетит.

Полученный штейн (% масс.: никель – 7–17, медь – 3–12, кобальт – 0.6–0.8, железо – 38–50, сера – 25–27; излечение никеля в штейн составляет – 97–98 %, меди – 95–97 %, кобальта 77–85 %) в жидком виде направляется на конвертирование.

Окисленное железо и другие основные оксиды, вступая во взаимодействие с SiO_2, образуют силикаты типа $mMeO \times nSiO_2$, которые, смешиваясь в расплавленном состоянии, образуют другой продукт электроплавки – шлак. Выход шлаков при электроплавке составляет 85–110 % от общей массы загруженной шихты. Основу шлаков электроплавки (97–98 %) составляют кремнезём (SiO_2), закись железа (FeO), окись магния (MgO), глинозём (AL_2O_3) и окись кальция (CaO). Содержание SiO_2 в шлаке – 37–42 %, Ni не более 0,25 %, Co не более 0,1 %.

Газы, отходящие из печного пространства при температуре 500–600°С, состоят из азота (N_2), кислорода (O_2), сернистого газа (SO_2), углекислого газа (CO_2) и паров воды (H_2O), эвакуируются через систему газоходов и подаются в пылевую камеру, а затем – в трубу. Улавливаемая в пылевой камере и газоходах металлосодержащая пыль выгружается через воронки в автомобиль и перевозится на переработку в закрытый склад СПС.

Основное оборудование процесса плавки сульфидного сырья на штейн показано в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Основное оборудование процесса переработки сульфидного медно-никелевого сырья на штейн в руднотермической печи

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Руднотермическая печь	Электроплавка руды, брикетов	Уст. Мощность – 45 МВт, число электродов – 6 шт., площадь пода – 150–160 м^2, количество штейновых шпуров – 3 шт., количество шлаковых шпуров – 4 шт., два торцевых и четыре боковых футерованных газохода
Руднотермическая печь	Электроплавка руды, брикетов	Уст. Мощность – 30 МВт, число электродов – 3 шт., площадь пода – 80 м^2, количество штейновых шпуров – 3 шт., количество шлаковых шпуров – 2 шт., 2 водоохлаждаемых патрубка, соединяющие свод печи с вертикальными футерованными газоходами (штейновым и шлаковым)

Технология получения штейна в печи взвешенной плавки

Технологическая схема получения штейна в печи взвешенной плавки включает в себя (рис. 2.1):

– фильтрацию концентратов на керамических фильтрах;

– сушку концентратов и флюсов в распылительных и барабанных сушилках;

– взвешенную плавку шихты концентратов в двух печах взвешенной плавки;

– пневматическую транспортировку высушенных концентратов;

– охлаждение отходящих газов в котле-утилизаторе с одновременной грубой очисткой от пыли;

– тонкую очистку от пыли в электрофильтрах;

– обеднение шлаков печей взвешенной плавки и конвертеров в электрообеднительных печах;

– грануляцию шлака обеднительных печей и его транспортирование на склад временного хранения.

Печь взвешенной плавки является головным агрегатом в цепи переработки сульфидных концентратов.

Степень обогащения дутья кислородом на печах взвешенной плавки может достигать 70 %, что позволяет вести процесс плавки в автогенном режиме, без применения дополнительного топлива. Дутье предварительно не подогревают. Пылевынос из печей взвешенной плавки составляет не более 5–7 % от веса загружаемой шихты.

Медно-никелевый штейн из ПВП (Ni – 31,3–41,6 %, Cu – 8,95–15,93 %, Co – 0,6–0,85 %, Fe – 29,5–31,8 %, S – 25,3–28,4 %), как и любой штейн, представляет собой сплав сульфидов никеля, меди, железа, кобальта с небольшим содержанием магнетита, которое зависит от содержания цветных металлов. Выпуск штейна осуществляется в ковши через шпуры, расположенные в отстойной зоне печи; штейн передают на никелевое конвертирование для переработки до файнштейна.

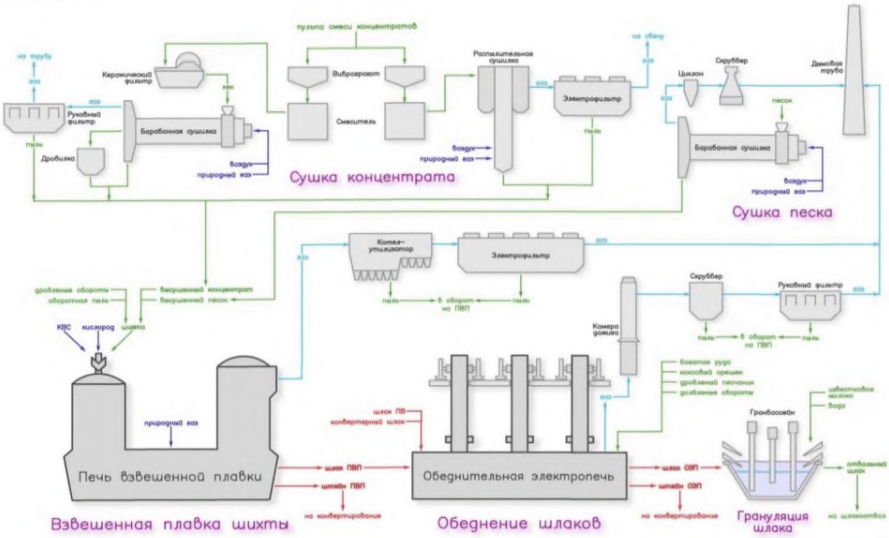


Рисунок 2.1 – Аппаратурно-технологическая схема цеха плавки в ПВ

Шлак ПВП представляет собой многокомпонентный сплав оксидов и в значительной степени обогащён цветными металлами (табл. 2.6), в связи с чем подаётся (в расплавленном состоянии) в обеднительные печи (вместе с конвертерными шлаками).

Таблица 2.6 – Химический состав шлаков ПВП, %

Никель	Медь	Кобальт	Железо	Сера	Диоксид кремния
0,6–0,8	0,24–0,34	0,165–0,205	37,5–41,0	0,55–1,15	32,0–35,0

Основными реакциями, протекающей в реакционной шахте печи, являются реакции диссоциации и окисления сульфидов. Эта реакция экзотермическая, её тепловой эффект обеспечивает самопроизвольный ход процесса без затрат тепла извне. Не окислившиеся сульфиды формируют штейн.

В отстойнике ПВП проходят основные реакции шлакообразования, обменные реакции и процесс физического разделения расплава на штейновую и шлаковую фазы, связанный с разностью их удельных весов. С учётом высокого содержания ценных компонентов в шлаках их направляют на обеднение.

При обеднении в печи периодически заливают жидкий шлак, производят загрузку твёрдой шихты: руду, песчаник, антрацит, коксовый орешек, дроблёные обороты. Руда используется в качестве извлекающей фазы (сульфидизатора) для процесса штейнообразования, дроблёный песчаник – в качестве флюсующего материала, антрацит, коксовый орешек – в качестве восстановителя, дроблёные бедные обороты – для регулирования состава штейна ОЭП по содержанию цветных металлов, а также в качестве металлосодержащего сырья.

Перечень основного технологического оборудования участка обезвоживания и складирования концентратов и комплекса печи взвешенной плавки приведён в табл. 2.7.

Параметры электропечей, используемых для обеднения шлаков ПВП и шлаков конвертирования, приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.7 – Характеристики основного технологического оборудования обезвоживания и сушки концентратом и комплекса печи взвешенной плавки

	Наименование	Назначение	Технические характеристики
1.	Сгуститель	Сгущение концентратов	С центральным приводом в кислотостойком исполнении, диаметр – 12 м, глубина чана – 3 м
2.	Керамический фильтр СС-60	Фильтрация пульпы концентратов	Площадь фильтрации (1 фильтра) – 60 м^2, Влажность после фильтрации – до 12 %
3.	Барабанная сушилка концентрата	Сушка концентратов	Диаметр – 3,2 м, длина – 27000 мм, с газовым воздухоподогревателем и системой газоочистки
4.	Смеситель «Денвер»		В кислотостойком исполнении, с перемешивающим устройством, диаметр – 7,2 м, высота – 7,2 м
5.	Сушилки распылительные «Ниро-Атомайзер»	Сушка концентратов	Диаметр – 14 м, высота – 18 м, с центробежным распылителем и газовым воздухоподогревателем «ПибодиГольмс» с горелкой кольцевого типа
6.	Электрофильтры «Элекс»	Очистка газового потока распылительных сушилок	Двухпольные, производительность по газу – 375000 нм^3/час, КПД – 99,8 %
7.	Сушилки барабанные		Диаметр – 2,5 м, длина – 19500 мм, с газовым воздухоподогревателем и системой газоочистки
8.	Печи взвешенной плавки «Оутокумпу»	Плавка концентратов	Площадь зеркала ванны – 264–277 м^2, с устройствами распыления шихты, и подачи кислородо-воздушной смеси с обогащением кислорода до 70 %. Печь оборудована газогорелочными устройствами и выпускными шпурами штейна и шлака
9.	Котел–утилизатор для печи взвешенной плавки	Охлаждение газов ПВП	Производительность по газу до 125000 нм^3/час, по утилизационному пару до 100 тонн/час
10.	Электрофильтры «Флект»	Очистка газового потока печи ПВП	Пятипольные, производительность по газу – 65000 нм^3/час каждый, КПД – 99,8 %
11.	Обеднительные электропечи «Крупп»	Обеднение шлаков печи ПВП	
	Обеднительные электропечи «Outokumpu Technology Ou» – ОЭП-1,3	Обеднение шлаков печи ПВП	
12.	Установки грануляции отвального шлака	Грануляция шлака обеднительных печей	Производительность – до 250 т/ч. Тип – водная грануляция. Оборудованы системой замкнутого оборотного водоснабжения

Таблица 2.8 – Основные характеристики обеднительных электропечей НМЗ

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра	
		ОЭП-1,3	ОЭП-2,4
1.	Мощность трансформатора, МВт·А	35	30
2.	Площадь зеркала ванны, $м^2$	175	176
3.	Диаметр электрода, мм	1272	1272
4.	Распад электродов, мм	4850	4850
5.	Тип электродов	самоспекающиеся	самоспекающиеся
6.	Охлаждение корпуса	кессонированное	кессонированное

В табл. 2.9 и 2.10 приведены параметры выбросов загрязняющих веществ при производстве штейна в печах РТП и на комплексе ПВП-обеднительные электропечи.

Таблица 2.9 – Содержание загрязняющих веществ в отходящих газах технологий получения штейна (до очистки)

Технология	Содержание, $мг/м^3$				
	Пыль неорг. <20% SiO_2	Азота диоксид	Никель оксид	Свинец и его неорганические соединения	SO_2
Подготовка сырья	2887,4		44,99		
Сушка концентратов	14594,1	85,2	1107,4	1,31	2750,00
Плавка в РТП	403,5	61,5	21,16	4,30	18190,31
Плавка в ПВП и обеднение шлаков	84000	59,0	12500	300	1 028 854

На величину выбросов загрязняющих веществ в технологии производства штейна влияют:

1. Состав сырья. Так, при большем содержании серы и неизменном целевом составе штейна выброс серы будет возрастать; при росте содержания свинца и мышьяка в концентрате растёт содержание их в пыли и т. п.

2. Целевой состав штейна. Если при плавке необходимо окислить больше железа и серы, выброс последней с газами возрастает.

3. Особенности конструкции печи, соблюдение требований к шихтоподготовке с учётом конструкции печи. Например, переработка в рудно-термических печах обычной конструкции влажного, мелкодисперсного материала приводит к повышенному пылевыносу.

4. Особенности технологии подготовки сырья к плавке. Интенсивное перемешивание материала при сушке, низкая его остаточная влажность способствуют росту пылевыноса.

Таблица 2.10 – Параметры источников выбросов (ИВ) при получении штейна

Производственный процесс, наименование оборудования	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Диапазон величин - ИВ
Сушка концентрата и шихтовых материалов	Пыль неорг.	кг/т концентрата	448,1
	Азота диоксид	кг/т концентрата	3,60
	Никеля оксид	кг/т концентрата	34,175
	Свинец и его неорг. соед.	кг/т концентрата	0,171
	SO_2	кг/т концентрата	8,767
	Диоксид серы	мг/м^3	2750
	Азота диоксид	мг/м^3	170,4
	Пыль неорг.	мг/м^3	1065,37
	Свинец и его неорг. соед.	мг/м^3	365
	Никель оксид	мг/м^3	57 620
Плавка концентрата в ПВП	Пыль неорг.	кг/т штейна	263,61
	Азота диоксид	кг/т штейна	0,00471
	Никеля оксид	кг/т штейна	16,568
	Свинец и его неорг. соед.	кг/т штейна	0,307
	SO_2	кг/т штейна	2329,2
	Диоксид серы	мг/м^3	1 028 850
	Азота диоксид	мг/м^3	59,0
	Пыль неорг.	мг/м^3	84 000
	Свинец и его неорг. соед.	мг/м^3	300,0
	Никель оксид	мг/м^3	12 500
Обеднение шлака в обеднительных электропечах (ОЭП) с получением штейна обеднения и отвального шлака	Пыль неорг.	кг/т штейна	31,14
	Азота диоксид	кг/т штейна	0,17
	Никеля оксид	кг/т штейна	0,144
	Свинец и его неорг. соед.	кг/т штейна	0,035
	SO_2	кг/т штейна	116,3
	Диоксид серы	мг/м^3	7660
	Азота диоксид	мг/м^3	51,8
	Пыль неорг.	мг/м^3	6700
	Свинец и его неорг. соед.	мг/м^3	23,9
	Никель оксид	мг/м^3	93,7

При переработке сульфидного медно-никелевого сырья в руднотермических электропечах и на комплексе ПВП-обеднительные печи образуется отвальный шлак (табл. 2.11), который подвергается грануляции. Кроме того, твёрдые отходы образуются в результате обслуживания и ремонта оборудования – выломки футеровки печей, бой кирпича, бетон, теплоизоляция, металлолом. Гранулированный отвальный шлак НМЗ используется для приготовления закладочных смесей и как материал для дорожного строительства, для отсыпки дамб, насыпей и т. д.

Таблица 2.11 – Шлаки штейновой плавки, направляемые в отвал

Наименование отхода	Средний состав, %	Способ утилизации	Количество, т/т Ni в штейне
Шлак РТП	N – 0,198; Cu – 0,123; Co – 0,091; Fe – 27,71; SiO_2 – 37,4; CaO – 2,3; MgO – 12,5; S – 1,15	В отвал	12
Шлак обеднительных печей	Ni – 0,10; Cu – 0,19; Co – 0,132; Fe – 38,12; SiO_2 – 34,5; CaO – 3,81; MgO – 3,17; S – 0,87	В отвал	15

Технология получения медного штейна в ПВ

Рудный медный концентрат и концентрат от разделения медно-никелевого файн-штейна подвергаются плавки на медный штейн в печи Ванюкова.

Процесс Ванюкова представляет собой плавку сульфидного сырья в интенсивно перемешиваемой шлако-штейновой ванне с использованием тепла окислительных реакций. От других способов плавки в расплаве процесс Ванюкова отличается подачей обогащенного кислородом дутья и шихты в шлаковую ванну с небольшим содержанием штейна.

Плавка сульфидных материалов в печи Ванюкова осуществляется в интенсивно перемешиваемом шлаковом расплаве, доля сульфидов в котором достигает 10%. Подача окислительного дутья осуществляется через боковые фурмы в слой шлако-штейновой эмульсии, что позволяет использовать в наиболее теплонагруженной части агрегата водо-охлаждаемые кессоны, которые являются основным конструктивным элементом шахты печи и непосредственно контактируют с расплавом. В нижней части печи, в зоне штейновой ванны, кессонированные элементы (закладные кессоны) используются только внутри огнеупорной кладки. В качестве окислительного дутья используется смесь технологического кислорода и компрессорного воздуха с содержанием кислорода от 60 до 80 %.

Фурменный пояс делит шлаковую ванну на две зоны: надфурменную и подфурменную. В надфурменной, интенсивно перемешиваемой дутьем области происходят, в основном, процессы испарения воды, диссоциации, плавления и окисления шихты, образования продуктов плавки и коалесценции капель штейна. В более спокойной подфурменной области происходит, главным образом, разделение продуктов плавки по плотности на донную штейновую фазу и верхнюю шлаковую.

Штейн и шлак выдаются из печи непрерывно через соответствующие сифоны и по обогреваемым водо-охлаждаемым желобам поступают в поворотные миксеры.

2.1.1.3. Технологии производства файнштейна

При конвертировании штейнов в конвертер могут быть загружены штейн, песок, никелевый шлак и другие оборотные холодные материалы. Основными реакциями, протекающими при конвертировании штейнов, являются реакции окисления, обменного взаимодействия, восстановления и шлакообразования (табл. 2.12).

Таблица 2.12 – Характеристика процесса конвертирования

Предприятие	Тип штейна	Тип окислителя
Комбинат «Печенганикель»	Штейн РТП	Воздух
ЗФ ПАО «ГМК «Норильский Никель»	Штейн ПВП, штейна обеднительных электропечей	Воздух, при недостатке тепла – кислород

При конвертировании штейнов выделяют следующие технологические операции:

– зарядка конвертера;

– период набора массы;

– «варка» файнштейна;

– разливка и охлаждение файнштейна.

В период набора массы при конвертировании в шлак интенсивно удаляется железо в результате чего количество обогащённой массы сокращается. В этот период идёт активная загрузка в конвертер кварцевого песка и холодных материалов для поддержания теплового баланса процесса. После прекращения набора штейна начинается период варки файнштейна. В задачу этого периода входит почти полное удаление железа из обогащённой конвертерной массы. Полученный файнштейн содержит 22–24 % S и до 3,7 % железа.

Полученный медно-никелевый файнштейн перевозится в разливочный пролёт цеха и разливается в стальные формы – изложницы, зафутерованные блоками из графита, для медленного охлаждения и раскристаллизации расплава, обеспечивающих хорошие показатели разделения на никелевый и медный концентраты.

Отходящие от горловины конвертера газы содержат 7–11 % SO_2, однако за счёт подсосов воздуха через напыльник и неплотности газохода концентрация SO_2 снижается. На комбинате Печенганикель очищенные от пыли газы частично передаются в сернокислотное производство, частично выбрасываются в трубу; в ЗФ – выбрасываются в трубу.

Химический состав продуктов конвертирования – в табл. 2.13, перечень основного оборудования передела конвертирования штейнов приведён в табл. 2.14.

Таблица 2.13 – Химический состав продуктов конвертирования

Предприятие	Продукт	Массовая доля, %									
		Ni	Cu	Co	Fe	S	SiO_2	MgO	Al_2O_3	CaO	Fe_3O_4
Комбинат «Печенганикель»	Шлак	0,88	0,62	0,249	49,1	3,15	26	1,1		1,4	14,7
	Файнштейн	43	28	0,9	2,8	23,6					
ЗФ ПАО «ГМК «Норильский Никель»	Шлак	2,0 – 2,5	1,5 – 2,0	0,8 –1,0	50,0 – 52,0	1,2 – 1,6	18,0 – 22,0	0,3	2,2	0,6	29
	Файнштейн	47 – 52	20 – 22	1,00 – 1,59	3,05 – 3,10	23	0,095				

Таблица 2.14 – Характеристика основного оборудования конвертерного передела

Предприятие	Наименование	Назначение	Технические характеристики
ЗФ ПАО «ГМК «Норильский Никель»	Конвертер –типа Пирса – Смита	Конвертирование штейна	Ёмкость – 80 тонн, на воздушном дутье, число фурм – 48
	Котёл-утилизатор для конвертеров	Утилизация тепла, охлаждение газов	Производительность по газу – до 65000 нм^3/час, по утилизационному пару – до 13 тонн/час
	Электрофильтры «Флект»	Очистка газов от тонкой пыли	Двухпольные, производительность по газу – 65000 нм^3/час каждый, КПД – 99,8 %
Комбинат «Печенганикель»	Конвертер Пирса-Смита	Конвертирование штейна	Ёмкость – 100 м^3, длина кожуха – 12 м, внутренний диаметр кожуха – 3,96 м, число фурм – 44, диаметр фурм – 0,05 м, расход воздуха – 10–12,5 нм^3/с
	Пылевая камера	Очистка конвертерных газов крупной пыли	ДхШхВ – 7,2х4,0х15,6 м, пропускная способность – 27–42 нм^3/с, КПД – 30 %
	Электрофильтр	Очистка газов от тонкой пыли	Площадь сечения электрофильтра по осадительным электродам – 60 м^2, КПД – 92 %

Выбросы основных загрязняющих веществ в атмосферу при конвертировании штейна показаны в табл. 2.15.

Таблица 2.15 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при конвертировании медно-никелевого штейна

Вещество	Ед. изм.	Значение
Диоксид серы	кг/т файнштейна	381,628
Азота диоксид и азота оксид (суммарно)	кг/т файнштейна	0,004
Пыль неорг.	кг/т файнштейна	0,6
Свинец и его неорг. соед.	кг/т файнштейна	0,004
Никель оксид	кг/т файнштейна	0,03
Диоксид серы	мг/м^3	25 000
Азота диоксид и азота оксид (суммарно)	мг/м^3	89,045
Пыль неорг.	мг/м^3	300
Свинец и его неорг. соед.	мг/м^3	5
Никель оксид	мг/м^3	12

2.1.2. **Рафинировочные переделы**

2.1.2.1. Технология разделения медно-никелевого файнштейна с получением никелевого сульфидного концентрата

Флотационное разделение файнштейна на медный и никелевый концентраты было предложено в конце 40-х – начале 50-х годов XX века И. Н. Масленицким (АС № 113715). Согласно предложенному способу, медно-никелевый файнштейн измельчали, а затем флотировали в «обычном» режиме с переводом медных сульфидов в пенный продукт, а никелевых – в камерный. Одним из описанных И. Н. Масленицким вариантов реализации данного способа являлось применение перед флотацией магнитной сепарации, что обеспечивало не только получение более бедного по меди никелевого концентрата, но и извлечение в отдельный, обогащённый продукт основного количества содержащихся в файнштейне платиновых металлов.

Впервые процесс был внедрён на Норильском горно-металлургическом комбинате в 1957 году, и без особых изменений способ дошёл до сегодняшних дней, однако за счёт оптимизации реагентного режима, параметров операций и организации технологической схемы удалось достичь более низких, чем заявлено в АС, содержаний вторых металлов в концентратах.

Химическими основами флотационного разделения файнштейна являются различные условия формирования и устойчивости плёнок ксантогенатов меди и никеля на поверхности соответствующих минералов. Регулированием концентрации гидроксид-ионов в водной части пульпы обеспечиваются условия для подавления процесса образования ксантогената никеля и образования на поверхности плёнки гидроксида.

Технологический процесс разделения файнштейна на никелевых и медный концентраты включает в себя следующие технологические операции: крупное дробление, шихтовка, дробление и измельчение и собственно флотацию. Перечень основного технологического оборудования представлен в табл. 2.16.

Таблица 2.16 – Основное оборудование

№ пп	Наименование оборудования	Назначение оборудования
1.	Агрегат первичного дробления Rammer G 90	Первичное дробление
2.	Щековые дробилки ЩДП-9х12 и СМД-118	Крупное дробление
3.	Конусные дробилки КСД-2200Т и КМД-2200Т	Мелкое дробление
4.	МШР-3200х3100	измельчение
5.	Классификатор Тип I КСН-20	
6.	Гидроциклон Кребса	Гидравлическая классификация промпродуктов
7.	Флотационные машины ФМР-10	Флотация
8.	Флотационные машины WEMCO	Флотация
9.	Сгустители тип Ц-6МІ, тип Ц-9МІ, тип Ц-12МІ	Сгущение конечных и промежуточных продуктов
10.	Свечевые фильтры ПАР-80-248М и ПТЖ-80-3Т-41	

Разделение файнштейна, предварительно измельчённого до крупности 85–95 % – 45 мкм, происходит во флотомашинах основной флотации с получением пенного и камерного продуктов, представляющих собой черновые медный и никелевый концентрат, соответственно, которые затем подвергаются дополнительной очистке.

Никелевый очищается от меди за счёт добавки свежего ксантогената, который повышает флотируемость медных сульфидов, медный – от никеля на 1–4 перечистных флотациях за счёт повышения щёлочности пульпы и снижения плотности камерных продуктов от первой до последней перечистки.

Для обеспечения эффективного разделения медных и никелевых сульфидов часть пенных и камерных промпродуктов объединяется и направляется на классификацию, пески которой доизмельчаются. Точки рецикла промпродуктов и объединения потоков пенных и камерных продуктов выбираются, исходя из их состава, в первую очередь, из содержания в них вторых металлов.

Существующая технологическая схема флотационного разделения файнштейна позволяет достичь извлечения никеля в никелевый концентрат до 92 %, меди в медный – до 91 %.

Получаемый медный концентрат содержит 67–68 % меди и 3,2–4,2 % никеля, никелевый – 68–69 % никеля и 2,3–2,9 % меди.

При разделении медно-никелевого файнштейна в качестве основных технологических материалов используются бутиловый ксантогенат калия, сода каустическая, шары стальные и вода оборотного водоснабжения.

Образующие при разделении файнштейна соединения меди, никеля и кобальта попадают в атмосферу в составе пыли, выделяющейся через неплотности технологического оборудования. Вредности удаляются с вентвыбросами естественным путём через дефлекторы и вентшахты (табл. 2.17).

Таблица 2.17 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

Наименование загрязняющего вещества	Масса выбросов ЗВ до очистки, г/т никелевого концентрата	Источники выбросов	Метод очистки, повторного использования	Масса выбросов ЗВ после очистки г/т никелевого концетрата
Кобальт и его соединения (в пересчёте на кобальт)	151,3	Дробилки, транспортёры, мельницы, классификаторы, сгустители, флотомашины	Аспирационные системы АС	15,9
Никель и его соединения (в пересчёте на никель)	1321,3			192,8
Медь и ее соединения (в пересчёте на медь)	1194,6			136,5
Пыль неорганическая	1463,4			406,1

Жидкая фаза, образующаяся при обезвоживании продуктов флотации (никелевого и медного концентратов), наплавляется в систему оборотного водоснабжения участка. Избыточное количество воды передаётся в производственную канализацию; сброс воды в природные объекты отсутствует (табл. 2.18).

Таблица 2.18 – Состав и способ утилизации сточных вод

Наименование	Масса сбросов ЗВ до очистки, г/т Ni	Источники сброса	Направление сброса (водный объект, канализация)	Метод очистки, повторного использования	Масса сбросов ЗВ после очистки, г/т Ni
Никель в/р	< 4,1	Верхний слив отстойников, фильтрат свечевых фильтров	Оборотное водоснабжение участка, производственная канализация	Оборотное водоснабжение участка	< 4,1
Медь в/р	< 0,08				< 0,08
Взвешенные вещества	< 123				< 123
Ксантогенат	< 0,008				< 0,008

Твёрдые отходы процесса образуются в ходе ремонтных и строительных работ.

2.1.2.1. Технология получения частично восстановленного никелевого огарка

Технология получения частично восстановленного никелевого огарка (ПНТП – порошка никелевого трубчатых печей) включает в себя операции обезвоживания никелевого концентрата флотации файнштейна, его окислительного обжига в печах кипящего слоя и восстановительного обжига в трубчатых вращающихся печах.

Окислительный обжиг, целью которого является максимальное удаление серы и подготовка материала к восстановлению, ведётся при температуре 1050–1250°С. Загрузку шихты регулируют по температуре в слое, по концентрации диоксида серы (SO_2) в отходящих газах, по заданному расходу воздуха (или воздуха, обогащённого кислородом).

Основная часть полученного огарка передаётся на восстановление в трубчатые вращающиеся печи, часть подаётся в бункер «горячего» огарка для использования его без восстановления при доводке анодного металла по углероду.

Газы после прохождения через систему газоочистки, включающей в себя охладитель газов, циклоны испарительного охлаждения и электрофильтр, передаются в сернокислотное производство. Газы аспирационных систем передаются в общий газоход и выбрасываются в трубу.

В процессе (1050–1150°С) происходит дальнейшее укрупнение огарка и восстановление до металла присутствующих в огарке никеля и кобальта (85–90 %), а также части железа и меди. В качестве восстановителя используют доменный кокс и уголь в количестве 12–14 %.

Перечень основного технологического оборудования приведён в табл. 2.19, выбросы основных загрязняющих веществ в атмосферу при получении ПНТП – в табл. 2.20, характеристика сточных вод – в табл. 2.21.

Таблица 2.19 – Перечень основного технологического оборудования

№ пп	Наименование оборудования	Назначение оборудования	Характеристика оборудования
1.	Сгустители Ц9	Сгущение пульпы никелевого концентрата	Площадь поверхности – 60 м
2.	Сгустители Ц12	Сгущение пульпы никелевого концентрата	Площадь поверхности – 110 м
3.	Барабанный вакуумный фильтр	Фильтрация сгущённого никелевого концентрата	Площадь фильтрации – 40 м^2, содержание влаги в кеке – 6–9 %
4.	Печь кипящего слоя	Обжиг концентрата	Площадь пода – 24 м^2
5.	Трубчатая вращающаяся печь (ТВП)	Восстановление огарка окислительного обжига	Длина печи – 20 м, диаметр печи – 2,2 м, диаметр в свету – 1,688 м

Таблица 2.20 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при получении

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Значение
Окислительный обжиг сульфидного никелевого концентрата в печах кипящего слоя (КС) с получением никелевого огарка	Диоксид серы	кг/т ПНТП	0,971
	Азота оксиды	кг/т ПНТП	0,05
	Свинец	кг/т ПНТП	0,004
	Никель оксид	кг/т ПНТП	0,464

Таблица 2.21 – Сточные воды, образующиеся при получении ПНТП

Наименование сточных вод по переделам	Нормируемое количество в сутки, м^3/т Ni	Содержание вредных примесей	Место сброса
Оборотная вода комбината	0,005	Не более уровня в оборотной системы	Самотечные коллектора оборотной системы

Твёрдые отходы процесса получения ПНТП образуются в ходе ремонтных и строительных работ – выломки футеровки печей, бой кирпича, бетон, теплоизоляция, металлолом.

2.1.2.3. Технология производства черновых никелевых анодов

На сегодняшний день основная часть никелевого порошка трубчатых печей поступает на анодную плавку в дуговые электропечи, часть – на хлорное растворение для восполнения дефицита никеля. Шихта печей включает в себя, помимо порошка, восстановитель и анодный скрап.

При расплавлении шихты свободной углерод и закись никеля растворяются в расплавленном металле, при этом происходит «науглероживание» ванны металла по реакции с образованием карбида никеля (Ni_3C), который при растворении в металле взаимодействует с закисью никеля.

Растворимость углерода в металле высока, и на начальных этапах плавки, с учётом положительного влияния науглероживания расплава на температуру плавления металла, процесс ведут с избытком восстановителя, который на финальных этапах удаляют присадкой огарка в жидкий металл. Доводка металла по содержанию углерода может также осуществляться кислородной продувкой.

К моменту полного расплавления шихты в печи образуются шлаковая и металлические фазы. В основном шлак состоит из окислов, содержание которых может достигнуть 95 %. Снижение потерь цветных металлов со шлаками и увеличение их извлечения в анодной никель происходит тем полнее, чем лучше восстановительные условия в печи и чем выше активность окислов в шлаке, которая зависит от количества флюсующих добавок, таких как известняк, окись кремния.

После обеднения шлака избыток его порционно сливают путём наклона печи. При этом богатая часть шлака возвращается на плавку, а бедная отправляется на переработку в РТП. Готовый металл разливается по изложницам карусельной машины и направляется на электролитическое рафинирование с получением катодного металла. Запылённые отходящие газы очищаются в электрофильтрах и выбрасываются в атмосферу.

Перечень основного технологического оборудования приведён в табл. 2.22, выбросы загрязняющих веществ – в табл. 2.23.

Таблица 2.22 – Перечень основного технологического оборудования

№	Наименование оборудования	Основные характеристики
1.	Бункер восстановленной закиси)	Ёмкость – 40 т
		Ёмкость – 60 т
2.	Бункер не восстановленной закиси	Ёмкость – 10 т
		Ёмкость – 5 т
3.	Бункер восстановителя	Объём – 25 м^3
4.	Питатель тарельчатый	Диаметр тарелки – 1000 мм
		Диаметр тарелки – 800 мм
5.	Питатель шнековый	Диаметр шнека – 450 мм
6	Электропечь РКЗ № 1	Мощность трансформатора – 12500 кВА
7.	Электропечь ОКБ № 2	Мощность трансформатора – 9000 кВА
8.	Электропечь РКЗ № 3	Мощность трансформатора – 15000 кВА
9.	Индукционный миксер ИЧТМ-16	Мощность трансформатора – 1300 кВА
10.	Индукционный миксер ИЧТМ-16	Мощность трансформатора – 1600 кВА
11.	Разливочная машина	Диаметр – 10 м

Таблица 2.23 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при анодной плавке

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Значение
Восстановительная плавка никелевого огарка в электропечах с получением никелевых анодов	Диоксид серы	кг/т анодов никелевых	32,124
	Азота оксиды	кг/т анодов никелевых	0,012
	Пыль неорг.	кг/т анодов никелевых	17,279
	Свинец	кг/т анодов никелевых	0,0285
	Никель	кг/т анодов никелевых	5,660

Шлак анодной плавки, выломки футеровки, улавливаемая в электрофильтрах пыль не являются отвальными продуктами и направляются на переработку на другие переделы технологического цикла. Прочие твёрдые отходы передела связаны с проведением ремонта оборудования и зданий.

2.1.2.4. Технологии получения катодного никеля

Электролитическое рафинирование черновых никелевых анодов – достаточно старая технология, обеспечивающая получение товарного никеля в том числе из драгметаллсодержащего сырья.

В процессе многолетней эксплуатации технология рафинирования черновых никелевых анодов непрерывно совершенствовалась, и к настоящему времени пути её дальнейшего улучшения практически исчерпаны и экономически бесперспективны. Именно поэтому эта технология, имевшая ранее широкое распространение, повсеместно замещена более современными способами. Основные недостатки технологии рафинирования черновых никелевых анодов определяются собственно необходимостью их производства. Альтернативные гидрометаллургические способы рафинирования файнштейна или продуктов его переработки предполагают в качестве товарного передела электроэкстракцию никеля из хлоридных или сульфатных растворов. При этом передел производства черновых никелевых анодов заменяется переделом растворения файнштейна или продуктов его переработки, например, никелевый концентрат и/или металлизированная фракция от разделения файнштейна. Очевидны следующие общие преимущества подобных решений:

– ликвидация затрат на производство промежуточных продуктов, а именно черновых анодов;

– ликвидация определяющихся наличием анодного скрапа оборотов;

– существенное упрощение обслуживания электролизных ванн (обработка анодов и скрапа, чистка ванн с выделением и переработкой шлама);

– возможности более полной механизации и внедрения дополнительных, более совершенных систем контроля процессов рафинирования;

– возможности использования более современного основного оборудования;

– существенное сокращение незавершённого производства (срок растворения черновых анодов составляет приблизительно 30 сут, кроме того, он увеличивается за счёт наличия оборотного скрапа).

В настоящее время на Кольской ГМК, единственном отечественном предприятии, выпускающем товарный никель высокой чистоты, начался переход от технологии рафинирования черновых никелевых анодов к гидрометаллургической технологии рафинирования восстановленного никелевого порошка (ПНТП).

Эта технология предусматривает получение товарного никеля электроэкстракцией из хлоридных растворов. На первом этапе в качестве исходного сырья предусматривается использование ПНТП. В дальнейшей перспективе представляется целесообразным использование в качестве обособленного сырья металлизированной фракции от разделения файнштейна и далее никелевого концентрата от разделения файнштейна. Замена ПНТП никелевым концентратом позволит полностью ликвидировать переделы окислительного и восстановительного обжига, что позволит существенно сократить в том числе потери ценных компонентов, трудозатраты, энергозатраты и эмиссию вредных веществ.

Организационно производство электролитного никеля включает в себя три основных отделения: электролизное, гидрометаллургическое (ГМО) и отделение готовой продукции.

Процесс перехода на новую технологию осуществляется постепенным переводом действующих электрорафинировочных ванн на технологию электроэкстракции. С учётом одновременной эксплуатации электрорафинирования черновых никелевых анодов и рафинирования ПНТП в технологической цепочке используется основное технологическое оборудование электролизного отделения рафинирования черновых никелевых анодов. Также, в соответствии с проектом реконструкции никелевого производства, устанавливается новое технологическое оборудование.

В настоящем разделе описаны обе технологии.

Технология рафинирования черновых анодов

Наряду с металлическим никелем черновые аноды содержат первые проценты основных примесей: железа и меди, кобальта и доли процента серы. Кроме того, в черновых анодах содержится широкий спектр различных микропримесей, включая драгоценные металлы. Рафинирование черновых никелевых анодов осуществляется в электролизных ваннах (электролизёрах ящичного типа) с разделением катодного и анодного пространств проточной тканевой диафрагмой. При этом используется сульфат-хлоридный никелевый электролит. Катоды внутри ванн помещены в диафрагменные ячейки, а аноды находятся в общем анодном пространстве. За счёт прохождения постоянного тока на анодах происходит растворение никеля и примесей с получением загрязнённого никелевого раствора – анолита. На катодах в эквивалентном пропущенному току количестве осаждается чистый катодный никель. В каждую катодную ячейку непрерывно подаётся очищенный от примесей никелевый раствор – католит. За счёт его подачи уровень раствора в катодных ячейках превышает уровень в анодном пространстве. Католит

просачивается через поры диафрагмы в анодное пространство ванны, препятствуя попаданию в катодное пространство примесей из анолита. После прохождения через диафрагму католит объединяется с анолитом и самотёком удаляется из ванны на очистку. Часть анодных примесей не растворяется и преимущественно осаждается в донной части анодного пространства ванны. Часть нерастворённых примесей формирует на поверхности анода нерастворимый шлам, в котором, в частности, концентрируются драгоценные металлы.

Осаждение товарного никеля осуществляется на никелевые основы, которые производятся в отдельных электролизных ваннах путём катодного осаждения никеля на титановые матрицы. Такие ванны, в отличие от ванн производства товарного никеля, называются матричными. Срок наращивания основ составляет 12–24 ч. Катоды с осаждёнными на них основами выгружаются, промываются, основы сдираются и правятся. К ним контактной сваркой привариваются вырезанные из основ ушки. Никелевые основы с приваренными ушками загружаются в товарные ванны для наращивания на них товарных никелевых катодов. Срок наращивания товарных катодов (катодная кампания) составляет 3–4 сут. По завершении катодной кампании товарные катоды выгружаются, промываются и передаются в дальнейшую обработку, включающую взвешивание, пробоотбор, резку, сортировку (разбраковку), фасовку (упаковку) первичного никеля для отправки партиями на склад готовой продукции. По завершении анодной кампании осуществляется чистка ванн. Перед чисткой ванны шунтируются. Из ванн выгружаются анодный скрап и катодные ячейки, ванны опорожняются и очищаются от шлама, который отправляют на переделы производства драгоценных металлов. Не растворившаяся часть анодов из ванн – скрап – после промывки от шлама направляется на анодную плавку. Анодная осыпь направляется на хлорное выщелачивание либо на анодную плавку. После чистки в ванны устанавливаются новые аноды и катодные ячейки, ванна заполняется католитом и цикл рафинирования повторяется.

Загрязнённый примесями анолит из ванн очищается от примесей гидрометаллургическими способами, включающими в себя последовательное удаление железа путём его окисления воздухом в присутствии основного карбоната никеля в качестве нейтрализатора, меди – цементационным осаждением на ПНТП и кобальта, который окисляют хлором в присутствии нейтрализатора – основного карбоната никеля.

После корректировки кислотности очищенный от кобальта раствор в качестве католита подаётся в ванны рафинирования. Первичный железистый кек репульпируется для удаления из него никеля и получения отвального гидратного железистого кека.

Кобальтовый кек также репульпируется для удаления присутствующего в нём никеля и после фильтрования направляется на производство катодного кобальта.

Содержащая никель и иные примеси цементная медь передаётся в производство меди. Дефицит водорастворимого никеля восполняется хлорированием ПНТП. Основной карбонат никеля для очистки от примесей получают на карбонатном переделе с использованием бедных никелевых растворов от репульпации первичных кеков примесей. Осаждение карбоната осуществляется раствором кальцинированной соды. В производство вовлекаются никельсодержащие растворы и иные полупродукты смежных медного и кобальтового производств, а также продукты участка переработки шламов. На репульпациях и для регулирования кислотности по операциям очисток используется серная

кислота смежного сернокислотного производства, производимая как попутный продукт из газов пирометаллургических производств.

При производстве нейтрализатора (карбоната никеля) образуются солевые стоки, которые перерабатываются на выпарной установке с получением товарных солей (сульфат и хлорид натрия) (табл. 2.24).

Таблица 2.24 – Основное технологическое оборудование цеха электролиза никеля

Наименование оборудования	Назначение	Характеристика
Электролизное отделение		
Ванны электролизные рафинирования	Получение катодного никеля	Полимербетонные ванны, 51–51 анодов, 49–50 катодов, с рабочей поверхностью 935 × 1085
Ванны электролизные рафинирования	Получение катодного никеля	Полимербетонные ванны, 61 анод, 60 катодов
Мостовые краны		Q = 10 т, H = 13 м , L = 21 м
Спецкраны	Обслуживание ванн	Q = 3,2/30 т, L = 10,5 м
Гильотинные и дисковые ножницы	Резка основ на уши, резка заготовок основ	
Машины точечной сварки	Приварка ушей	МТ-1222 (МТ-2202)
Гидрометаллургическое отделение		
Баковое оборудование	Сборники католита и анолита	Ёмкость – до 400 м^3
Аппараты с пневматическим перемешиванием (пачуки)	Реакционное оборудование	Ёмкость – до 170 м^3
Аппараты с механическим перемешиванием, с коническим и плоским днищем	Репульпация осадков, проведение технологических процессов	Ёмкость – до 20 м^3
Аппараты с перемешиванием в псевдоожиженном слое (цементаторы)	Очистка анолита от примесей	Ёмкость – до 90 м^3
Патронные фильтры	Разделение жидкого и твёрдого	Объем фильтра: ПАР-80 – 11 м^3; ПКФ 80 – 11,4 м^3; ПКФ40 – 6,0 м^3; Поверхность фильтрования: ПАР-80 – 80 м^2; ПКФ80 – 80 м^2; ПКФ40 – 40 м^2
Дисковые вакуумные фильтры	Разделение жидкого и твёрдого	Поверхность фильтрования: 68 м^2; Разрежение: (-0,25) – (-0,5) МПа
Фильтр-прессы рамные	Разделение жидкого и твёрдого	Поверхность фильтрования: до 50 м^2
Газоочиститель пенный	Очистка воздуха от хлора	Производительность: 18000 м^3/ч
Гидроциклон	Разделение жидкого и твёрдого	

Окончание таблицы 2.24

Наименование оборудования	Назначение	Характеристика
Сгуститель одноярусный, с центральным приводом	Разделение жидкого и твёрдого	Диаметр – 9 м
Двухспиральные классификаторы	Разделение жидкого и твёрдого	Диаметр спиралей – 280 мм, шаг спиралей – 300 мм
Передел дегазации анолита и компримирования анодного газа		
Вакуумный дегазатор	Удаление хлор-газа из анолита	H = 7,0 м; Диаметр – 1,95 м; Разрежение – (-0,8) бар
Улавливающий бак	Сборник дегазированного анолита	H = 2,0 м; Диаметр – 1,6 м; Разрежение – (-0,05) бар
Конденсатор	Удаление влаги из хлор-газа	Мощность: 3,5 МВт; 0,4 МВт
Компрессор	Транспортирование хлор-газа	Производительность – 2520 Ам^3/ч; Давление выпуска – 1,5 бар
Сепаратор	Отделение хлора от рабочей жидкости	L = 4,0 м; диаметр 1,8 м; давление 1,5 бар
Участок утилизации солевых стоков		
Выпарные аппараты	Выпаривание солевых растворов	Поверхность теплообмена – 650 м^2
Отделение готовой продукции		
Мостовые краны	Транспортировка готовой продукции	*Q* = 5/20 т
Аккумуляторные погрузчики, электрические моторные тележки	Транспортировка готовой продукции	*Q* = 10 т
Гильотинные ножницы кривошипные, линии автоматической резки	Резка катодов	
Приспособления для фасовки и упаковки товарного никеля	Упаковка катодов	

Технология рафинирования ПНТП

Исходным сырьём процессов гидрометаллургического рафинирования в производстве электролитного никеля в КГМК является восстановленный порошок трубчатых печей ПНТП.

По химическому составу ПНТП близок к черновым никелевым анодам, однако содержит значительное количество кремния, кальция, магния и алюминия, поступающих в процесс с зольной составляющей угля, используемого на операции восстановления.

Технология переработки ПНТП включает в себя три основных блока: хлорное растворение в обеднённом никелевом растворе, очистку от примесей и электроэкстракцию никеля.

Основным отличием процесса электроэкстракции от электрорафинирования черновых анодов является то, что в процессе используются нерастворимые аноды, и никель, осаждающийся из раствора под действием тока на катоды, не восполняется в электролите за счёт растворения никеля из анодов. Таким образом, в раствор не переходят и соответствующие примеси.

Хлорное выщелачивание ПНТП в обеднённом по никелю растворе после электроэкстракции осуществляется в аппаратах с псевдоожижением – цементаторах. В процессе хлорного растворения в жидкую часть пульпы извлекаются никель и основные примеси, при этом сульфидная сера и драгоценные металлы коллектируются в нерастворимом остатке, который направляется в производство драгоценных металлов. Раствор после хлорного растворения очищают от основной части поступающей с ПНТП меди на операциях предварительной и дополнительной медеочистки в цементаторах. Цементная медь передаётся в производство меди.

Далее обогащённый никелем раствор хлорного выщелачивания очищается от примесей совместно с анолитом от рафинирования черновых анодов. Поскольку в растворах после хлорного выщелачивания содержание железа более высокое (сравнительно с черновыми никелевыми анодами), в качестве окислителя в процессе железоочистки используют кислородо-воздушную смесь с содержанием кислорода до 40 %). В связи с повышенным содержанием в ПНТП цинка (сравнительно с черновыми никелевыми анодами) раствор после железоочистки подвергается экстракционной очистке от цинка. После очистки от остаточной меди (цементацией) и кобальтоочистки (операции описаны выше) раствор передаётся в электролизные ванны.

В качестве нейтрализатора в процессах железо- и кобальтоочистки, как и ранее, используют основной карбонат никеля.

Очищенный от примесей богатый никелем продукционный раствор в качестве католита поступает в ванны электроэкстракции.

Электроэкстракция никеля осуществляется в полимербетонных электролизных ваннах с разделением катодного и анодного пространств проточной тканевой диафрагмой. Конструкция и расположение электродов внутри ванн электроэкстракции, а также обвязка этих ванн по растворам принципиально отличается от ванн электрорафинирования.

В каждой ванне 61 стационарный нерастворимый титановый анод с активным покрытием типа ОРТА и 60 катодов, рабочей поверхностью 935 × 1340 мм. Вдоль борта ванны проходит коллектор для совместной эвакуации анолита и хлора. Сохраняется попарная группировка ванн в блоки с последовательным подключением ванн по току в серии. Максимальная токовая нагрузка – до 35 кА.

Для электроэкстракции никеля используется общий с рафинировочными ваннами никелевый электролит. Нерастворимые титановые аноды с активным покрытием типа ОРТА помещены в оборудованные колпаками и работающие под разрежением диафрагменные ячейки, а катоды находятся в общем катодном пространстве ванны. За счёт прохождения постоянного тока на анодах выделяется хлор. На катодах в эквивалентном пропущенному току количестве осаждается чистый катодный никель. Католит непрерывно подаётся в общее катодное пространство ванны.

Основным отличием процесса электроэкстракции от электрорафинирования черновых анодов является то, что в процессе используются нерастворимые аноды, и никель, осаждающийся из раствора под действием тока на катоды, не восполняется в электролите за счёт растворения никеля из анодов. Таким образом, в раствор не переходят и соответствующие примеси, вследствие чего часть раствора, выходящего из электролизной ванны, поступает обратно на переделы электролиза без очистки от металлов-примесей.

Часть обеднённого по никелю раствора из катодного пространства ванны (~10 %) по переливу поступает на объединение с раствором после кобальтоочистки. Остальной раствор через анодную диафрагму под действием разрежения просачивается в анодные ячейки, препятствуя попаданию в катодное пространство хлора.

Из каждой анодной ячейки анолит совместно с анодным хлором эвакуируется за счёт разрежения в бортовой коллектор ванны, где происходит разделение водной и газовой фаз. Часть анолита, насыщенного хлором, поступает на хлорное выщелачивание ПНТП, остальной анолит откачивается на передел дегазации и далее в электролизные ванны. Хлор-газ из бортовых коллекторов по вакуумным линиям транспортируется на операцию компримирования.

Дегазация анолита и компримирование анодных газов

На переделе компримирования хлора и дегазации анолита осуществляют сбор хлор-газа из анодных ячеек ванн электроэкстракции, его сжатие и распределение хлора на переделы хлорного выщелачивания ПНТП и кобальтоочистки никелевого раствора.

Компрессоры, установленные на переделе, обеспечивают необходимое разрежение в анодных ячейках, бортовых коллекторах и хлоропроводе, а также необходимое сжатие хлор-газа. На хлоропроводах установлены охлаждаемые водой ёмкости-конденсаторы для осушки хлор-газа, поступающего на компримирование. Осушенный и сжатый газ (давление 1,0–1,5 бар) собирают в ёмкость, откуда по системе хлоропроводов он дозируется на переделы гидрометаллургического отделения цеха электролиза никеля.

Анолит из бортовых коллекторов нагревают в теплообменниках и откачивают насосами в вакуумные колонные дегазаторы. Разрежение в колоннах (-0,8–0,9 бар) создаётся вакуум-насосами. Удаляющийся из кипящего анолита хлор-газ поступает на компрессоры компримирования, анолит после вакуумного обесхлоривания откачивают на электролизный передел, где после дополнительной химической дегазации (восстановление остаточного хлор-газа в электролите раствором сульфита натрия) его объединяют с католитом, поступающим в электролизные ванны.

При рафинировании черновых никелевых анодов и ПНТП используются следующие основные материалы и реагенты: кислота серная, хлор, сода кальцинированная, борная кислота (будет исключена по завершении переходного этапа), ткани диафрагменная (хлопколавсановая) и фильтровальные (лавсановая, полипропиленовая и смесовые).

При производстве катодного никеля основными вредными веществами, выбрасываемыми в атмосферу, являются никель (в том числе в водорастворимой форме), серная кислота в виде аэрозолей, а также хлор. Удаление аэрозолей осуществляется через

аэрационные фонари и систему вытяжной вентиляции электролизного отделения (табл. 2.25).

Удаление паровоздушной хлорсодержащей смеси производится с помощью аспирационных систем из ёмкостного оборудования с последующей очисткой в пенных аппаратах.

Таблица 2.25 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при производстве никелевых катодов

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Значение
Получение электролитного никеля методом электролиза растворимых никелевых анодов	Серная кислота	кг/т никеля электролитного	0,0106
	Никель и его соединения (в пересчете на никель)	кг/т никеля электролитного	0,061
Получение электролитного никеля методом электроэкстракции из НПТП	Серная кислота	кг/т никеля электролитного	0,004
	Никель и его соединения (в пересчете на никель)	кг/т никеля электролитного	0,017
Очистка анолита от кобальта	Хлор	кг/т никеля электролитного	0,095

В качестве основных отходов производства образуются очищенные от цветных металлов сульфат-хлоридные сливы карбонатного передела и отвальный железистый кек.

Сточные воды образуются в результате получения карбоната никеля и вследствие использования на очистных операциях основных реагентов – серной кислоты, соды каустической и хлора.

В настоящее время внедрена новая технология утилизации солевых стоков. Процесс утилизации заключается в выпаривании солевого стока с селективным получением солей сульфата и хлорида натрия. Полученный при выпарке конденсат утилизируется на технологических переделах АО «Кольская ГМК», соли являются товарными продуктами технологии.

Твёрдые отходы передела получения товарного электролитного никеля образуются в процессе эксплуатации электролизных ванн и очистки никелевого анолита от железа. Железистый кек, отходы диафрагменных тканей и кек отстойников складируют совместно как один отвальный продукт 4-го класса опасности. Выход железистого кека (сух вес) составляет 0,10–0,15 т/т электролитного никеля, его влажность – 40–60 %.

2.1.2.5. Технология производства карбонильного никеля

Сырьём для карбонильного производства служат никелевые гранулы, выплавляемые из продуктов обжигового отделения и собственных оборотов ЭПО РЦ, а также различных видов привозных металлосодержащих материалов других цехов в рафинировочном цехе.

Физико-химические показатели гранул никелевых в соответствии с ТУ 1732-052-48200234-2015 «Гранулы никелевые»: никель – не менее 85,0 %, медь – не более 5,0 %, железо – не более 4,0 %; сера – 1,5–3,0 %; углерод – не более 0,1 %; содержание влаги – не более 0,5 %; насыпная плотность – не менее 3,6 т/м^3; крупность – не более 75 мм.

Основными переделами процесса являются передел газификации пекового кокса, синтеза, ректификации и разложения тетракарбонила никеля.

Передел газификации предназначен для получения оксида углерода газификацией пекового кокса в газогенераторе. Полученный оксид углерода очищают от пыли водой в пенном аппарате и в скрубберах, при этом коксовая пыль смывается водой в водяные баки.

Передел синтеза предназначен для получения тетракарбонила никеля (ТКН), осуществляющийся при взаимодействии твёрдых никельсодержащих материалов с оксидом углерода при высоких давлении и температуре.

Передел синтеза ТКН состоит из технологических секций, где расположены установки синтеза, коридор разводки трубопроводов, помещения пароперегревателя, камер приточной, вытяжной и аварийной вентиляции, узла производственного водоснабжения, пульта управления, административных и бытовых помещений, понизительной подстанции с пультом управления, помещений РП и ремонтных мастерских.

В состав установки синтеза входят реакционные колонны, подогреватели реакционного газа, пылевой фильтр, холодильник-конденсатор, сборник-отделитель и контрольный сборник – отделитель сырого ТКН, сборник – разрядник сырого ТКН и фильтры для отделения масла и влаги (маслоловушки). Циркуляция реакционного газа в процессе синтеза ТКН осуществляется циркуляционным компрессором, расположенным на переделе газовых компрессоров.

После окончания загрузки сырья в колонны и закрытия верхних затворов система трубопроводов и аппаратов установки синтеза ТКН опрессовывается азотом, затем после полного сброса давления промывочного газа включаются в работу циркуляционный компрессор и подогреватель газа. Подогретый реакционный газ (оксид углерода) подаётся в нижнюю часть колонны, проходит через слой сырья и извлекает из него никель в виде карбонила никеля. Кроме карбонила никеля, в процессе синтеза происходит образование карбонилов железа и кобальта.

Для восполнения убыли оксида углерода, который расходуется на образование карбонилов и частично растворяется в жидком карбониле, система непрерывно или периодически подпитывается «свежим» газом из ресиверов высокого давления.

Выходящий из колонн реакционный газ, содержащий пары карбонилов, проходит через выносной пылевой фильтр и направляется в холодильник-конденсатор (аппарат

типа «труба в трубе»), где за счёт снижения температуры газа до 10–40°С происходит конденсация паров карбонилов. Конденсат отделяется от газа в системе сборников-отделителей, которые представляют собой горизонтальные цилиндрические аппараты высокого давления.

Реакционный газ из сборника-отделителя через маслоловушку направляется в циркуляционный компрессор, из которого подаётся в подогреватели и поступает вновь в колонны синтеза.

В сырой карбонил извлекается до 96–97 % никеля, до 15 % кобальта, до 70 % железа. Практически вся медь, сера и благородные металлы остаются в остатках синтеза, которые затем направляются на обжиг в трубчатой печи для полной дегазации и сульфатизирующего обжига остатков синтеза, обеспечивающего подготовку материала к переработке в цикле основного производства.

Передел ректификации предназначен для производства дистиллята тетракарбонила никеля, получаемого путём отгонки его из смеси нагретых карбонилов никеля, железа и кобальта, с последующей термической обработкой кубовых остатков с образованием остатков дожигания.

При нагревании исходного продукта в кубе карбонил никеля полностью испаряется, карбонил железа испаряется частично и в основном остаётся в кубе. В процессе ректификации поднимающиеся в колонне пары постепенно обогащаются низкокипящим компонентом смеси, а стекающая вниз жидкость – высококипящим компонентом.

Пар, выходящий из верхней части ректификационной колонны, представляет собой чистый легколетучий компонент смеси, конденсация которого даёт готовый продукт – дистиллят, основная часть которого направляется в соответствующие сборники для производства готовой продукции, а другая часть в виде флегмы остаётся в ректификационной колонне. Из нижней части куба отбирается продукт, богатый высококипящим компонентом, который является кубовым остатком, и дополнительно перегоняется в колоннах II ректификации.

Установки ректификации размещены в помещениях четырёх технологических секций, в том числе четыре установки I ректификации, две установки II ректификации, промежуточные аппараты, сборники и ёмкости. Все аппараты соединены с газгольдерами оксида углерода уравнительными трубопроводами.

Очищенные пары карбонила никеля конденсируются и охлаждаются в дефлегматоре (трубчатый теплообменник, охлаждаемый проточной холодной водой). Пары, не успевшие сконденсироваться в дефлегматоре, попадают в конденсатор остаточного газа, где происходит их окончательная конденсация. Часть конденсата направляется в колонну на орошение насадки (флегма), остальная часть (дистиллят) выводится из колонны в сборники, из которых давлением оксида углерода передавливается в напорные баки отделения разложения, ОПУ дроби и спецпорошков.

Кубовые остатки первой ректификации направляются в сборник, из которого подаются на дополнительную перегонку в колонны II ректификации. Дистиллят II ректификации направляют в сборники I ректификации на повторную очистку.

Кубовые остатки II ректификации направляют в сборник, из которого их передавливают в промежуточный аппарат и далее, самотёком, продукт поступает на термическую дегазацию в печь дожигания № 1.

Передел разложения тетракарбонила никеля предназначен для производства карбонильных никелевых порошков и карбонильной никелевой дроби путём термического разложения тетракарбонила никеля.

Выделившийся при разложении карбонила никеля оксид углерода направляется из разложителя на очистку от никелевого порошка, а затем направляется в газгольдеры оборотного газа.

Передел разложения состоит из пяти технологических секций, разделённых по горизонтали перекрытиями на три уровня. В каждой секции расположены четыре установки разложения, связанные через общий коллектор парообразного ТКН с башней, где установлены два напорных бака, два испарителя, буферная ёмкость, две газодувки и система обогрева испарителя.

Получение никелевых порошков с комплексом заданных физико-технологических свойств обеспечивается ведением процесса разложения паров ТКН при различных температурных режимах и различных количествах подачи паров ТКН в реторту разложителя.

Карбонильная никелевая дробь (ДНК) является одним из наиболее чистых продуктов никелевого производства. Благодаря исключительно низкому содержанию легкоплавких примесей ДНК используется для выплавки специальных жаропрочных сталей и сплавов для атомной и авиационной промышленностей.

Наращивание дроби осуществляют термическим разложением паров карбонила никеля на нагретой поверхности непрерывно циркулирующей исходной загрузки, составленной из дроби разных фракций размерами от −1 до +10 мм. Постоянно работающий вертикальный ковшовый элеватор забирает дробь внизу на выходе из аппарата и поднимает её наверх, где она разгружается из ковшей и вновь поступает в аппарат на укрупнение.

Качество карбонильной никелевой продукции определяется требованиями ГОСТ 9722-97 и СТО 00201365-01-2006 и гарантируется соблюдением технологических параметров на всех переделах.

Выпуск конкретных марок карбонильной продукции не зависит от причин, связанных с технологией, и определяется плановым заданием.

Выбросы загрязняющих веществ при производстве тетракарбонила никеля приведены в таблице 2.26.

Таблица 2.26 – Выбросы загрязняющих веществ при производстве тетракарбонила никеля

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Значение
Получение тетракарбонила никеля в аппаратах высокого давления (до 20 МПа)	Тетракарбонил никеля	кг/т никеля	0,054

2.2. Технологии производства никеля из окисленных руд

Плавкой окисленных никелевых руд в России занимались три уральских предприятия: комбинаты Южуралникель и Уфалейникель, а также Режский никелевый завод (см. ниже).

Производственные мощности комбината Южуралникель (с 2001 года комбинат входит в ОАО «Мечел») были законсервированы в декабре 2012 года и выставлены на продажу, но покупателя пока не нашлось. Мощности могут быть перезапущены в случае кардинального изменения ситуации на рынке никеля и роста цен на металл.

Производство на Уфалейникеле остановлено в 2017 году, в 2019 году предприятие проходит процедуру банкротства, осуществляется распродажа имущества.

Производство на Режском заводе также остановлено в 2017 году.

Все три предприятия находились на значительном удалении (200–500 км) от действующих рудников: комбинат Южуралникель – в г. Орске (Оренбургская обл.), Режский никелевый завод – в г. Реже (Свердловская обл.), комбинат Уфалейникель – в г. Верхний Уфалей (Челябинская обл.).

На всех трёх предприятиях применялась шахтная плавка агломерированной руды на штейн.

Сырьём для комбината Южуралникель являлась окисленная руда Буруктальского и Сахаринского месторождений. Буруктальский рудник расположен рядом с г. Светлый в Оренбургской области, рядом с границей с Казахстаном и в 230 км к востоку от Орска. Сахаринский рудник расположен в Челябинской области – в 10–15 км от пос. Субутак и примерно в 375 км от Орска. Руду с обоих рудников по железной дороге перевозили в Орск. Примерный состав руд приведён в табл. 2.27.

Таблица 2.27 – Примерный химический состав Буруктальской и Сахаринской руды

	Ni	Co	Feобщ	MgO	CaO	SiO2	Al2O3	Cr2O3
Буруктальская	1,02	0,115	23,1	11,8	0,8	41,5	3,5	1,7
Сахаринская	1,09	0,055	20,6	10,5	0,7	41,4	5,0	1,9

На переработку поступала смесь руд двух месторождений (примерно в соотношении 1:1–2:1). Руду сушили и агломерировали. Агломерат имеет примерный состав, %: Ni 1,15–1,20; Co 0,08–0,1; $Fe_{общ}$ 22,5–24,5; SiO_2 45–48; MgO 12–-13; CaO 0,7–1,2; Al_2O_3 4–5; C 0,5–2,0. Этот агломерат в смеси с коксом, сульфидизатором (железным колчеданом) и флюсом (известняком) плавят в шахтной печи на штейн. Штейн шахтных печей продувается в конвертерах до файнштейна, содержащего 78–79,5 % никеля; 0,3–0,5 % кобальта; 0,2–0,3 % железа; 0,8–2,5 % меди и 17–19 % серы. Фанштейн дробится, измельчается и обжигается в две стадии.

Первая стадия осуществляется в печах КС при температуре 900–950°С, при этом обеспечивается снижение содержания серы до 1,0–1,5 %. Полученный огарок полностью или частично подвергают хлорирующему обжигу для очистки от меди. С этой целью огарок печей КС в горячем состоянии смешивают с 10–15 % сильвинита и обжигают при температуре 700–750°С. Образующиеся при этом хлориды и сульфаты меди хорошо выщелачиваются горячим (70–80°С) слабым раствором серной кислоты. Выщелоченный огарок вместе с газоходной пылью, пылью электрофильтров и другими оборотными материалами поступает на вторую стадию окислительного обжига в трубчатой вращающейся печи (750–800°С в хвостовой части, куда идёт загрузка, и 1250–1300°С в головной – в месте выгрузки) с целью получения закиси никеля, содержащей не более 0,02 % серы.

Полученная в результате двойного обжига закись никеля может быть восстановлена до металла в дуговых электропечах с восстановителем (нефтяной или пековый кокс). В последнее время в электропечь загружали железные отходы, поэтому получали не огневой никель, как раньше, а так называемый «маложелезистый ферроникель», содержащий более 85 % никеля и 4–12 % железа, что, заметим, снижает требования по содержанию кобальта (максимальное содержание кобальта в огневом никеле по ГОСТ 849-2008 – 0,7 %, а в маложелезистом ферроникеле – до 3 %).

Режский никелевый завод был построен в 1936 году для переработки соседних месторождений окисленных руд, ресурсы которых были полностью исчерпаны к 1994 году.

Основное производство завода перед остановкой в 2017 году – плавка в трёх шахтных печах никелевой руды Серовского рудника с получением никелевого штейна, который отправлялся на «Уфалейникель». Мощности Режского никелевого завода позволяли перерабатывать до 700 тысяч т руды в год. За счёт ряда технических мероприятий и налаживания снабжения завода рудой выпуск штейна мог составлять примерно до ≈ 7 тыс. т никеля в штейне в год.

Кроме того, завод располагал электротермическим цехом, в котором перерабатывались отработанные железоникелевые аккумуляторы и другие никельсодержащие ломы и отходы с выпуском гранулированного ферроникеля и других сплавов на железоникелевой основе. В 2005 году электротермический цех освоил выпуск никеля Н-3 из закиси никеля «Уфалейникеля».

Мощности комбината Уфалейникель составляли около 15 тыс. т/г никеля. Производство никеля было основано на шахтной плавке предварительно подсушенной окисленной никелевой руды. В качестве серусодержащего агента использовался колчедан.

Полученный отвальный шлак гранулируется и выводится в отвал, газы очищаются от пыли и выбрасываются в атмосферу. Штейн поступает на конвертирование, куда также добавляются в качестве холодных присадок металлоотходы, штейн Режского завода, в качестве флюса – кварц. Полученные газы от конвертеров очищаются от пыли в электрофильтре.

Файнштейн (78 % никеля) разливается в песчаные изложницы. Затем файнштейн дробится, мелется и поступает вместе с оборотной пылью в печь кипящего слоя (КС) для выжигания серы. Огарок далее подвергается хлорированию сильвинитом (смесь натриевой и калиевой солей), хлорированный огарок выщелачивается на перколяторе для максимального перевода меди и кобальта в раствор с получением маломедистого твёрдого остатка (не более 0,05 % кислотнорастворимой меди). Фильтрат направляется на гидрометаллургическое извлечение никеля, кобальта и меди.

Твёрдый остаток далее подвергается второму обжигу в трубчатых печах до полного удаления серы. Полученная закись никеля (76 % никеля) является товарной продукцией или идёт на электроплавку (на Режском заводе) с получением гранулированного никеля. При электроплавке в качестве восстановителя используется нефтекоксик.

Товарной продукцией является никель марки Н-3 (Ni+Co не менее 98,6 %) и закись никеля (Ni+Co не менее 76 %).

Перечень основного технологического оборудования приведён в табл. 2.28, выбросы вредных веществ в атмосферу – в табл. 2.29.

Таблица 2.28 – Основное оборудование

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Сушильный барабан	Сушка руды	Прямоточный, топливо – газ или мазут, регулируемая скорость вращения
Шахтная печь	Плавка на штейн	Площадь сеч. в обл. фурм – 20 м^2, число фурм – 28, диаметр фурм – 273 мм, производительность – 25-35 т/м^2·сут, топливо – кокс металлургический, воздушное дутьё – 55000–75000 нм^3/ч, число газоотводящих труб – 4, диаметр газоотводящих труб – 1812 мм
Горизонтальный конвертор	Конвертирование штейна	Вместимость по файнштейну — 3,6м^3 (30 т), количество фурм – 16–18 шт., диаметр фурм – 50 мм, площадь сечения фурм – 294,37 см^2, расход воздуха – 120 м^3/мин, давление дутья – 0,7–0,9 атм., расход электроэнергии – 50 кВт на 1 т файнштейна
Печь кипящего слоя	Окислительный обжиг файнштейна	Тип печи – цилиндрическая с раструбом вверху, высота печи – 9900 мм, расход воздуха – 3500–5000 м^3/ч, удельная производительность – 5–7,3 т/м^2·в сутки, давление воздуха под слоем – 0,25–0,4 атм., производительность – 65 т/сутки

Окончание таблицы 2.28

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Технологические характеристики
Трубчатый реактор	Сульфатохлорирующий обжиг файнштейна	Тип – вращающийся, трубчатый, длина – 12500–14000 мм, диаметр – 2000–2200 мм, длина реакционной зоны – 10,5 м
Нутч-фильтры	Обезмеживание – сернокислотное выщелачивание хлорированного огарка	Тип – механический, вакуумный, опрокидывающийся, номинальная вместимость – 1950–2600 кг, фильтрующая поверхность – 4 м^2, разрежение – до 80 Па, объём заливаемого раствора – 1,5–2,0 м^3
Трубчатая печь	2 стадия обжига (обжиг твёрдого остатка и оборотных материалов)	Тип – трубчатая, вращающаяся, частота вращения – 1,2–1,5 об/мин, топка – откатная трубчатого типа, топливо – газ, расход природного газа – 250–350 м^3, расход воздуха 1600 – 1950 м^3/ч, электродвигатель – АО 2-52-6, 7,5 кВт, 1000 об/мин.
Электропечь	Электроплавка закиси никеля	Мощность трансформаторов – 3000 кВА, номинальный линейный ток с высокой стороны – 288 А, номинальное линейное напряжение с низкой стороны – 135 В, номинальный линейный ток с низкой стороны – 12773 А, футеровка хромомагнезитовая или периклазовая

Таблица 2.29 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

Источники выбросов	Метод очистки, повторного использования	Наименование	Масса выбросов загрязняющих веществ после очистки, г/т Ni
Шахтная плавка	Скруббер, бат. циклон	Диоксид азота	5660
		Оксид азота	919,7
		Кобальт	193,0
		Никель	4825,1
		Медь	97,1
		Мышьяк	40,3
		Пыль неорг.	664200
		Серы диоксид	4633000
Конвертирование штейна	Электрофильтр	Диоксид азота	49,9
		Оксид азота	8,1
		Кобальт	28,2
		Никель	457,4
		Медь	14,1
		Мышьяк	8,1
		Пыль неорг.	6100
		Серы диоксид	594900

Окончание таблицы 2.29

Источники выбросов	Метод очистки, повторного использования	Наименование	Масса выбросов загрязняющих веществ после очистки, г/т Ni
Окислительный и сульфат-хлорирующий обжиг	Электрофильтр	Диоксид азота	119,1
		Оксид азота	19,4
		Кобальт	6,4
		Никель	564,3
		Медь	60,8
		Мышьяк	30,9
		Пыль неорг.	3500*
		Серы диоксид	400000*
Обжиг в трубчатой вращающейся печи	ЦБУ-6Т-2	Кобальт	0,5
		Никель	21,1
		Медь	130,7
		Мышьяк	0,1
		Пыль неорг.	3500*
		Серы диоксид	400000*
Электроплавка	Циклоны	Кобальт	11,8
		Никель	1942,8
		Медь	23,5
		Пыль неорг.	1300
		Серы диоксид	2000
* – общий выброс для печи КС и ТВП.			

2.3. Технологии производства кобальта

В Советском Союзе существовал единственный кобальтовый комбинат – «Тувакобальт», перерабатывавший гидрометаллургическим способом до богатого концентрата местные бедные кобальтовые мышьяковистые рудные концентраты. В настоящее время он закрыт. На остальных отечественных предприятиях в ходе комплексной переработки никельсодержащих руд, в которых кобальт присутствует в подчинённом количестве, производился огневой кобальт либо оксид кобальта. Технология производства огневого кобальта устарела и не имела действующих мировых аналогов.

С закрытием Никелевого завода ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» производство огневого кобальта в России прекращено.

При производстве никеля из кобальтсодержащих никелевых руд сырьё для производства кобальта выделяется в качестве полупродукта на рафинировочных операциях. В частности, при традиционном рафинировании черновых никелевых анодов кобальт выделяется в гидратный осадок в ходе очистки никелевого анолита. В настоящее время в России только на Кольской ГМК действует технология производства металлического электролитного кобальта. Сырьём для этого производства является пульпа первичного кобальтового кека гидролитической очистки никелевых растворов. Технология преду-

сматривает производство катодного кобальта электроэкстракцией из хлоридных растворов и находится на стадии промышленного освоения. Организационно кобальтовое производство является отделением цеха электролиза никеля.

Готовой продукцией кобальтового производства является электролитный (катодный) кобальт, который должен соответствовать ТУ 24.45.30-231-48200234 «Кобальт электролитный. Технические условия».

Предусматривается выпуск четырёх марок кобальта, различающихся по виду изготовления и химическому составу, согласно табл. 2.30.

Таблица 2.30 – Химический состав электролитного кобальта согласно ТУ 24.45.30-231-48200234 «Кобальт электролитный. Технические условия»

Элемент	Массовая доля, %			
	NORILSK PRIME	NORILSK I	NORILSK II	NORILSK III
Co, не менее	99,95	99,90	99,80	99,30
Примеси, не более				
Ni	0,02	0,05	0,05	0,3
Fe	0,003	0,005	0,01	0,03
Cu	0,0015	0,005	0,01	0,03
Mn	0,0001	0,0001	0,0003	-
Si	0,0003	0,001	0,002	-
Al	0,0002	0,0002	0,0005	-
As	0,0002	0,0005	0,001	0,002
Bi	0,00003	0,0001	0,0004	-
Sb	0,00005	0,0001	0,0005	-
Sn	0,0001	0,0001	0,0004	-
Pb	0,0002	0,0003	0,0005	-
Zn	0,0001	0,0004	0,002	-
Cd	0,0002	0,0003	0,001	-
P	0,0003	0,0003	0,001	-
Mg	0,0002	0,0002	0,0005	-
S	0,0003	0,001	0,004	0,005
C	0,004	0,01	0,02	0,03
Ca	0,002	0,002	0,005	-
Cr	0,0001	0,0001	0,0005	-
O	0,01	0,02	0,03	-
N	0,0005	0,0005	0,001	-
H	0,0003	0,0035	0,005	-

Примечания

1. Знак «-» в графах химического состава обозначает, что примесь не регламентирована.
2. Массовые доли селена, титана, серебра, теллура, таллия, молибдена, ванадия, бора, индия, галлия определяются по желанию потребителя, но не регламентируются.

Кобальт выпускают в виде катодных листов, пластин установленного размера, полос произвольного размера, нарезанных из катодных листов толщиной от 1,5 до 10,0 мм,

и обрези. Размеры пластин и полос приведены в табл. 2.31. Основную массу готовой продукции (марка NORILSK I) составляет кобальт в виде пластин размером 25 х 25 мм.

Таблица 2.31 – Размеры пластин и полос товарного кобальта согласно ТУ 24.45.30-231-48200234-2017 «Кобальт электролитный. Технические условия»

Марка	Вид изготовления, толщина	Размер, мм
NORILSK PRIME NORILSK I NORILSK II NORILSK III	Пластины (менее 3 мм) Пластины (от 3 до 10 мм)	25±5 × 25±5 50±10 × 50±10 100±10 × 100±10
NORILSK PRIME NORILSK I NORILSK II NORILSK III	Полосы произвольного размера (менее 3 мм) Полосы произвольного размера (от 3 до 10 мм)	Длина не более 200, ширина не регламентируется
NORILSK III	Обрезь (менее 10 мм)	

Пульпа первичного кобальтового кека после водной отмывки и репульпации в оборотном растворе выщелачивания (вскрытия) растворяется в солянокислом хлоридном никельсодержащем растворе в присутствии восстановителя, в качестве которого используются находящиеся в растворе в низшей форме окисленности поливалентные ионы железа и меди. Для растворения используется привозная соляная кислота. Последующая регенерация восстановителя осуществляется за счёт восстановления ионов железа и меди на сопряжённой с операцией растворения кобальта операции растворения ПНТП. Одновременно за счёт цементационного осаждения на ПНТП обеспечивается грубая очистка растворов от меди.

Далее экстракцией обеспечивается глубокая очистка полученного фильтрата от меди и цинка. Примеси из полученного экстракта выделяются при их реэкстракции реэкстрактом примесей из цикла экстракции кобальта.

Никель-кобальтовый рафинат смешивается с рафинатом экстракции кобальта и упаривается. Из упаренного раствора осуществляется основная, грубая экстракция кобальта, и большая часть рафината возвращается на упаривание, а меньшая часть подвергается глубокой экстракции кобальта и далее передаётся на гидролитическую очистку от железа и малых примесей. Полученный при глубокой экстракции кобальта экстракт смешивается с оборотным экстрагентом и подаётся на основную экстракцию кобальта. Из экстракта основной кобальтовой экстракции после промывки кобальтовым раствором от электроэкстракции (католитом) реэкстрагируют кобальт с получением богатого кобальтового реэкстракта. Основное количество экстрагента после этого возвращается в цикл экстракции, а из меньшей части, после дополнительной отмывки от кобальта, реэкстракцией водой выделяют примеси меди, железа и цинка. Полученный реэкстракт примесей далее используется для реэкстракции меди.

На всех экстракционных операциях используется экстрагент на основе третичных алкиламинов фракции С7–С9 в разбавителе из технической смеси ароматических и насыщенных алифатических углеводородов с модификатором из алифатических спиртов фракции С8–С10.

В результате растворения ПНТП и очисток от примесей образуется ряд направляемых на переработку в гидрометаллургическое отделение производства рафинированного никеля кеков и растворов. В частности, из передаваемого в никелевое производство никелевого рафината предварительно окислением хлором или гипохлоритом натрия в присутствии основного карбоната никеля осаждают железо, свинец и марганец. Никелевый раствор передаётся на передел кобальтоочистки ЦЭН, а кек очистки направляется на передел репульпации железистых кеков ЦЭН. Таким образом, обеспечивается канал вывода из сопряжённого никелевого производства в отвальный железистый кек проблемных микропримесей свинца и марганца.

Богатый кобальтовый реэкстракт после контрольной гидролитической очистки от железа и микропримесей, где в качестве нейтрализатора используется основной карбонат кобальта собственного производства, смешивается с частью отходящего из ванн электроэкстракции кобальтового анолита и в качестве католита поступает в ванны электроэкстракции.

Электроэкстракция кобальта осуществляется в аналогичных никелевому производству полимербетонных электролизных ваннах с разделением катодного и анодного пространств проточной тканевой диафрагмой. При этом используется хлоридный электролит. Нерастворимые титановые аноды с активным покрытием типа ОРТА помещены в оборудованные колпаками и работающие под разрежением диафрагменные ячейки, а катоды находятся в общем катодном пространстве ванны. За счёт прохождения постоянного тока на анодах выделяется хлор. На катодах в эквивалентном пропущенному току количестве с учётом пониженного выхода по току кобальта осаждается чистый катодный кобальт. Осаждение товарного кобальта осуществляется на кобальтовые основы, которые наращиваются отдельно на титановых матрицах. Католит непрерывно подаётся в общее катодное пространство ванны. Из каждой анодной ячейки анолит совместно с анодным хлором эвакуируется за счёт разрежения в бортовой коллектор. Католит просачивается через поры диафрагмы в анодные ячейки, препятствуя попаданию в катодное пространство хлора. Анодный хлор-газ отделяется от анолита вне ванны в коллекторе и сепараторах и направляется в никелевое производство на очистку от кобальта никелевого анолита. Анолит частично направляется на дегазацию и далее возвращается в цикл электроэкстракции вместе с переливом католита. Часть католита направляется на передел экстракции кобальта.

По завершении катодной кампании товарные катоды выгружаются, промываются и передаются в дальнейшую обработку, включающую взвешивание, пробоотбор, резку, сортировку (разбраковку), фасовку (упаковку) товарного кобальта для отправки партиями на склад готовой продукции.

Основное оборудование производства катодного кобальта включает в себя реакционное, фильтровальное, экстракционное оборудование, электролизные ванны.

Основное реакционное оборудование: аппараты с пневматическим перемешиванием (пачуки) ёмкостью 170 м^3, аппараты с механическим перемешиванием и плоским или коническим днищем различного объёма (до 20 м^3), аппараты с псевдоожижением (цементаторы) ёмкостью 11 м^3. Основное ёмкостное оборудование – баки (аппараты) ёмкостью от 0,23 до 200 м^3.

Фильтровальное оборудование: фильтры патронные ПКФ-40, дисковые вакуум-фильтры ДТ68-2,5 и ДТ34-2,5, фильтр-прессы рамные ФРП-50-2П.

Экстракционное оборудование: экстракторы ящичные типа смеситель-отстойник с площадью камер отстаивания 2,6 м^2 и аналогичные экстракторы с выносной камерой смешения и площадью камер отстаивания 17,5 м^2.

Выпарная станция вакуумная, двухкорпусная с выносными теплообменниками F = 37,6 и 48,5 м^2, кожухотрубным поверхностным конденсатором F = 37,9 м^2 и предварительным пластинчатым нагревателем-теплообменником F = 10 м^2.

Транспортирующее оборудование. Центробежные насосы (станции) типа АХН Q/H.21, ХМ-8/40.

Система компримирования хлора и хлорной безопасности компании ERG (Англия) на базе водокольцевого компрессора хлора Q = 180 нм^3/ч, $Р$изб = 0,15 МПа, N = 22 кВт.

Блоки сдвоенные ванн электролизных полимербетонных на 61 титановый анод с покрытием типа ОРТА в диафрагменных ячейках с колпаками и 60 катодов, рабочей поверхностью 935 × 1340 мм. Вдоль борта ванны проходит коллектор для совместной эвакуации анолита и хлора. По току ванны последовательно включены в серию с максимальной токовой нагрузкой до 35 кА.

Подъёмно-транспортное оборудование включает мостовой кран (Q = 10 т, H = 13 м, L = 21 м) и спецкран (Q = 3,2/30 т, L = 10,5 м) для обслуживания ванн. Обработка готовой продукции осуществляется на участке, выделенном в составе отделения готовой продукции никелевого производства с использованием его оборудования.

Для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предусмотрено:

– установка герметичного, оснащённого аспирационными отсосами оборудования;

– общеобменная приточно-вытяжная вентиляция помещений в требуемых объёмах;

– оборудование аспирационных систем газоочистными установками, позволяющими сократить выбросы на 98,0–99,97 %;

– аварийная вентиляция насосных помещений склада соляной кислоты с автоматическим включением в работу при превышении концентраций хлористого водорода;

– аварийная вентиляция части производственных помещений электролизного участка с автоматическим включением в работу при превышении концентрации хлора с очисткой хлорсодержащих газов.

Для очистки аспирационных отсосов от ёмкостного оборудования (с хлоридными растворами металлов, с растворами соляной кислоты) устанавливается пенный газоочиститель, орошаемый содовым раствором (степень очистки – 98,5 %). Прошедшие очистку газы сбрасываются в атмосферу через вентсистему. Аспирационные газы от оборудования, в котором возможно выделение хлора, направляются на очистку для исключения возможных проскоков хлора в существующие пенные газоочистители (степень очистки – 98 %), где происходит их нейтрализация содовым раствором. Прошедшие очистку газы сбрасываются в атмосферу через существующую свечу.

Для аспирации экстракторов, насадочных колонн, ёмкостей с органической фазой предусмотрены системы с естественной тягой с выбросом на свечу. Ввиду отсутствия экономичных и эффективных систем улавливания паров предельных углеводородов (компонентов экстрагента) для снижения выбросов в атмосферу и потерь дорогостоящих реагентов предусмотрено водяное охлаждение секций аспирационных газоходов.

Технологической схемой электролизного участка предусмотрена установка двух скрубберов для очистки (нейтрализации) хлорсодержащих газов: аспирационного и аварийного, орошаемых щелочным раствором (15–20 %-ным раствором NaOH). Скрубберы включены в комплектную поставку системы хлороудаления, дехлорирования анолита, очистки хлорсодержащих газов. Расчётная степень очистки газов на скрубберах (99,97 %) определена исходя из немецких нормативов по содержанию хлора в очищенных сбросных газах – не более 3 мг/м^3. На постоянно работающий аспирационный скруббер поступают аспирационные отсосы от укрытий электролизных ванн, ванн регенерации, ёмкостного и фильтровального оборудования электролизного участка, продувочные газы, а также «бедные» хлорсодержащие газы аварийной вентиляции из помещений.

Абгазы ёмкостей соляной кислоты направляются в аппарат-газоочиститель для нейтрализации содовым раствором. Очищенные газы сбрасываются в атмосферу через свечу.

Самостоятельные стоки кобальтового производства не образуются, поскольку все полупродукты перерабатываются в ГМО никелевого производства (ЦЭН).

В таблице 2.32 приведены выбросы загрязняющих веществ при производстве электролитного кобальта.

Таблица 2.32 – Выбросы загрязняющих веществ при производстве электролитного кобальта

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Значение
Получение кобальта электролитного методом электроэкстракции из раствора	Никеля растворимые соли	кг/т кобальта электролитного	0,07
	Кобальт дихлорид	кг/т кобальта электролитного	0,058
	Хлор	кг/т кобальта электролитного	10,6
	Соляная кислота	кг/т кобальта электролитного	1,84

Раздел 3. Определение наилучших доступных технологий

Термин «наилучшие доступные технологии» определён в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ [1].

Под технологией понимается как используемая технология, так и способ, с помощью которого объект спроектирован, построен, эксплуатируется и выводится из эксплуатации; это не только и не столько технология производства, но и различные технические и нетехнические методы (экологический менеджмент, управленческие решения) повышения экологической результативности.

Под «доступной» понимается экономически целесообразная и неуникальная технология, которая достигла уровня, позволяющего обеспечить её внедрение в никель-кобальтовой промышленности с учётом экономической и технической обоснованности, принимая во внимание затраты и преимущества; при этом технология должна быть реализована хотя бы на двух предприятиях отрасли.

Под «наилучшей» понимается технология, в максимальной мере обеспечивающая охрану окружающей среды и сбережение ресурсов (сырья, воды, энергии).

Порядок определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии определён постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 года № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям», на основании которого Министерство промышленности и торговли Российской Федерации разработало «Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии».

Согласно этим документам, при отнесении технологических процессов, оборудования, технических способов и методов к НДТ необходимо учитывать следующие критерии:

а) наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объём производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги, либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации; приоритетным, оказывающим наименьшее отрицательное воздействие на окружающую среду, рекомендовано считать воздействие от отходов, затем выбросы в воду и загрязнение почвы; воздействие от выбросов в воздух рекомендовано рассматривать как фактор, имеющий наибольший отрицательный эффект;

б) экономическая эффективность внедрения и эксплуатации; анализ экономической эффективности заключается в оценке затрат на внедрение и эксплуатацию технологии и выгоды от её внедрения путём применения метода анализа затрат и выгод; в процессе оценки рекомендуется разделять объекты (предприятия) на новые и действующие;

в) применение ресурсо- и энергосберегающих методов;

г) период внедрения;

д) промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на двух и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

В качестве источников информации о применяемых на практике технологиях, относящихся к НДТ, были использованы окончательный проект второй редакции справочника ЕС по НДТ для предприятий цветной металлургии (октябрь 2014 года), сведения, полученные в результате анкетирования предприятий отрасли, результаты научно-исследовательских работ, публикаций, а также информация, полученная в ходе консультаций с профильными экспертами.

Наилучшие доступные технологии и методы, а также, в необходимых случаях, соответствующие им технологические показатели (значения концентрации эмиссий) определялись технической рабочей группой применительно к следующим вспомогательным и основным процессам производства никеля и кобальта:

1. Процессы подготовки сырья:

а) сушка, окускование (брикетирование);

б) гидрометаллургическое обогащение никель-пирротинового концентрата.

2. Процессы плавки первичного сырья и конвертирования с использованием следующих агрегатов:

а) руднотермическая печь;

б) печь взвешенной плавки;

в) электропечь обеднения;

г) шахтная печь;

д) конвертер Пирса-Смита.

3. Процессы получения товарных форм никеля и кобальта:

а) флотационное разделение файнштейна;

б) окислительный обжиг никелевого концентрата флотации файнштейна;

в) получение порошка никелевого трубчатых печей (ПНТП);

г) рафинирование ПНТП в хлоридных средах до катодного никеля;

д) получение электролитного кобальта.

е) получение катодной меди

Раздел 4. Наилучшие доступные технологии

Настоящий раздел содержит перечень кратких описаний НДТ, применяемых при производстве никеля и кобальта на различных этапах технологического процесса.

НДТ в рамках раздела сгруппированы в подразделы в соответствии с целями их применения – например, НДТ для повышения эффективности использования энергии, НДТ для управления отходами, промежуточными и побочными продуктами и др.

При выборе НДТ необходимо обращать внимание на указание в описании НДТ на конкретное производство (передел/установку), для которого должна применяться соответствующая технология. Также для каждой НДТ, где необходимо, указаны ограничения применимости включённых в описание НДТ методов.

4.1. Системы экологического менеджмента (СЭМ)

НДТ 1. Повышение общей результативности природоохранной деятельности. Внедрение и поддержание системы экологического менеджмента (СЭМ), соответствующей требованиям ГОСТ Р ИСО 14001 или ISO 14001[7].

4.2. Энергоменеджмент и энергия

НДТ 2. Повышение эффективности использования энергии: использование комбинации двух или более методов, приведённых в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Методы повышения эффективности использования энергии

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Система управления энергоэффективностью (например, в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 50001[1] или ISO 50001[1])	Общеприменим
б)	Оптимальное размещение взаимосвязанных производств, переделов и отдельного оборудования, обеспечивающее минимизацию материальных потоков	Общеприменимо при новом строительстве, изменении конфигурации существующих производств или реконструкции
в)	Использование избыточного тепла (например, пара, горячей воды или горячего воздуха), образующегося при реализации основных процессов	Применим для пирометаллургических процессов
г)	Регенеративные дожигающие устройства	Применим, когда требуется очистка выбросов от горючих загрязняющих веществ
д)	Подача на горелки воздуха, обогащённого кислородом, или чистого кислорода для уменьшения потребления энергии	Применим для пирометаллургических процессов
е)	Низкотемпературная сушка концентратов и влажного сырья перед плавкой	Общеприменим
ж)	Теплоизоляция объектов, функционирующих при высоких температурах, например трубопроводов пара и горячей воды	Общеприменим

[7] Соответствие систем менеджмента указанным стандартам не означает её обязательную сертификацию.

Окончание таблицы 4.1

	Метод/оборудование	Применимость
з)	Использование высокоэффективных электродвигателей, оборудованных частотными преобразователями, для таких устройств как, например, вентиляторы	Общеприменим
и)	Использование горячих технологических газов от процессов плавления для нагревания подаваемых компонентов	Применим для пирометаллургических процессов
к)	Применение автогенных процессов плавки сырья	Применим для пирометаллургических процессов
л)	Использование тепла химических реакций для поддержания теплового баланса гидрометаллургических процессов	Применим при реализации окислительных процессов, сопровождающихся выделением тепла
1. Соответствие систем менеджмента указанным стандартам не означает ее обязательную сертификацию.		

4.3. Контроль технологических процессов и мониторинг эмиссий

НДТ 3. Обеспечение стабильности производственного процесса. Внедрение системы автоматизированного контроля и использование комбинации двух или более методов, приведённых в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Методы обеспечения стабильности производственного процесса

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Проверка и сортировка исходных материалов в соответствии с требованиями, определяемыми используемым технологическим оборудованием и применяемыми методами сокращения загрязнения	Общеприменим
б)	Тщательное перемешивание различных материалов, входящих в состав шихты, для достижения оптимальной эффективности переработки и сокращения выбросов и отходов	
в)	Системы взвешивания и дозирования шихты	
г)	Использование микропроцессорных устройств для контроля скорости подачи материала, ключевых технологических параметров, включая сигнализацию, условий сжигания и подачи дополнительного газа	
д)	Непрерывный инструментальный контроль температуры, давления, расхода реагентов	
е)	Контроль критических параметров процессов, реализуемых на установках очистки воздуха, таких как температура газа, количество подаваемых реагентов, падение давления, ток и напряжение на электрофильтре, объем подачи и pH жидкости в мокром скруббере	

Окончание таблицы 4.2

	Метод/оборудование	Применимость
ж)	Контроль содержания пыли в отходящих газах перед их подачей на сернокислотную установку	Применим для заводов по производству цветных металлов, включающих производство серной кислоты или жидкого SO_2
з)	Непрерывный инструментальный контроль силы тока, напряжения, скорости циркуляции, состава растворов и качества электрических контактов и др.	Применим для процессов электролиза
и)	Непрерывный инструментальный контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны с системами оповещения и аварийной остановки (при наличии технической возможности) работы основного оборудования в случае превышения их пороговых значений	Общеприменим
к)	Контроль и регулирование температуры для предотвращения образования выбросов металлов и оксидов металлов из-за перегрева	Применим для спекающих и плавильных печей
л)	Использование локальных и глобальных систем контроля и управления работой оборудования, включая непрерывный инструментальный контроль основных параметров: температуры, мутности, ОВП, pH, электропроводности, давления, уровня, потоков, состава и др.	Общеприменим для гидрометаллургических процессов

4.4. Сокращение расхода реагентов и материалов

НТД 4. Сокращение расхода реагентов за счёт внедрения новых процессов (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Методы расхода реагентов за счёт внедрения новых процессов

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Использование сульфата натрия или сульфата кальция в качестве флюсующих добавок для улучшения физикохимических свойств шлаков и снижения потерь цветных металлов	Применим для пирометаллургических процессов
б)	Замена гидролитического способа выделения кобальта из никелевого раствора безреагентным экстракционным	Применимо для хлоридных сред рафинирования ПНТП или иных полупродуктов, после разработки не гидролитического способа очистки от свинца и марганца
в)	Утилизация солевого стока дробной выпаркой с выделением товарного сульфата натрия и оборотного хлорида натрия и производства хлора электролизом последнего взамен использования привозного хлора	Применим для установок очистки сточных вод от хлоридного рафинирования ПНТП или иных полупродуктов
г)	Использование известково-серного отвара в качестве осадителя тяжёлых цветных металлов	Применим в гидрометаллургических производствах, сопровождающихся образованием и выделением элементарной серы

Окончание таблицы 4.3

	Метод/оборудование	Применимость
д)	Применение фильтрации расплавленной элементарной серы взамен автоклавной выплавки	Применим для гидрометаллургических процессов, сопровождающихся образованием элементарной серы при необходимости её выделения

4.5. Неорганизованные эмиссии

НДТ 5. Предотвращение или уменьшение неорганизованных выбросов пыли: разработка и реализация в качестве составной части СЭМ (см. НДТ 1) плана мероприятий по неорганизованным выбросам, предусматривающего, в том числе, использование методов, приведённых в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Методы предотвращения или уменьшения неорганизованных выбросов пыли

	Метод/оборудование
а)	Инвентаризация наиболее характерных источников неорганизованных выбросов
б)	Определение и реализация соответствующих мероприятий и методов по предотвращению и сокращению неорганизованных выбросов в течение определённого периода времени.

НДТ 6. Предотвращение или уменьшение неорганизованных эмиссий в воздух и водные объекты: организация местных систем аспирации, замена реагентов и материалов менее летучими и токсичными, ликвидация складов хранения токсичных реагентов и материалов или сокращение объёма их хранения и потребления за счёт улучшения логистики производства или изменения технологии производства.

НДТ 7. Уменьшение неорганизованных выбросов, образующихся при хранении сырья (таблице 4.5).

Таблица 4.5 – Методы уменьшения неорганизованных выбросов, образующихся при хранении сырья

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Регулярная уборка и, при необходимости, увлажнение площадки хранения и обращения сыпучими материалами	Общеприменим
б)	Применение защитных посадок, ограждений для защиты от ветра или обвалований с наветренной стороны для снижения скорости ветра	Применяется при складировании на открытом воздухе
в)	Хранение материалов там, где это возможно, в одной куче вместо нескольких	Общеприменим
г)	Герметичная упаковка	Применяется для хранения и транспортировки пылящих материалов, а также сырья, содержащего растворимые в воде органические соединения

Окончание таблицы 4.5

	Метод/оборудование	Применимость
д)	Разбрызгивание воды с применением или без применения таких добавок как латекс	Не применяется для процессов, в которых используются сухие материалы или руды/концентраты, содержащие достаточное количество естественной влаги, чтобы предотвратить пылеобразование. Применение также ограничено в регионах с нехваткой воды или с очень низкими зимними температурами
е)	Размещение устройств для улавливания пыли в точках загрузки и перегрузки	Применяется в местах складирования пылящих материалов

НДТ 8. Уменьшение неорганизованных эмиссий, образующихся при обработке и транспортировке сырья (таблице 4.6).

Таблица 4.6 – Методы уменьшения неорганизованных эмиссий, образующихся при обработке и транспортировке сырья

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Использование закрытых конвейеров или пневматических транспортных систем	Общеприменим
б)	Сооружение конвейеров для непылящих твёрдых материалов под навесами	
в)	Организация систем аспирации при транспортировке и перегрузке пылящих материалов в сочетании с системой пылеулавливания и очистки отходящих газов	Общеприменим
г)	Установка устройств для сбора пыли в пунктах доставки, вентиляционных отверстиях, пневматических транспортных системах и точках перегрузки на конвейерах передачи, и их подключение к системе фильтрации	Применяется при использовании пылящих материалов
д)	Использование для обращения с измельчёнными или водорастворимыми материалами закрытых мешков или бочек	Общеприменим
е)	Использование специальных контейнеров для обработки уложенных на поддонах материалов	Общеприменим
ж)	Обработка пылящих материалов, например их смешивание, в закрытом помещении	Общеприменим. Для существующих заводов применение может быть затруднено в связи с необходимостью больших пространств
з)	Разбрызгивание воды для увлажнения материалов в местах их обработки	Не применяется для процессов, требующих сухих материалов

Окончание таблицы 4.6

	Метод/оборудование	Применимость
и)	Использование максимально коротких маршрутов транспортировки	Общеприменим
к)	Регулировка скорости открытых ленточных конвейеров (< 3,5 м/с)	Применяется при использовании открытых ленточных конвейеров
л)	Размещение передающих конвейеров и трубопроводов на безопасных открытых площадках выше уровня земной поверхности с целью оперативного обнаружения утечек и предупреждения повреждений транспортными средствами и другим оборудованием. Если для перемещения неопасных материалов используются подземные трубопроводы, местоположение их трасс должно быть документально зафиксировано и отмечено на местности соответствующими предупреждающими знаками; должны применяться системы безопасного ведения земляных работ.	Общеприменим
м)	Мойка колёс и шасси транспортных средств, используемых для доставки или обработки пылящих материалов	Не применяется в условиях, которые могут привести к обледенению
н)	Проведение плановых кампаний по уборке дорог	Общеприменим
о)	Использование систем пылеподавления, таких как водомёты или дождевальные установки	Применяется при перемешивании материалов вне помещений. Не применяется для процессов, требующих сухих материалов. Применение также ограничено в регионах с нехваткой воды или с очень низкими зимними температурами
п)	Использование закрытого оборудования, оснащённого системой улавливания отходящих газов, связанной с системой газоочистки	Применяется при подаче смесей, полученных с помощью бункеров-дозаторов или системы потери веса, при сушке, смешивании, помоле, разделении и гранулировании

НДТ 9. Предупреждение или уменьшение неорганизованных выбросов: оптимизация параметров эффективности улавливания и очистки отходящих газов (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Методы предупреждения или уменьшения неорганизованных выбросов

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Использование закрытых печей, оснащённых системами пылеулавливания, или оснащение печей и другого технологического оборудования вытяжными системами	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом/конструкцией печи, наличием угрозы взрыва)

Окончание таблицы 4.7

	Метод/оборудование	Применимость
б)	Оснащение печей вторичными системами отведения газов в точках загрузки и выгрузки	Общеприменим
в)	Оптимизация конструкции и технологии эксплуатации вытяжных устройств и газоходов с целью улавливания газов, возникающих при загрузке шихты и отходящих от разогретого металла; выдача и перемещение расплавов сульфидов или шлаков по закрытым желобам	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах
г)	Сооружение укрытий печей/реакторов, для улавливания выбросов при загрузочных операциях и выдаче расплавов	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом/конструкцией печи, наличием угрозы взрыва)
д)	Использование систем, позволяющих подавать сырье небольшими порциями	Общеприменим
е)	Использование непрерывных процессов и агрегатов, например замена периодического процесса конвертирования в горизонтальных конвертерах Пирса-Смита на двухзонную печь Ванюкова для конвертирования медно-никелевых штейнов, процесс Ausmelt, ACP-процесс	Применим при новом строительстве или реконструкции
ж)	Оптимизация потока отходящих из печи газов на основе компьютеризированных исследований и индикаторов гидродинамики	Общеприменим
з)	Окускование сырья (брикетирование, окатывание)	Применим только для процессов и печей, предназначенных для использования окускованного сырья
и)	Эксплуатация печи и газоотводящих каналов при разрежении и скорости газоотведения, достаточной для предотвращения повышения давления	Общеприменим
к)	Размещение печи в вытяжном укрытии	Применим при малых размерах печи
л)	Поддержание температуры в печи на самом низком допустимом уровне	Общеприменим
м)	Закрытые помещения в сочетании с другими методами улавливания неорганизованных выбросов	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом/конструкцией печи, наличием угрозы взрыва)
н)	Система вторичных вытяжных зонтов, дополняющих основной при загрузке печи и выпуске из неё металла	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах

НДТ 10. Уменьшение неорганизованных выбросов при реализации гидрометаллургических процессов (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Методы уменьшения неорганизованных выбросов при реализации гидрометаллургических процессов

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Организация укрытия зеркала флотомашин	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся простран-
б)	Использование закрытого реакторного и бакового оборудования, трубопроводов вместо желобов для транспортировки растворов и пульп	Общеприменим при отсутствии необходимости визуального контроля за процессом
в)	Добавление поверхностно-активных веществ при электролизе	Применим, если не нарушает ведение основных процессов
г)	Использование общеобменной вентиляции и локальной аспирации из области зеркала ванн с последующей очисткой абгазов	Общеприменим
д)	Использование укрытия электролизных ванн и отведение абгазов в систему газоочистки	Применим для электролизных ванн за исключением случаев, когда они должны оставаться
е)	Улавливание аэрозолей от скрапомывочных машин	Применимо для рафинирования черновых анодов

4.6. Организованные эмиссии

НДТ 11. Сокращение выбросов пыли и металлов. Поддержание в качестве составляющей СЭМ (см. НДТ 1) подсистемы, обеспечивающей эффективность эксплуатации систем пылеподавления и пылеулавливания.

НДТ 12. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от пирометаллургических процессов производства никеля, кобальта и меди. Использование газоочистного оборудования, в т. ч. «сухих» и «мокрых» электрофильтров (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/нм^3	≤ 180,0
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/нм^3	≤ 7,0
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого	мг/нм^3	≤ 2,5
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/нм^3	≤ 150,0
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	мг/нм^3	≤ 600

НДТ 13. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процессов сушки концентрата и шихтовых материалов. Использование газоочистного оборудования (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т концентрата	≤ 5,018
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т концентрата	≤ 0,3
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т концентрата	≤ 0,001
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 200
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/м^3	≤ 30,0

НДТ 14. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса плавки концентрата в ПВП. Использование газоочистного оборудования (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т штейна	≤ 0,7
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т штейна	≤ 0,025
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т штейна	≤ 0,0005
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 12
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 300

НДТ 15. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса обеднения шлака ПВП в обеднительных электропечах. Использование газоочистного оборудования (таблица 4.12).

Таблица 4.12 - Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т штейна	≤ 3,0
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т штейна	≤ 0,01
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т штейна	≤ 0,003
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 12

НДТ 16. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса конвертирования медно-никелевого штейна. Использование газоочистного оборудования (таблица 4.13).

Таблица 4.13 - Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т файнштейна	≤ 0,6
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т файнштейна	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т файнштейна	≤ 0,03
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 12

НДТ 17. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса окислительного обжига сульфидного никелевого концентрата в печах кипящего слоя. Использование газоочистного оборудования (таблица 4.14).

Таблица 14.14 - Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т ПНТП	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т ПНТП	≤ 0,464

НДТ 18. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от анодной плавки (никель). Использование газоочистного оборудования (таблица 4.15).

Таблица 4.15 - Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т анодов никелевых	≤ 17,279
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т анодов никелевых	≤ 0,0285
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т анодов никелевых	≤ 5,660

НДТ 19. Сокращение выбросов пыли и металлов от первичного и вторичного производства медных анодов: использование одной или нескольких газоочистных установок.

Таблица 4.16 - Технологические показатели: пыль и металлы в первичных и вторичных выбросах, образующихся при первичном и вторичном производстве медных анодов

Параметр	Единица измерений	Уровень выбросов для данной НДТ
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	мг/нм^3	≤ 600
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого	мг/нм^3	≤ 1,0

Окончание таблицы 4.16

Параметр	Единица измерений	Уровень выбросов для данной НДТ
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/нм^3	≤ 150,0
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/нм^3	≤ 2,0
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/нм^3	≤ 20,0

НДТ 20. Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству элементарной серы.

Применимость: Только для новых/реконструируемых предприятий в зависимости от содержания диоксида серы в газах, от наличия рынка производимого продукта или условий для долговременного хранения.

Таблица 4.17 Технологический показатель: выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 9400

НДТ 21. Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты.

Применимость: Только для новых/реконструируемых предприятий в зависимости от содержания диоксида серы в газах, от наличия рынка производимого продукта или условий для долговременного хранения.

Таблица 4.18 Технологический показатель: выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 9400

НДТ 22. Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты с последующей нейтрализацией и получением отвального гипса.

Применимость: Только для новых/реконструируемых предприятий в зависимости от содержания диоксида серы в газах, от наличия рынка производимого продукта или условий для долговременного хранения.

Таблица 4.19 - Технологический показатель: выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 3500

НДТ 23. Снижение выброса в воздух кислых газов от гидрометаллургических операций (таблица 4.20).

Таблица 4.20 – Методы снижения выброса в воздух кислых газов от гидрометаллургических операций

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Локальные системы аспирации основного оборудования с последующей переработкой абгазов в системах каплеотбойников и мокрых скрубберов	Общеприменимо
б)	Мокрый скруббер	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах
в)	Каплеотбойник	

Таблица 4.21 - Технологический показатель: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при производстве электролитного никеля методом электроэкстракции из НПТП

Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Значение
Серная кислота	кг/т никеля электролитного	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т никеля электролитного	≤ 0,017
Хлор	кг/т никеля электролитного	≤ 0,095

Таблица 4.22 - Технологический показатель: выбросы серной кислоты от процесса электролитического рафинирования, промывочной камеры машин для обдирки катодов и машины для промывки отработанных анодов в производстве меди

Параметр	Единица измерений	Уровень выбросов для данной НДТ
Серная кислота	мг/м^3	≤ 10

НДТ 24. Снижение выбросов SO_2 при первичном производстве никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов: направление отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты, серы, жидкого диоксида серы или других продуктов утилизации диоксида серы с эффективностью не ниже 90% при условии соблюдения санитарных нормативов в селитебной зоне.

Технология утилизации диоксида серы определяется с учетом концентрации диоксида серы в перерабатываемом газе, наличия рынка производимого продукта, условий для его долговременного хранения и/или продажи. Выбор технологии должен учитывать положения п. 4 Статьи 28.1. Наилучшие доступные технологии Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ.

Таблица 4.23 - Технологический показатель: выбросы SO_2 от первичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов (после утилизации диоксида серы)

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 35,0

НДТ 25. Снижение выбросов SO_2 при вторичном производстве никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов: направление отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты, серы, жидкого диоксида серы или других продуктов утилизации диоксида серы с эффективностью не ниже 90%.

Необходимость утилизации диоксида серы от вторичного производства никеля и меди определяется с учётом соблюдения санитарных нормативов в селитебной зоне, прилегающей к объектам производства никеля.

В случае необходимости утилизации диоксида серы технология определяется с учетом концентрации диоксида серы в перерабатываемом газе, наличия рынка производимого продукта, условий для его долговременного хранения и/или продажи. Выбор технологии должен учитывать положения п. 4 Статьи 28.1. Наилучшие доступные технологии Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ.

Таблица 4.24 - Технологический показатель: выбросы SO_2 от вторичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов (до утилизации диоксида серы)

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 27,86

Таблица 4.25 - Технологический показатель: выбросы SO_2 от вторичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов (после утилизации диоксида серы)*

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 2,79
*в случае принятия решения об утилизации диоксида серы		

4.7. Сбросы загрязняющих веществ в водные объекты

НДТ 26. Уменьшение неорганизованных сбросов в водные объекты (табл. 4.26).

Таблица 4.26 – Методы уменьшения неорганизованных сбросов в водные объекты

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Применение современных коррозионностойких конструкционных и футеровочных материалов для изготовления бакового и реакторного оборудования, трубопроводов	Применим при новом строительстве и реконструкции

Окончание таблицы 4.26

б)	Хранение кислот и других агрессивных реагентов и рабочих растворов в ёмкостях с двойными стенками или в ёмкостях, размещённых внутри устойчивого к воздействию агрессивных сред обвалования избыточной вместимости	Применим при небольших объёмах ёмкостей
в)	Проектирование площадок для хранения таким образом, чтобы любые утечки из ёмкостей и систем доставки удерживались внутри обвалования, способного вместить объём жидкости, равный, по крайней мере, объёму наибольшей ёмкости, размещённой внутри обвалования. Площадка для хранения должна быть обвалована и иметь покрытие, не подверженное воздействию хранящегося агрессивного материала	Применим при новом строительстве или реконструкции
г)	Использование нефтеловушек и песколовушек в дренаже площадок хранения и обращения с сыпучими материалами.	Общеприменим
д)	Использование для хранения материалов, которые могут содержать нефтепродукты (например, замасленной стружки), бетонированных площадок с бортами или иными удерживающими устройствами	Общеприменим
е)	Применение надёжных систем обнаружения утечек и индикации уровня заполнения ёмкостей с подачей сигналов для предотвращения их переполнения	Общеприменим

Таблица 4.27 – Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

НДТ 27. Предотвращение загрязнения почвы и подземных вод при эксплуатации хвостохранилищ (табл. 4.28).

Таблица 4.28 – Методы предотвращения загрязнения почвы и подземных вод при эксплуатации хвостохранилищ

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Комплекс противодренажных мероприятия	Общеприменим
б)	Организация гидроизоляции	При строительстве новых хвостохранилищ

Таблица 4.29 - Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

НДТ 28. Предотвращение загрязнения почвы и подземных вод электролитом при производстве никеля, кобальта и меди: использование комбинации двух или более методов, приведённых в табл. 4.30.

Таблица 4.30 – Методы предотвращения загрязнения почвы и подземных вод электролитом

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Использование оборотной дренажной системы	Общеприменим
б)	Использование влагонепроницаемых подвалов с зумпфом и кислотостойких полов	Применим при новом строительстве и реконструкции
в)	Использование ёмкостей с двойными стенками или размещение их внутри прочного обвалования с непроницаемыми полами	

Таблица 4.31 - Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

НДТ 29. Предотвращение образования сточных вод: использование одного из или комбинации методов, приведённых в табл. 4.32.

Таблица 4.32 – Методы предотвращения образования сточных вод

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Повторное использование слабых кислот из стоков, образующихся в мокрых электростатических фильтрах и мокрых скрубберах	Применяется в зависимости от содержания в сточных водах металлов и твёрдых веществ
б)	Использование поверхностных стоков	Общеприменим
в)	Использования систем полного или частичного оборотного водоснабжения	Общеприменим
г)	Утилизация солевых стоков рафинирования никеля выпаркой и дробной кристаллизацией товарных или оборотных сульфата и хлорида натрия и возвратом конденсата выпарки в основное производство	Применим для процессов рафинирования черновых анодов, ПНТП или иных полупродуктов

Таблица 4.33 – Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

НДТ 30. Очистка сточных вод, образующихся при производстве никеля, кобальта и меди с целью удаления металлов и сульфатов на основе применения методов, приведённых в табл. 4.34.

Таблица 4.34 – Методы очистки сточных вод

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Химическое осаждение	Общеприменим
б)	Седиментация	Общеприменим
в)	Фильтрация	Общеприменим
г)	Флотация	Общеприменим
д)	Обратный осмос	Общеприменим
е)	Выпарка и кристаллизация солей	Общеприменим
ж)	Электрокоагуляция	Общеприменим

НДТ 31. Уменьшение количества отходов, направляемых на утилизацию при производстве никеля, кобальта и меди: организация обращения с отходами, промежуточными и побочными продуктами, способствующая их повторному использованию, а в случае невозможности – вторичной их переработке (табл. 4.35).

Таблица 4.35 – Методы уменьшения количества отходов, направляемых на утилизацию

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Извлечение металлов из пыли поступающих из системы пылеулавливания	Общеприменим
б)	Регенерация или переработка отработанных катализаторов	Общеприменим
в)	Извлечение металла из осадка, образующегося при очистке сточных вод	Применим в зависимости от содержания металлов и от наличия рынка/процесса
г)	Использование отвальных шлаков в качестве абразивных или строительных (для отсыпки дорог) материалов	Применим в зависимости от содержания металлов и от наличия рынка
д)	Использование футеровки печей для извлечения металлов или повторное её использование в качестве огнеупорных материалов	Общеприменим
е)	Использование гипса с установок по очистке сточных вод в пирометаллургических процессах или в качестве закладочного материала для отработанных горных выработок	Применим в зависимости от качества получаемого гипса и особенностей технологического процесса

Раздел 5. Экономические аспекты применения наилучших доступных технологий при производстве никеля и кобальта

Ресурсы, которые предприятия отрасли могут направить на модернизацию производств и реализацию природоохранных мероприятий, напрямую зависят от конъюнктуры рынка никеля – основного металла, определяющего доходность никелевых предприятий. На таком рынке компании – производители никеля не имеют возможности по отдельности воздействовать на цену конечной продукции, что позволило бы в той или иной степени переложить понесённые в связи с реализацией природоохранных мероприятий и внедрением экологически эффективных технологий затраты на потребителя.

Это означает, что возможности по компенсации любых существенных затрат, понесённых в связи с реализацией природоохранных мероприятий компаниями – производителями никеля, ограничены и преимущественно могут быть реализованы за счет внедрения новых способов производства и расширения номенклатуры выпускаемой продукции, прежде всего с высокой добавленной стоимостью. Оба варианта связаны с технологическими и экономическими рисками и требуют значительных капитальных затрат, срок окупаемости которых весьма высок.

Усовершенствования «на конце трубы» в большинстве случаев приводят к увеличению эксплуатационных расходов и не дают такого повышения эффективности производственного процесса, которое может быть получено в результате внедрения мер, интегрированных в технологический процесс производства продукции. Это также свидетельствует в пользу выбора проектов коренной модернизации производственного процесса при определении мер, направленных на сокращение эмиссий загрязняющих веществ в окружающую среду. Причём при ранжировании мотиваций последние находятся в подчинённом положении. Вместе с тем такой подход связан со значительными капитальными вложениями и иными потерями ввиду необходимости временной остановки производства и перестройки производственного процесса в целом, что обусловливает снижение привлекательности полномасштабной модернизации производства при неблагоприятной рыночной конъюнктуре.

Собственный экономический потенциал природоохранных мероприятий, таких как, например, внедрение малоотходных технологий, производство побочной продукции и (или) полезное использование образующихся в основном производственном процессе отходов, в российских условиях следует признать скорее незначительным. С одной стороны, природоохранные технологии во многих случаях характеризуются высокой энергоёмкостью, а поддержание оборудования в функциональном состоянии требует регулярных затрат на расходные материалы и комплектующие и иных эксплуатационных затрат; в некоторых случаях при производстве побочной продукции, такой, например, как серная кислота, значительные издержки могут возникать и в связи с необходимостью хранения и транспортировки агрессивного вещества. С другой стороны, низкая ёмкость российских рынков и территориальная удалённость от них никелевых предприятий не обеспечивают вывод «побочных» производств на экономически эффективный уровень и не смогут гарантировать устойчивое потребление продукции вновь вводимых производственных мощностей, а потенциал выхода на внешние рынки ограничен и малоперспективен с экономической точки зрения.

Таким образом, наибольшим потенциалом с точки зрения возмещения затрат, понесённых в связи с внедрением на предприятии новых природоохранных методов и технологий, обладают комплексные меры, увязывающие экологическую модернизацию производства с перенастройкой производственного процесса в целом, оптимизацией отдельных его звеньев и расширением номенклатуры выпускаемой продукции, в том числе с высокой добавленной стоимостью.

Раздел 6. Перспективные технологии при производстве никеля и кобальта

6.1. Технология двухзонной печи Ванюкова

«Процесс плавки в жидкой ванне» (переименованный после смерти его создателя, профессора Андрея Владимировича Ванюкова, в «Процесс Ванюкова») является конкурентноспособной разновидностью существующих в мире автогенных процессов плавки сульфидного сырья, таких как взвешенная плавка Outokumpu, процессы Ausmelt и Isasmelt, кислородно-взвешенная плавка Inco, Mitsubishi, Noranda, Teniente и др.

Схематическое изображение однозонной печи Ванюкова представлено на рис. 6.1.

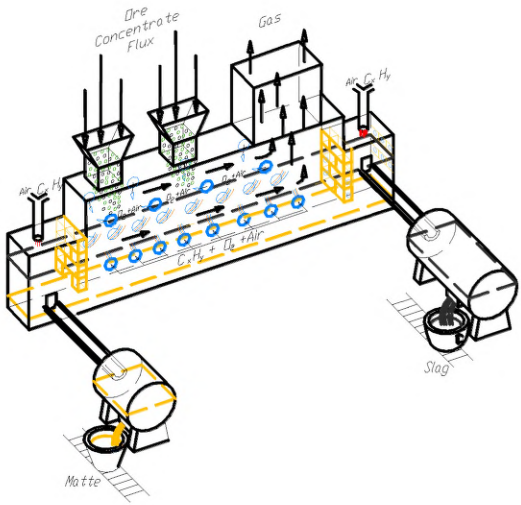


Рисунок 6.1 – Схематическое изображение однозонной печи Ванюкова

Однозонная печь состоит из плавильной камеры, аптейка, штейнового и шлакового сифонов. В плавильную камеру через отверстия в своде печи подаётся шихта, состоящая из концентрата (руды) и флюса. При необходимости в шихту может добавляться уголь с целью улучшения теплового баланса печи и восстановления магнетита. Через фурмы нижнего ряда, находящиеся в шлаковом слое печи, подаётся кислородно-воздушная смесь. При необходимости, для поддержания теплового баланса печи, через фурмы нижнего ряда может дополнительно подаваться углеводородное топливо. В настоящее время в действующих печах Ванюкова в качестве такого топлива используется природный газ. В процессе взаимодействия шихты и дутья в надфурменной зоне образуется шлако-штейновая эмульсия. Она разделяется в подфурменной зоне на шлак и штейн, которые движутся в печи в противоположных направлениях. Из сифонов шлак и штейн поступают в миксеры, откуда они сливаются в ковши по мере требований даль-

нейшего производства. Отходящие концентрированные по SO_2 газы дожигаются в плавильной камере с помощью воздушно-кислородной смеси, подаваемой через верхний ряд фурм, расположенных над расплавом шлака.

Дожигание газов производят в случае необходимости. Цель дожигания – не допустить попадания в газоходную систему газов с высокой концентрацией S_2. Сифоны служат для отстаивания расплавов, после чего шлак и штейн по желобам перетекает в миксеры. Для поддержания температуры продуктов плавки в сифонах и миксерах используют горелки, работающие на газообразном или жидком углеводородном топливе (природный газ, пропан-бутан, мазут и пр.). В конструкции миксеров печей Ванюкова Балхашского горно-металлургического комбината вместо горелок используется электроподогрев с помощью графитированных электродов (площадь пода одного миксера – 50,5 м^2, мощность трансформатора – 9 МВт).

Технология плавки сульфидных концентратов в печах Ванюкова имеет следующие достоинства:

– высокую удельную производительность печи;

– возможность использования дутья с высокой концентрацией кислорода (до 95 %);

– достижение состояния, близкого к равновесию между шлаком и штейном, что обеспечивает высокое извлечение ценных компонентов;

– непрерывность процесса и поддержание постоянного уровня в печи шлака и штейна за счёт использования сифонов.

Печь Ванюкова может быть размещена в действующих производственных помещениях, так как занимает небольшую площадь и не требует значительной высоты здания.

Процесс Ванюкова постоянно улучшается, как в направлении повышения технико-экономических показателей, так и в плане совершенствования конструкции металлургических агрегатов. Наиболее важным шагом в совершенствовании плавки Ванюкова в последние годы является разработка двухзонных печей Ванюкова, конструктивные разновидности которой разработаны в институтах МИСиС [34; 35] и Гипроникель [36-38].

В 2004–2008 годах на комбинате Южуралникель ОАО «Стальная группа Мечел» была опробована промышленная двухзонная печь Ванюкова (площадь пода – 26 м^2) для плавки окисленных никелевых руд с получением штейна [34; 35]. Положительный итог освоения новой технологии, проводившегося под научным руководством профессора МИСиС В. П. Быстрова, был окончательно подтверждён тестовыми испытаниями в 2008 году [35], показавшими преимущества данной технологии по сравнению с существующей на комбинате шахтной плавкой. Важным положительным моментом этих испытаний является также то, что в промышленном масштабе была показана возможность успешного использования печи Ванюкова для плавки окисленного сырья, что открывает перед этим процессом новые перспективы.

На комбинате «Североникель» ПАО «ГМК «Норильский Никель» в 2005 году была построена и в течение 2005–2006 годов эксплуатировалась опытно-промышленная двухзонная печь Ванюкова площадью пода 11,4 м^2 и производительностью до 15 т/час

по перерабатываемому сырью. Проект выполнен ООО «Институт Гипроникель». В процессе испытаний были успешно отработаны следующие технологии:

– переработка богатой сульфидной медной руды рудника «Октябрьский» Норильского комбината ПАО «ГМК “Норильский Никель”» (% масс.: Cu – 17,1; Ni – 3,1; Co – 0,079; Fe – 34,0; S – 26,5; SiO_2 – 8,5) с получением богатых штейнов и отвальных шлаков [36];

– переработка никелевого сульфидного рудного концентрата ОАО «Кольская ГМК» (% масс.: Ni – 8,3; Cu – 4,6; Co – 0,25; Fe – 30,3; S – 20,5; SiO_2 – 15,4; CaO – 1,6; Al_2O_3 – 1,3; MgO – 10,0) с получением богатых штейнов и отвальных шлаков [38]:

– переработка медного никельсодержащего концентрата от разделения файнштейна комбината Североникель ОАО «Кольская ГМК» (% масс.: Cu – 67,5; Ni – 3,8; Co – 0,24; Fe – 4,5; S – 21,2) с получением черновой меди и жидкотекучих никелевых шлаков [37].

На основании выполненных опытно-промышленных испытаний для промышленной реализации процесса переработки сульфидных концентратов с получением богатых штейнов и отвальных шлаков предложена двухзонная печь, схематически изображённая на рис. 6.2.

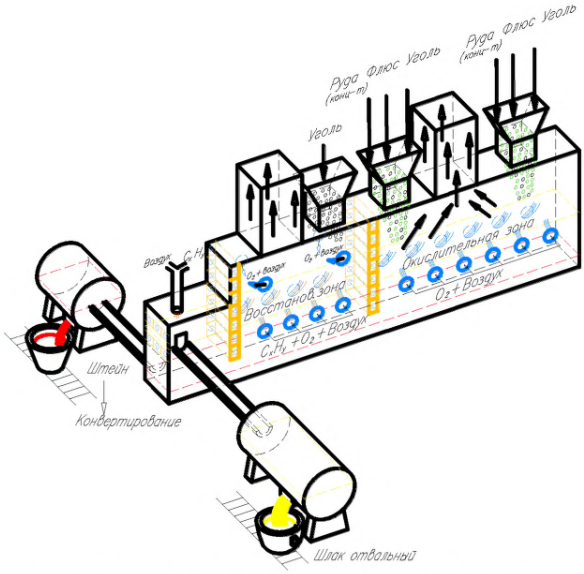


Рисунок 6.2 – Схематическое изображение двухзонной промышленной печи Ванюкова

Конструктивно двухзонная печь для плавки медных и медно-никелевых руд и концентратов состоит из окислительной зоны, восстановительной зоны и совмещённого сифона, предназначенного для выпуска как штейна, так и отвального шлака. Рабочие пространства зон печи разделены водоохлаждаемыми перегородками; системы газоудале-

ния – раздельные. Концентрированные по SO_2, газы окислительной зоны могут быть использованы для производства серной кислоты, элементной серы или жидкого диоксида серы. Газы восстановительной зоны, содержащие CO и H_2, дожигаются кислородно-воздушной смесью через специально установленные в верхнем ряду кессонов фурмы, очищаются от пыли и выбрасываются в атмосферу. Сифон печи оригинальной конструкции предусматривает возможность непрерывного выпуска шлака и штейна.

Процесс переработки сульфидного сырья в двухзонной печи Ванюкова может быть представлен следующим образом. В окислительную зону печи подаются совместно сульфидное сырье, флюс и уголь. Через фурмы подаются кислородно-воздушная смесь и газообразное (пр. газ, пропан-бутан генераторный газ) или жидкое (мазут, солярка) топливо. Использование газообразного (жидкого) топлива и/или угля необходимо в случае дефицита тепла, образующегося в результате окисления сульфидов. Шлак окислительной зоны поступает в восстановительную зону печи, где ведётся его восстановление газовой смесью, образующейся в результате сжигания газообразного или жидкого топлива в условиях дефицита кислорода, и углём. Образующийся в процессе восстановления металлический сплав смешивается со штейном, полученным в зоне окисления, и выпускается через сифон из печи. Шлак восстановительной зоны также поступает в сифон, откуда происходит его непрерывный слив через порог, расположенный на уровне ~ 2200 мм от пода печи. С обеих сторон сифона расположены миксеры, где накапливаются конечные продукты плавки: штейн и отвальный шлак.

Основные преимущества двухзонных печей Ванюкова:

– возможность увеличения качества штейна по содержанию цветных металлов без роста их потерь со шлаком (как следствие обеднения последнего во второй зоне);

– перевод большего количества серы в концентрированные по SO_2 газы, снижение затрат на её утилизацию;

– растворение образующейся при обеднении металлической фазы в штейне окислительной зоны с сохранением сравнительно невысокой температуры плавления последнего; при проведении обеднения в отдельной печи с получением тугоплавкого металлического сплава необходимо либо поддерживать в ней высокую температуру, либо подавать в печь сульфидизатор и в дальнейшем утилизовать бедные по SO_2 газы;

– высокая производительность процесса обеднения шлака, что в сочетании с высокой производительностью окислительной плавки сульфидного сырья позволяет размещать два пирометаллургических передела на ограниченной площади.

Перспективность перехода от технологии обеднения шлаков в электропечах переменного тока или электроотстойниках (недостатки такого обеднения хорошо известны) к технологии барботажного обеднения шлаков подтверждается мировыми тенденциями в совершенствовании процесса обеднения шлаковых расплавов. В настоящее время одним из основных направлений в технологии обеднения шлаков является создание процессов, основанных на продувке шлаковых расплавов восстановительными газовыми смесями, образующимися при разложении жидкого или газообразного топлива или продуктами их сжигания при недостатке кислорода.

В табл. 6.1 представлено сравнение результатов работы опытно-промышленной двухзонной ПВ с технологией плавки обожжённых никелевых концентратов с повышенным содержанием MgO в рудно-термических печах.

Таблица 6.1 – Распределение цветных металлов в рудно-термической печи в сравнении с двухзонной печью Ванюкова

Технологический процесс	Тип Печи	Содержание в штейне/шлаке, %			Сумма ЦМ в штейне, %
		Cu	Ni	Co	Σ(Cu+Ni+Co)
Переработка никелевых концентратов	Рудно-термическая плавка	10,5/0,10	18,9/0,18	0,74/0,09	30,0
	Двухзонная ПВ	25,5/0,28	42,3/0,20	0,87/0,07	69,0

Видно, что при переработке никелевого сырья качество штейна увеличилось более чем в 2 раза; при этом заметное увеличение концентрации в отвальном шлаке наблюдается только для меди. Для никеля содержание на том же уровне, а для кобальта наблюдается даже снижение потерь.

Таким образом, двузонная печь Ванюкова является не механическим сочетанием двух металлургических агрегатов, а единым технологическим комплексом, имеющим общую штейновую (металлическую ванну). Оригинальная конструкция печи, создающая крайне ограниченное взаимодействие между конечным продуктом плавки и обеднённым шлаком, позволяет добиться высокого извлечения цветных и драгоценных металлов.

6.2. Усовершенствование технологии гидрометаллургического обогащения бедного никель-пирротинового концентрата

В мировой практике все медно-никелевые рудные концентраты, содержащие платиновые металлы, за исключением гидрометаллургического производства Надеждинского металлургического завода (ГМП НМЗ) ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», перерабатываются по классической пирометаллургической технологии. Переработка рудных пентландит-пирротиновых концентратов в Норильске по автоклавной технологии связана с выделением на стадии обогащения относительно бедного продукта, переработка которого по пирометаллургической технологии не оправдана.

Используемая в настоящее время в ГМП НМЗ технология гидрометаллургического обогащения имеет потенциал для развития.

Применяемые для окисления пульпы пирротинового концентрата условия, с одной стороны, обеспечивают решение поставленной задачи – получение пригодного для пирометаллургической переработки сульфидного медно-никелевого концентрата, с другой – не позволяют снизить высокие потери с отвальными хвостами цветных и в особенности драгоценных металлов, что негативно сказывается на её рентабельности. Этот факт, а также отсутствие в мире других подобных производств связаны с тем, что

до настоящего момента не было готовых к промышленной реализации гидрометаллургических технологий, обеспечивающих низкие потери платиновых металлов, соизмеримые с достигаемыми на действующих пирометаллургических предприятиях.

Высокие потери ценных компонентов в действующей технологии гидрометаллургического обогащения во многом обусловлены свойствами формирующихся при автоклавном выщелачивании гидратных форм железа, обладающих развитой поверхностью и, соответственно, высокой сорбционной способностью по отношению к драгоценным металлам. Кроме того, оксиды железа формируют плёнки на поверхности недоразложенных на АОВ сульфидов, что препятствует полноте их извлечения на стадии серо-сульфидной флотации. Ещё одной причиной потерь ценных компонентов является использование в действующей технологии ПАВ – ЛСТ, что неизбежно при ведении процесса в режиме ВТВ. Отказ от использования ПАВ при АОВ возможен только в случае перехода на режим окисления при температурах ниже точки плавления серы (НТВ), но при этом необходимо изменить и другие параметры таким образом, чтобы не происходило снижение производительности оборудования.

С учётом всех этих обстоятельств в ООО «Институт Гипроникель» разрабатываются технологические приёмы, позволяющие многократно снизить потери ценных компонентов, в том числе и платиновых металлов, при гидрометаллургической переработке никель-пирротинового сырья. В основе предложенных решений лежит создание условий, обеспечивающих формирование на стадии автоклавного окислительного выщелачивания крупнокристаллических частиц окисленных железистых фаз с пониженной по отношению к цветным и драгоценным металлам сорбционной способностью – например, натроярозита (пат. RU № 2573306, RU № 2626257).

Результаты проведённых экспериментов, обзор научно-технической литературы и анализ действующей технологии гидрометаллургического обогащения показали, что разработанные ООО «Институт Гипроникель» технические решения весьма конкурентоспособны по сравнению как с действующим производством, так и с ближайшим аналогом – Activox-процессом (табл. 6.2). Более того, они показали свою эффективность для переработки концентратов широкого диапазона составов – от бедных по цветным и благородным металлам до весьма богатых (табл. 6.3).

Таблица 6.2 – Сравнение показателей действующей технологической схемы, Activox-процесса и перспективной технологии

Технология	Извлечение в концентрат флотации, %		
	Ni	Cu	□МПГ
Действующая	94	91	52
Activox	94	87	72
Перспективная	98	93	93

Таблица 6.3 – Показатели извлечения цветных и драгоценных металлов по перспективной технологии

Состав сырья				Извлечение в концентрат флотации, %			
Ni, %	Cu, %	МПГ, г/т	Pt+Pd+Rh, г/т	Ni	Cu	МПГ	Pt+Pd+Rh
0,7	0,05	2,1	1,8	98,2	68,3	82,3	86,3
1,1	0,20	4,0	3,8	98,2	94,2	88,5	92,5
1,3	0,20	4,3	4,1	98,2	93,2	93,2	95,7
8,7	0,40	26,5	26,2	99,2	93,0	94,2	94,5
3,4	7,40	33,7	33,3	97,7	98,8	95,3	96,1
3,9	2,80	38,2	37,8	94,9	96,9	96,9	97,2

При этом в зависимости от состава поступающего в переработку сырья возможна различная организация схемы переработки растворов автоклавного выщелачивания (рис. 6.3). В обоих случаях обеспечиваются высокие показатели извлечения всех ценных компонентов.

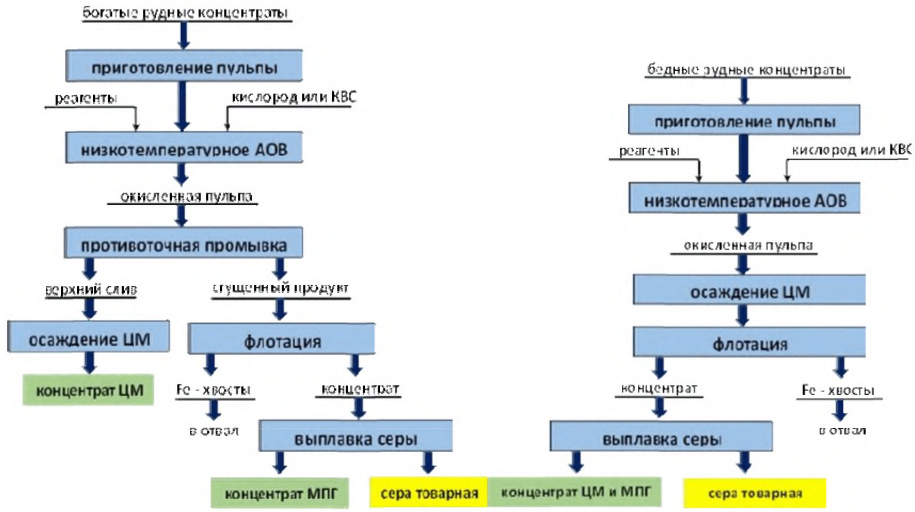


Рисунок 6.3 – Варианты организации технологических схем для богатого (а) и бедного (б) сырья

6.3. Производство никеля электроэкстракцией рафинированием ПНТП

На сегодняшний день в мировой практике получения товарного катодного никеля повсеместно используется процесс электроэкстракции из сульфатных или хлоридных растворов.

По сравнению с электрорафинированием черновых металлических или сульфидных анодов процесс получения никеля методом электроэкстракции имеет следующие преимущества:

– ликвидация затрат на производство промежуточных продуктов, а именно черновых анодов;

– ликвидация определяющихся наличием анодного скрапа оборотов;

– существенное упрощение обслуживания электролизных ванн (обработка анодов и скрапа, чистка ванн с выделением и переработкой шлама);

– возможности более полной механизации и внедрения дополнительных, более совершенных систем контроля процессов рафинирования;

– возможности использования более современного основного оборудования;

– существенное сокращение незавершённого производства (срок растворения черновых анодов составляет приблизительно 30 суток, кроме того, оно увеличивается за счёт наличия оборотного скрапа).

В отечественной практике получения катодного никеля по состоянию на сегодняшний день электроэкстракция имеет ограниченное применение, а хлорное растворение выступает как вспомогательный процесс для восполнения дефицита никеля и переработки оборотных полупродуктов. Однако в ближайшее время планируется полный перевод схемы производства катодного никеля на электроэкстракцию.

Перспективная технологическая схема включает в себя:

– последовательный окислительный и восстановительный обжиг никелевого концентрата флотации файнштейна с получением порошка никелевого трубчатых печей (ПНТП);

– хлорное выщелачивание ПНТП;

– грубую медеочистку раствора;

– экстракционную цинкоочистку;

– гидролитическую железоочистку;

– тонкую медеочистку;

– двухстадиальную гидролитическую кобальтоочистку.

Очищенный богатый никелевый раствор разбавляется оборотным дехлорированным анолитом ванн электроэкстракции, объединяется с переливом католита из ванн электроэкстракции и в качестве католита питания направляется в напорные баки электролизного отделения для дальнейшей подачи в ванны электроэкстракции.

Первичные железистый и кобальтовый кеки подвергаются дальнейшей переработке с получением отвального железистого кека и катодного кобальта, соответственно. Остаток хлорного растворения направляется на извлечение драгоценных металлов.

Принятая для развития рафинировочных мощностей ПАО «ГМК «Норильский никель» концепция постепенного перехода от способа рафинирования черновых анодов к способу рафинирования ПНТП с использованием хлоридных сред решение обеспечивает постепенный переход к новой технологии с минимальными капитальными затратами и без остановки основного производства. Это объясняется близостью существующих и требуемых операций очистки никелевых растворов и возможностью использования действующего оборудования, включая основное оборудование очистных отделений и существующих электролизных ванн.

Дополнительный бонус может быть получен при организации обособленной переработки хлорным выщелачиванием магнитной фракции от разделения файнштейна. Тогда эта, коллектирующая в себя основную массу драгоценных металлов, фракция перерабатывается хлорным выщелачиванием, минуя операции окислительного и восстановительного обжига. Кроме того, богатый драгоценными металлами остаток её выщелачивания может быть переработан до концентратов драгоценных металлов по короткой цепочке. Тем самым сокращаются передельные затраты и общие потери драгоценных металлов.

Дополнительное использование экзотермических реакций хлорирования исходного сырья для подупарки растворов непосредственно на операции хлорирования открывает принципиальную возможность безреагентной экстракционной очистки от кобальта, которая становится целесообразной после разработки эффективного не гидролитического способа очистки никелевого раствора от свинца и марганца. Внедрение экстракционной очистки от кобальта позволит существенно сократить расход основного реагента – соды, одновременно значительно упростить новое кобальтовое производство, ликвидируя в нем основные головные переделы, и пропорционально сокращению расхода соды сократить количество направляемых на утилизацию солевых стоков.

Перечисленные мероприятия и потенциальные пути дальнейшего усовершенствования технологии иллюстрируют преимущества предлагаемого способа рафинирования никеля.

6.4. Производство никеля электроэкстракцией растворов выщелачивания никелевого концентрата от разделения файнштейна

Дальнейшим развитием технологии производства никеля электроэкстракцией из растворов от выщелачивания промпродуктов переработки медно-никелевого файнштейна российских предприятий является переход от рафинирования ПНТП (см. п. 6.3) к рафинированию никелевого концентрата флотации файнштейна. В этом случае дополнительно ликвидируются связанные с потерями затратные и экологически не совершенные переделы окислительного и восстановительного обжига. Присутствующая в никелевом концентрате сера не отгоняется в газовую фазу, а практически полностью сохраняется в остатке выщелачивания, переходя в элементарную.

Упрощённо процесс переработки никелевого концентрата методом хлорного выщелачивания можно представить состоящим из трёх блоков: блока выщелачивания и медеочистки, блока получения продукционного никелевого раствора и блока электроэкстракции.

В свою очередь, блок выщелачивания и медеочистки состоит из трёх стадий. На первой стадии проводят хлорное выщелачивание НК и оборотного медного кека, на второй стадии – очистку никелевого раствора от меди никелевым концентратом с получением оборотного медного кека, на третьей стадии – выведение меди в виде сульфидного медного продукта из технологической схемы для сохранения баланса по меди.

В результате процесса хлорного выщелачивания цветные металлы и железо переходят в раствор, а в твёрдой фазе, содержащей до 85–90 % элементной серы, концентрируются платиновые металлы. Пульпу после хлорного выщелачивания филь-

труют, никелевый раствор направляют на выделение медного продукта из технологической схемы и на стадию медеочистки. Влажный кек после отмывки от хлор-иона направляют на получение концентрата платиновых металлов.

На стадии медеочистки раствора происходит гидротермальное осаждение меди никелевыми сульфидами и присутствующим в никелевом концентрате металлическим никелем.

Пульпу медеочистки фильтруют, никелевый раствор подают на контрольную фильтрацию, после чего его направляют на железоочистку, влажный кек – на стадию приготовления пульпы ХВ.

Выделение меди из технологической схемы может быть организовано различными способами с получением металлизированного либо сульфидного медистого полупродукта.

Очистка никелевого раствора от примесей может быть также организована различно. Кроме очистки от меди, она включает в себя стадии гидролитической железоочистки, экстракционную либо гидролитическую кобальтоочистку. В варианте сохранения гидролитической кобальтоочистки очистка от свинца и марганца сохраняется в кобальтовом производстве. Условия безреагентной экстракционной кобальтоочистки и её преимущества описаны в разделе 6.2.

Очищенный раствор поступает в электролизёры в качестве католита для производства товарного никеля.

По сравнению с процессом рафинирования ПНТП переработка никелевого концентрата флотации файнштейна сопряжена с рядом трудностей, главными из которых являются организация рациональной многостадийной очистки и необходимость переработки остатка хлорного выщелачивания на основе элементарной серы с получением концентрата драгметаллов.

Организация производства, аналогичного получению серы при переработке никель-пирротинового концентрата, в данном случае представляется не самым лучшим решением ввиду громоздкости, создающей предпосылки к повышенным потерям платиновых металлов. В то же время фильтрация расплавленной серы представляется весьма перспективной и интересной. В настоящее время проводятся исследования по выбору наиболее эффективного варианта удаления серы из остатков хлорного выщелачивания сульфидных полупродуктов.

В варианте рафинирования никелевого концентрата, также как в варианте рафинирования ПНТП, сохраняется актуальность обособленной переработки металлизированной фракции файнштейна. В этом случае дополнительный экономический эффект возникает за счёт сокращения количества операций и потерь в ходе переработки остатка выщелачивания металлизированной фракции до концентрата драгоценных металлов. Кроме того, в этом варианте остаток выщелачивания бедного драгоценными металлами никелевого концентрата может быть переработан в медном производстве.

6.5. Технология производства карбонильного никеля с использованием синтеза среднего давления

За рубежом синтез ТКН реализуют при атмосферном и среднем давлении. В отечественной металлургии карбонилирование осуществляют в колоннах высокого давления, карбонильное производство России не превышает 5600 т/год.

В табл. 6.4 проведено сравнение эффективности работы промышленных реакторов синтеза. На мировом рынке карбонильного никеля доминирующее положение занимает компания VALE, выпускающая до 104 000 т/год продукции, из них 54 400 т/год – по технологии синтеза среднего давления (Коппер-Клифф, Канада). Синтез ТКН осуществляется на трёх горизонтально-вращающихся реакторах. Реакторы рассчитаны на рабочее давление 70,2 атм. и температуру 175°С. Диаметр реактора – 3,65 м, длина – 20,4 м. Реакторы работают в периодическом режиме: 28 часов – синтез, 14 часов – перезагрузка. Общее время одной операции – 42 часа. Выбранный режим обеспечивает равномерное потребление оксида углерода, так как в работе постоянно находятся два реактора, а третий перезагружается. Реакторы изготовлены из углеродистой стали, толщина стенки – 127 мм. Внутренний объем реакторов разделён на две камеры. В первой камере длиной 13,4 м происходит непосредственно карбонилирование сырья. Камера охлаждается водой. Вторая камера длиной 7 м, по-видимому, является пылеулавливающим устройством с установленными фильтрами.

Исходным сырьём для карбонилирования является материал, в основе которого находится магнитная фракция файнштейна, шихтуемая шламами электролиза и платиносодержащей вторичкой. Материал подвергается плавке в вертикальных конверторах с последующей грануляцией расплава. Гранулированный материал имеет состав %, мас.: Ni – 72,0; Cu – 18,0; Fe – 3,0; Co –1,0; S – 5,0; C<0,1; остальное примеси. Насыпная плотность исходного сырья – 4,0 т/м^3. На одну операцию в каждый из реакторов загружается примерно 136 т сырья. Общий вес реактора с загрузкой – 500 т.

Твёрдые остатки синтеза обезвреживаются смесью азота и кислорода. Содержание кислорода в газовой смеси составляет 8–10 %, об. Химический состав остатков синтеза %, масс.: Ni – 7,0; Cu – 59,0; Fe – 8,0; Co – 4,0; S – 17,0. Извлечение никеля составляет не менее 95 %, железа – не более 30 %, Co – не свыше 1 %. Остатки синтеза поступают на дальнейшую переработку.

Высокая производительность процесса синтеза ТКН достигается при использовании горизонтально-вращающихся реакторов. Причина, обуславливающая резкий рост скорости реакции синтеза во вращающихся реакторах по сравнению с карбонилированием в стационарных колоннах, заключается в организации эффективного отвода тепла реакции из движущегося слоя карбонилируемого сырья. При этом избыток тепла в горизонтально-вращающихся реакторах утилизируется встроенными холодильниками, что намного эффективнее снятия тепла циркулирующим потоком моноксида углерода, как это осуществляется в колоннах высокого давления. Увеличение скорости циркуляции оксида углерода в синтезе высокого давления до 250 нм^3/т·час по сравнению со скоростью циркуляции в синтезе среднего давления 77 нм^3/т·час не приводит к сокращению времени карбонилирования.

Таблица 6.4 – Сравнение эффективности работы промышленных реакторов синтеза в мировом производстве карбонила никеля и железа

Страна	Производительность синтеза (т/год)	Параметры синтеза		Состав исходного сырья, % мас.					Скорость циркуляции CO, нм^3/т·час	Извлечение,%			Продолжительность синтеза (час)	Количество и тип реакторов
		Давление (ати)	Температура (^{0}C)	Ni	Fe	Co	Cu	S		Ni	Fe	Co		
Синтез ТКН атмосферного давления														
Англия	50 000	1	50	95	0,6	1,2	3,1	0,5 (+2)	16	92	-	-	96	2 шт. горизонтально-вращающихся реакторов
Китай	1 500	1	50	93	1,2	2,0	3,5	0,2 (+2,5)	нет данных				120	Количество – нет данных, горизонтально-вращающийся
Синтез ТКН среднего давления														
Канада	54 400	70	180	72	3	1	18	5	77	96	30	1	28	3 шт. горизонтально-вращающихся реактора
Синтез ТКН высокого давления														
Россия	5 500	200	200	85	3,7	2,2	5,1	2,5	250	96	75	1	72	12 шт. стационарных колонн
Синтез ПКЖ среднего давления														
Германия	25 000	75	190	-	93	нет данных							58	Количество – нет данных, горизонтально-вращающийся
Синтез ПКЖ высокого давления														
Россия	3 000	150	200	-	95	-	-	-	450	-	70	-	96	4 шт. стационарные колонны

Продолжительность процесса при высоком давлении составляет 72 часа, что в 2,5 раза больше, чем при среднем. При этом условия карбонилирования при 250 атм. более «жёсткие», чем при 70 атм. Таким образом, для организации высокопроизводительного синтеза ТКН необходимо обеспечить интенсивный отвод тепла из зоны реакции. При движении и интенсивном перемешивании загруженного сырья во вращающихся реакторах коэффициент теплопередачи от встроенных холодильников значительно выше теплосъёма циркулирующим газом через неподвижный слой материала. Съём тепла обеспечивает выигрыш в скорости синтеза в движущемся слое материала. В неподвижном слое карбонилируемого материала требуемый отвод тепла достигается при значительно более высоких скоростях циркуляции моноксида углерода, с чем связаны дополнительные энергетические затраты и значительные технические трудности в продувке больших газовых потоков.

В существующем в России карбонил-процессе высокого давления наиболее дорогостоящим и энергоёмким переделом является синтез карбонила никеля. Анализ результатов промышленной эксплуатации карбонил-процесса показывает, что производство с использованием синтеза высокого давления не эффективно. Основными причинами, ограничивающими производительность синтеза высокого давления, являются:

– низкие скорости карбонилирования, обусловленные недостаточным отводом тепла реакции в колоннах синтеза;

– несовершенство операции по загрузке и разгрузке реакционных колонн;

–высокая стоимость оборудования на давление 150 кгс/см^2;

– большие энергетические затраты на компримирование реакционного газа;

– значительные капиталовложения, в том числе на соблюдение экологической безопасности.

Одним из перспективных направлений увеличения производительности карбонил-процесса является переход на синтез карбонила никеля при средних давлениях реакционного газа до 70 кгс/см^2 с использованием горизонтально-вращающихся реакторов. Такой переход позволит повысить производительность отделения синтеза на существующих промышленных площадях в результате:

– использования принципиально новой конструкции реактора синтеза, обеспечивающего высокую скорость извлечения никеля за счёт утилизации тепла реакции, быструю загрузку исходного сырья и выгрузку твёрдых остатков синтеза;

– увеличения избирательности процесса карбонилирования при снижении давления и сохранения железа в твёрдых остатках синтеза на 50–70 %, кобальта – 98–99 %.

Заключительные положения и рекомендации

Обзор научно-технической литературы и анализ работы действующих предприятий показал многообразие способов производства товарных никелевых продуктов, в том числе и различных форм рафинированного никеля. Каждый из способов включает в себя множество взаимосвязанных производств, состоящих из отдельных переделов, в свою очередь объединяющих последовательность отдельных операции.

Особенности сырья различных месторождений, экономические и инфраструктурные особенности региона обусловливают применение различных способов для переработки однотипного сырья. Практически не существует полностью совпадающих по способу и аппаратурному его оформлению рафинировочных предприятий.

Следует отметить, что настоящий справочник НДТ включает в себя только типовые многотоннажные способы производства и не упоминает отдельные уникальные или пилотные проекты, которые непрерывно создаются и эксплуатируются, как правило, ограниченное время.

Действующие производства никеля также непрерывно совершенствуются, что объясняется не только разнообразием вовлекаемых в производство руд и концентратов, но и прежде всего конкуренцией производителей на мировом никелевом рынке.

Совершенствование действующих и создание новых способов производства никеля определяются существующим уровнем техники и требуют значительных инвестиций, часто сопряженных с высокими рисками. При прочих равных условиях, основные критерии успешной производственной деятельности имеют исключительно экономическую основу. Эти критерии, в свою очередь, являются интегральными характеристиками совокупности различных обычно разнонаправленных технологических факторов, в том числе и факторов ресурсо- и энергоэффективности, а также экологической безопасности производства.

Мировая практика показывает, что любой соответствующий достигнутому уровню науки и техники способ производства никеля может быть доступен, но наилучшие способы производства оказываются совершенно различны и могут быть определены только с помощью учитывающих возможные риски экономических расчётов в привязке к конкретным условиям предполагаемого производства.

Справочник НДТ «Производство никеля и кобальта» подготовлен в соответствии с распоряжением от 30 апреля 2019 г. № 866-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям», и правилами определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утверждёнными постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458.

При подготовке настоящего справочника НДТ в максимально возможной степени были учтены положения окончательного проекта второй редакции справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям для предприятий цветной металлургии (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries, final draft, October 2014), включая краткие описания (заключения) по НДТ.

Состав ТРГ 12 «Производство никеля и кобальта» был утвержден приказом Министерства промышленности и торговли от 2 июля 2019 г. № 2343 «О создании технической рабочей группы «Производство никеля и кобальта».

№ п/п	ФИО	Организация
1.	Боравский Борис Вячеславович	ООО «Инновационный экологический фонд»
2.	Ванукевич Екатерина Владимировна	Минприроды России
3.	Гришаев Сергей Иванович	Минпромторг России
4.	Данченко Эдуард Викторович	Научно-техническое управление ЗФ ПАО «ГМК» Норильский никель»
5.	Дубровский Вадим Львович	АО «Кольская ГМК»
6.	Дьяков Максим Сергеевич	ФГБУ УралНИИ «Экология»
7.	Жуков Владислав Владимирович	НП «Национальный Центр Эколого-Эпидемиологической Безопасности»
8.	Костылева Наталья Валерьевна	ФГБУ УралНИИ «Экология»
9.	Крупнов Леонид Владимирович	Научно-техническое управление ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»
10.	Курбатов Евгений Александрович	АО «Кольская ГМК»
11.	Курошев Илья Сергеевич	ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»
12.	Макаров Александр Александрович	АО «ЭКАТ»
13.	Машкович Константин Игоревич	ПАО «ГМК «Норильский никель»
14.	Мещурова Татьяна Александровна	ФГБУ Урал НИИ «Экология»
15.	Олифина Ольга Васильевна	АО «НИИ Атмосфера»
16.	Ощепкова Анна Зальмановна	ФГБУ Урал НИИ «Экология»
17.	Париевский Евгений Владиславович	ПАО «ГМК «Норильский никель»
18.	Травкин Михаил Николаевич	ФГБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Центральному федеральному округу»
19.	Шарыгина Ирина Олеговна	АО «НИИ Атмосфера»

Также активное участие в работе над справочником НДТ приняли следующие специалисты:

Дамбровский Анатолий Анатольевич	АО «Кольская ГМК»
Курбатов Евгений Александрович	АО «Кольская ГМК»
Салахов Евгений Минбалиевич	АО «Кольская ГМК»
Салихова Елена Леонидовна	ПАО «ГМК «Норильский никель»
Попов Владимир Анатольевич	ООО «Институт Гипроникель»
Румянцев Денис Владимирович	ООО «Институт Гипроникель»

Публичное обсуждение проекта настоящего справочника НДТ было проведено на официальном сайте Бюро НДТ в срок с 27.09.2019 г. по 27.10.2019 г.

Замечания и комментарии были рассмотрены ТРГ 12 в рамках заседаний, по каждому из них вынесено решение о принятии или отклонении.

Экспертиза проекта справочника НДТ была проведена профильным техническим комитетом по стандартизации ТК 113 «Наилучшие доступные технологии».

При оценке используемых на российских предприятиях по производству никеля и кобальта методов/технологий и соответствующих им технологических показателей необходимо было собрать информацию об используемых методах, а также данные о текущих показателях экологической результативности, ресурсо- и энергоэффективности. Для сбора информации о применяемых на промышленных предприятиях технологических процессах, оборудовании, об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение загрязнения окружающей среды и повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, а также соответствующих технологических показателях были подготовлены и направлены для заполнения производителям меди специальные анкеты для предприятий.

Технологические показатели НДТ определялись на основе результатов обработки данных, представленных предприятиями при анкетировании и по специальным дополнительным запросам. Учитывалась также информация, содержащаяся в окончательном проекте второй редакции Справочника ЕС по НДТ для предприятий цветной металлургии, в отдельных научно-исследовательских работах, а также в других российских и зарубежных материалах, рассматривавшихся ТРГ 12.

Проведённый анализ представленных данных и информации позволил также сформулировать рекомендации относительно направлений дальнейшей работы над настоящим справочником НДТ и над процессом внедрения НДТ. К ним, прежде всего, относятся следующие:

1) предприятиям – производителям никеля рекомендуется целенаправленно накапливать информацию об уровнях эмиссий маркерных веществ, потреблении сырья и энергоресурсов, проведении модернизации основного и природоохранного оборудования, а также экономических аспектах внедрения НДТ;

2) для оценки экологических характеристик методов, интегрированных в производственные процессы, может оказаться полезным сбор конкретных данных и информации об используемом сырье, объёмах производства и удельных характеристиках;

3) для уточнения технологических показателей по выбросам металлов и их соединений необходимы подготовка описаний и сбор детальных данных по конкретным методам предупреждения и снижения выбросов этих веществ и по соответствующим им показателям;

4) при проведении модернизации технологического и природоохранного оборудования на предприятиях приоритетное внимание следует уделять повышению эффективности методов и технологий улавливания диоксида серы, вторичным и третичным методам улавливания неорганизованных выбросов неорганической пыли.

Приложение А
(обязательное)

Перечни маркерных веществ и технологических показателей

А.1. Перечень маркерных веществ

Для атмосферного воздуха	Для водных объектов (перечень может быть сокращён предприятием на основании анализа состава сточных вод)
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	Цинк
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	Никель
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	Кобальт
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого	Взвешенные вещества
Серы диоксид	pH
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	Медь
Серная кислота	Железо
Хлор	

А.2. Перечень технологических показателей

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Выбросы пыли и металлов от пирометаллургических процессов производства никеля, кобальта и меди (НДТ 12)		
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/нм^3	≤ 180,0
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчёте на свинец	мг/нм^3	≤ 7,0
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого	мг/нм^3	≤ 2,5
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/нм^3	≤ 150,0
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	мг/нм^3	≤600
Выбросы пыли и металлов от процессов сушки концентрата и шихтовых материалов (НДТ 13)		
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т концентрата	≤ 5,018
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т концентрата	≤ 0,3
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т концентрата	≤ 0,001
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5

Продолжение таблицы А.2.

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 200
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/м^3	≤ 30,0
Выбросы пыли и металлов от процессов плавки концентрата в ПВП (НДТ 14)		
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т штейна	≤ 0,7
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т штейна	≤ 0,025
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т штейна	≤ 0,0005
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 12
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 300
Выбросы пыли и металлов от процессов обеднения шлака ПВП в обеднительных электропечах (НДТ 15)		
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т штейна	≤ 3,0
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т штейна	≤ 0,01
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т штейна	≤ 0,003
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 12
Выбросы пыли и металлов от процесса конвертирования медно-никелевого штейна (НДТ 16)		
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т файнштейна	≤ 0,6
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т файнштейна	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т файнштейна	≤ 0,03
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 12
Выбросы пыли и металлов от процесса окислительного обжига сульфидного никелевого концентрата в печах кипящего слоя (НДТ 17)		
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т ПНТП	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т ПНТП	≤ 0,464
Выбросы пыли и металлов от анодной плавки (НДТ 18)		
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т анодов никелевых	≤ 17,279
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т анодов никелевых	≤ 0,0285
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т анодов никелевых	≤ 5,660

Окончание таблицы А.2.

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль и металлы в первичных и вторичных выбросах, образующихся при первичном и вторичном производстве медных анодов (НДТ 19)		
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	мг/нм^3	≤ 600
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого	мг/нм^3	≤ 1,0
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/нм^3	≤ 150,0
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/нм^3	≤ 2,0
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/нм^3	≤ 20,0
Выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы (НДТ 20)		
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 9400
Выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы (НДТ 21)		
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 9400
Выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы (НДТ 22)		
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 3500
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при производстве электролитного никеля методом электроэкстракции из НПТП (НДТ 23)		
Серная кислота	кг/т никеля электролитного	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т никеля электролитного	≤ 0,017
Хлор	кг/т никеля электролитного	≤ 0,095
Выбросы серной кислоты от процесса электролитического рафинирования, промывочной камеры машин для обдирки катодов и машины для промывки отработанных анодов в производстве меди (НДТ 23)		
Серная кислота	мг/м^3	≤ 10
Выбросы SO_2 от первичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов (после утилизации диоксида серы) (НДТ 24)		
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 35,0
Выбросы SO_2 от вторичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов (до утилизации диоксида серы) (НДТ 25)		
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 27,86
Выбросы SO_2 от вторичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд (после утилизации диоксида серы) (НДТ 25)		
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 2,79

Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ (НДТ 26-29)

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

Приложение Б
(обязательное)
Перечень НДТ

Номер НДТ	Наименование НДТ
НДТ 1	Повышение общей результативности природоохранной деятельности. Внедрение и поддержание системы экологического менеджмента (СЭМ), соответствующей требованиям ГОСТ Р ИСО 14001 или ISO 14001.
НДТ 2	Повышение эффективности использования энергии.
НДТ 3	Обеспечение стабильности производственного процесса. Внедрение системы автоматизированного контроля.
НДТ 4	Сокращение расхода реагентов за счёт внедрения новых процессов.
НДТ 5	Предотвращение или уменьшение неорганизованных выбросов пыли: разработка и реализация в качестве составной части СЭМ (см. НДТ 1) плана мероприятий по неорганизованным выбросам.
НДТ 6	Предотвращение или уменьшение неорганизованных эмиссий в воздух и водные объекты: организация местных систем аспирации, замена реагентов и материалов менее летучими и токсичными, ликвидация складов хранения токсичных реагентов и материалов или сокращение объёма их хранения и потребления за счёт улучшения логистики производства или изменения технологии производства.
НДТ 7	Уменьшение неорганизованных выбросов, образующихся при хранении сырья.
НДТ 8	Уменьшение неорганизованных эмиссий, образующихся при обработке и транспортировке сырья.
НДТ 9	Предупреждение или уменьшение неорганизованных выбросов: оптимизация параметров эффективности улавливания и очистки отходящих газов.
НДТ 10	Уменьшение неорганизованных выбросов при реализации гидрометаллургических процессов.
НДТ 11	Сокращение выбросов пыли и металлов. Поддержание в качестве составляющей СЭМ (см. НДТ 1) подсистемы, обеспечивающей эффективность эксплуатации систем пылеподавления и пылеулавливания.
НДТ 12	Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от пирометаллургических процессов производства никеля, кобальта и меди. Использование газоочистного оборудования, в т. ч. «сухих» и «мокрых» электрофильтров.
НДТ 13	Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процессов сушки концентрата и шихтовых материалов. Использование газоочистного оборудования.
НДТ 14	Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса плавки концентрата в ПВП. Использование газоочистного оборудования.
НДТ 15	Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса обеднения шлака ПВП в обеднительных электропечах. Использование газоочистного оборудования.
НДТ 16	Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса конвертирования медно-никелевого штейна. Использование газоочистного оборудования.

НДТ 17	Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса окислительного обжига сульфидного никелевого концентрата в печах кипящего слоя. Использование газоочистного оборудования.
НДТ 18	Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от анодной плавки (никель). Использование газоочистного оборудования.
НДТ 19	Сокращение выбросов пыли и металлов от первичного и вторичного производства медных анодов: использование одной или нескольких газоочистных установок.
НДТ 20	Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству элементарной серы.
НДТ 21	Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты.
НДТ 22	Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты с последующей нейтрализацией и получением отвального гипса.
НДТ 23	Снижение выброса в воздух кислых газов от гидрометаллургических операций.
НДТ 24	Снижение выбросов SO_2 при первичном производстве никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов: направление отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты, серы, жидкого диоксида серы или других продуктов утилизации диоксида серы с эффективностью не ниже 90% при условии соблюдения санитарных нормативов в селитебной зоне.
НДТ 25	Снижение выбросов SO_2 при вторичном производстве никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов: направление отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты, серы, жидкого диоксида серы или других продуктов утилизации диоксида серы с эффективностью не ниже 90%.
НДТ 26	Уменьшение неорганизованных сбросов в водные объекты.
НДТ 27	Предотвращение загрязнения почвы и подземных вод при эксплуатации хвостохранилищ.
НДТ 28	Предотвращение загрязнения почвы и подземных вод электролитом при производстве никеля, кобальта и меди.
НДТ 29	Предотвращение образования сточных вод.
НДТ 30	Очистка сточных вод, образующихся при производстве никеля, кобальта и меди с целью удаления металлов и сульфатов.
НДТ 31	Уменьшение количества отходов, направляемых на утилизацию при производстве никеля, кобальта и меди: организация обращения с отходами, промежуточными и побочными продуктами, способствующая их повторному использованию, а в случае невозможности – вторичной их переработке.

Приложение В
(обязательное)
Энергоэффективность

В.1. Краткая характеристика отрасли с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Основной тенденцией современной металлургии в области переработки высокосернистых концентратов является применение автогенных процессов. К наиболее распространённым относится технология и печь взвешенной плавки, разработанная и внедрённая в производство в конце 1940-х годов фирмой Outokumpu для плавки медных концентратов. Начиная с 1960-х годов этот процесс начал свое победоносное шествие по миру и на сегодняшний день реализован на многих предприятиях медной и никелевой подотраслей.

В.2. Основные технологические процессы, связанные с использование энергии

В автогенных процессах большая часть потребности в тепле удовлетворяется за счёт окисления железа и серы, содержащихся в концентрате, в результате чего расходы топлива или электричества малы. Производительность печей взвешенной плавки по сырью (в пересчёте на сухой вес) обычно составляет 100 – 150 т/час. В печах Outotec содержание кислорода в реакционном газе меняется от 30 – 40 об. % до 70 об. %; печи Inco (завод Copper Cliff) работают на кислородном дутье.

В.3. Уровни потребления

Информация об уровнях потребления энергии для основных технологических процессов приведена в разделе 1 (табл. 1.20 1.21, 1.22) и разделе 2 (табл. 2.23).

В.4. Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

НДТ 2. Повышение эффективности использования энергии: использование комбинации двух или более методов, приведённых в табл. В.1.

Таблица В.1

	Метод/оборудование	Применимость
1.	Система управления энергоэффективностью (например, в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 50001 [1] или ISO 50001 [1])	Общеприменим
2.	Оптимальное размещение взаимосвязанных производств, переделов и отдельного оборудования, обеспечивающее минимизацию материальных потоков	Общеприменимо при новом строительстве, изменении конфигурации существующих производств или реконструкции
3.	Использование избыточного тепла (например, пара, горячей воды или горячего воздуха), образующегося при реализации основных процессов	Применим для пирометаллургических процессов
4.	Регенеративные дожигающие устройства	Применим, когда требуется очистка выбросов от горючих загрязняющих веществ
5.	Подача на горелки воздуха, обогащённого кислородом, или чистого кислорода для уменьшения потребления энергии	Применим для пирометаллургических процессов

Окончание таблицы Г.1

6.	Низкотемпературная сушка концентратов и влажного сырья перед плавкой	Общеприменим
7.	Теплоизоляция объектов, функционирующих при высоких температурах, например трубопроводов пара и горячей воды	Общеприменим
8.	Использование высокоэффективных электродвигателей, оборудованных частотными преобразователями, для таких устройств как, например, вентиляторы	Общеприменим
9.	Использование горячих технологических газов от процессов плавления для нагревания подаваемых компонентов	Применим для пирометаллургических процессов
10.	Применение автогенных процессов плавки сырья	Применим для пирометаллургических процессов
11.	Использование тепла химических реакций для поддержания теплового баланса гидрометаллургических процессов	Применим при реализации окислительных процессов, сопровождающихся выделением тепла
1. Соответствие систем менеджмента указанным стандартам не означает её обязательную сертификацию.		

НТД 4. Сокращение расхода реагентов за счёт внедрения новых процессов, (табл. В.2).

Таблица В.2

	Метод/оборудование	Применимость
1.	Использование сульфата натрия или сульфата кальция в качестве флюсующих добавок для улучшения физико-химических свойств шлаков и снижения потерь цветных металлов	Применим для пирометаллургических процессов
2.	Замена гидролитического способа выделения кобальта из никелевого раствора безреагентным экстракционным	Применимо для хлоридных сред рафинирования ПНТП или иных полупродуктов, после разработки не гидролитического способа очистки от свинца и марганца
3.	Утилизация солевого стока дробной выпаркой с выделением товарного сульфата натрия и оборотного хлорида натрия и производства хлора электролизом последнего взамен использования привозного хлора	Применим для установок очистки сточных вод от хлоридного рафинирования ПНТП или иных полупродуктов
4.	Использование известково-серного отвара в качестве осадителя тяжелых цветных металлов	Применим в гидрометаллургических производствах, сопровождающихся образованием и выделением элементарной серы
5.	Применение фильтрации расплавленной элементарной серы взамен автоклавной выплавки	Применим для гидрометаллургических процессов, сопровождающихся образованием элементарной серы при необходимости ее выделения

В.5. Экономические аспекты реализации НДТ, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Совершенствование действующих и создание новых способов производства никеля определяется существующим уровнем техники и требует значительных инвестиций, часто сопряжённых с высокими рисками. При прочих равных условиях основные критерии успешной производственной деятельности имеют исключительно экономическую основу. Эти критерии, в свою очередь, являются интегральными характеристиками совокупности различных обычно разнонаправленных технологических факторов, в том числе и факторов ресурсо- и энергоэффективности, а также экологической безопасности производства.

Собственный экономический потенциал природоохранных мероприятий, таких как, например, внедрение малоотходных технологий, производство побочной продукции и (или) полезное использование образующихся в основном производственном процессе отходов в российских условиях, следует признать скорее незначительным. С одной стороны, природоохранные технологии во многих случаях характеризуются высокой энергоёмкостью, а поддержание оборудования в функциональном состоянии требует регулярных затрат на расходные материалы и комплектующие и иных эксплуатационных затрат; в некоторых случаях при производстве побочной продукции, например, такой как серная кислота, значительные издержки могут возникать и в связи с необходимостью хранения и транспортировки агрессивного вещества. С другой стороны, низкая ёмкость российских рынков и территориальная удалённость от них никелевых предприятий не обеспечивают вывод «побочных» производств на экономически эффективный уровень и не смогут гарантировать устойчивое потребление продукции вновь вводимых производственных мощностей, а потенциал выхода на внешние рынки ограничен и малоперспективен с экономической точки зрения.

Таким образом, наибольшим потенциалом с точки зрения возмещения затрат, понесённых в связи с внедрением на предприятии новых природоохранных методов и технологий, обладают комплексные меры, увязывающие экологическую модернизацию производства с перенастройкой производственного процесса в целом, оптимизацией отдельных его звеньев и расширением номенклатуры выпускаемой продукции, в том числе с высокой добавленной стоимостью.

Можно выделить следующие перспективные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления:

– технология двухзонной печи Ванюкова;

– усовершенствование технологии гидрометаллургического обогащения бедного никель-пирротинового концентрата;

– производство никеля электроэкстракцией рафинированием ПНТП;

– производство никеля электроэкстракцией растворов выщелачивания никелевого концентрата от разделения файнштейна;

– технология производства карбонильного никеля с использованием синтеза среднего давления.

Приложение Г

Заключения по наилучшим доступным технологиям «Производство никеля и кобальта»

Область применения

Настоящий справочник НДТ «Производство никеля и кобальта» распространяется на процессы производства первичных никеля и кобальта, т. е. получаемых из рудного сырья.

Поскольку производство никеля, кобальта и меди из сульфидных медно-никелевых руд включает ряд последовательных операций в едином взаимосвязанном производственно-технологическом процессе, справочник также распространяется на процессы производства меди из такого сырья.

Справочник НДТ также распространяется на процессы, связанные с основными видами деятельности по производству первичного никеля и кобальта, которые могут оказать влияние на объёмы эмиссий и (или) масштабы загрязнения окружающей среды:

– хранение, подготовку и транспортировку сырья;

– хранение и подготовку топлива, материалов, реагентов и продукции;

– производственные процессы (пирометаллургические, гидрометаллургические).

Справочник НДТ не распространяется на:

– добычу и обогащение никелевых и полиметаллических руд на месторождениях (область действия ИТС НДТ 23);

– вопросы, которые касаются исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Вопросы обеспечения промышленной безопасности и охраны труда частично рассматриваются только в тех случаях, когда оказывают влияние на виды деятельности, включённые в область применения настоящего справочника НДТ.

Дополнительные виды деятельности при производстве никеля и кобальта, а также соответствующие им справочники НДТ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Дополнительные виды деятельности при производстве никеля и кобальта и соответствующие им справочники НДТ

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Методы очистки сточных вод, направленные на сокращение сбросов металлов в водные объекты	ИТС 8–2015 Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях
Методы очистки выбросов 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

Окончание таблицы 1

Хранение и обработка материалов	ИТС 46–2019 Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)
Промышленные системы охлаждения, градирни, пластинчатые теплообменники	ИТС 20–2016 Промышленные системы охлаждения
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))
Выработка пара и электроэнергии на тепловых станциях	ИТС 38-2017 Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии
Вопросы производственно-экологического контроля	ИТС 22.1–2016 Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения

Сфера распространения настоящего справочника НДТ приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сфера распространения ИТС НДТ

ОКПД 2	Наименование продукции по ОК 034–2014 (ОКПД)	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
		Производство металлургическое	24
		Производство основных драгоценных металлов и прочих цветных металлов, производство ядерного топлива	24.4
		Производство прочих цветных металлов	24.45
		Производство никеля	24.45.1
24.45.1	Никель необработанный; промежуточные продукты металлургии никеля		
24.45.11	Никель необработанный		
24.45.11.000	Никель необработанный		
24.45.12	Штейн никелевый, агломераты оксидов никеля и прочие промежуточные продукты металлургии никеля		
24.45.12.110	Штейн никелевый		
24.45.12.120	Агломераты оксидов никеля		
24.45.12.130	Продукты металлургии никеля промежуточные прочие		
		Производство кобальта	24.45.6

Окончание таблицы 2

24.45.30.150	Кобальт и изделия из него, сплавы на основе кобальта, порошки		
24.45.30.151	Кобальт необработанный		
24.45.30.152	Штейн кобальтовый		
24.45.30.153	Порошки кобальтовые		

1. Наилучшие доступные технологии

Настоящий раздел содержит перечень кратких описаний НДТ, применяемых при производстве никеля и кобальта на различных этапах технологического процесса.

НДТ в рамках раздела сгруппированы в подразделы в соответствии с целями их применения - например, НДТ для повышения эффективности использования энергии, НДТ для управления отходами, промежуточными и побочными продуктами и др.

При выборе НДТ необходимо обращать внимание на указание в описании НДТ на конкретное производство (передел/установку), для которого должна применяться соответствующая технология. Также для каждой НДТ, где необходимо, указаны ограничения применимости включённых в описание НДТ методов.

1.1. Системы экологического менеджмента (СЭМ)

НДТ 1. Повышение общей результативности природоохранной деятельности. Внедрение и поддержание системы экологического менеджмента (СЭМ), соответствующей требованиям ГОСТ Р ИСО 14001 или ISO 14001[8].

1.2. Энергоменеджмент и энергия

НДТ 2. Повышение эффективности использования энергии: использование комбинации двух или более методов, приведённых приведённых в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Методы повышения эффективности использования энергии

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Система управления энергоэффективностью (например, в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 50001[1] или ISO 50001[1])	Общеприменим
б)	Оптимальное размещение взаимосвязанных производств, переделов и отдельного оборудования, обеспечивающее минимизацию материальных потоков	Общеприменимо при новом строительстве, изменении конфигурации существующих производств или реконструкции
в)	Использование избыточного тепла (например, пара, горячей воды или горячего воздуха), образующегося при реализации основных процессов	Применим для пирометаллургических процессов

[8] Соответствие систем менеджмента указанным стандартам не означает её обязательную сертификацию.

Окончание таблицы 1.1

	Метод/оборудование	Применимость
г)	Регенеративные дожигающие устройства	Применим, когда требуется очистка выбросов от горючих загрязняющих веществ
д)	Подача на горелки воздуха, обогащённого кислородом, или чистого кислорода для уменьшения потребления энергии	Применим для пирометаллургических процессов
е)	Низкотемпературная сушка концентратов и влажного сырья перед плавкой	Общеприменим
ж)	Теплоизоляция объектов, функционирующих при высоких температурах, например трубопроводов пара и горячей воды	Общеприменим
з)	Использование высокоэффективных электродвигателей, оборудованных частотными преобразователями, для таких устройств как, например, вентиляторы	Общеприменим
и)	Использование горячих технологических газов от процессов плавления для нагревания подаваемых компонентов	Применим для пирометаллургических процессов
к)	Применение автогенных процессов плавки сырья	Применим для пирометаллургических процессов
л)	Использование тепла химических реакций для поддержания теплового баланса гидрометаллургических процессов	Применим при реализации окислительных процессов, сопровождающихся выделением тепла
1. Соответствие систем менеджмента указанным стандартам не означает ее обязательную сертификацию.		

1.3. Контроль технологических процессов и мониторинг эмиссий

НДТ 3. Обеспечение стабильности производственного процесса. Внедрение системы автоматизированного контроля и использование комбинации двух или более методов, приведённых в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Методы обеспечения стабильности производственного процесса

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Проверка и сортировка исходных материалов в соответствии с требованиями, определяемыми используемым технологическим оборудованием и применяемыми методами сокращения загрязнения	Общеприменим
б)	Тщательное перемешивание различных материалов, входящих в состав шихты, для достижения оптимальной эффективности переработки и сокращения выбросов и отходов	
в)	Системы взвешивания и дозирования шихты	

Окончание таблицы 1.2

	Метод/оборудование	Применимость
г)	Использование микропроцессорных устройств для контроля скорости подачи материала, ключевых технологических параметров, включая сигнализацию, условий сжигания и подачи дополнительного газа	
д)	Непрерывный инструментальный контроль температуры, давления, расхода реагентов	
е)	Контроль критических параметров процессов, реализуемых на установках очистки воздуха, таких как температура газа, количество подаваемых реагентов, падение давления, ток и напряжение на электрофильтре, объем подачи и pH жидкости в мокром скруббере	
ж)	Контроль содержания пыли в отходящих газах перед их подачей на сернокислотную установку	Применим для заводов по производству цветных металлов, включающих производство серной кислоты или жидкого SO_2
з)	Непрерывный инструментальный контроль силы тока, напряжения, скорости циркуляции, состава растворов и качества электрических контактов и др.	Применим для процессов электролиза
и)	Непрерывный инструментальный контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны с системами оповещения и аварийной остановки (при наличии технической возможности) работы основного оборудования в случае превышения их пороговых значений	Общеприменим
к)	Контроль и регулирование температуры для предотвращения образования выбросов металлов и оксидов металлов из-за перегрева	Применим для спекающих и плавильных печей
л)	Использование локальных и глобальных систем контроля и управления работой оборудования, включая непрерывный инструментальный контроль основных параметров: температуры, мутности, ОВП, pH, электропроводности, давления, уровня, потоков, состава и др.	Общеприменим для гидрометаллургических процессов

1.4. Сокращение расхода реагентов и материалов

НТД 4. Сокращение расхода реагентов за счёт внедрения новых процессов (таблица 1.3).

Таблица 1.3 - Методы расхода реагентов за счёт внедрения новых процессов

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Использование сульфата натрия или сульфата кальция в качестве флюсующих добавок для	Применим для пирометаллургических процессов

Окончание таблицы 1.3

	Метод/оборудование	Применимость
	улучшения физикохимических свойств шлаков и снижения потерь цветных металлов	
б)	Замена гидролитического способа выделения кобальта из никелевого раствора безреагентным экстракционным	Применимо для хлоридных сред рафинирования ПНТП или иных полупродуктов, после разработки не гидролитического способа очистки от свинца и марганца
в)	Утилизация солевого стока дробной выпаркой с выделением товарного сульфата натрия и оборотного хлорида натрия и производства хлора электролизом последнего взамен использования привозного хлора	Применим для установок очистки сточных вод от хлоридного рафинирования ПНТП или иных полупродуктов
г)	Использование известково-серного отвара в качестве осадителя тяжёлых цветных металлов	Применим в гидрометаллургических производствах, сопровождающихся образованием и выделением элементарной серы
д)	Применение фильтрации расплавленной элементарной серы взамен автоклавной выплавки	Применим для гидрометаллургических процессов, сопровождающихся образованием элементарной серы при необходимости её выделения

1.5. Неорганизованные эмиссии

НДТ 5. Предотвращение или уменьшение неорганизованных выбросов пыли: разработка и реализация в качестве составной части СЭМ (см. НДТ 1) плана мероприятий по неорганизованным выбросам, предусматривающего, в том числе, использование методов, приведённых в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Методы предотвращения или уменьшения неорганизованных выбросов пыли

	Метод/оборудование
а)	Инвентаризация наиболее характерных источников неорганизованных выбросов
б)	Определение и реализация соответствующих мероприятий и методов по предотвращению и сокращению неорганизованных выбросов в течение определённого периода времени.

НДТ 6. Предотвращение или уменьшение неорганизованных эмиссий в воздух и водные объекты: организация местных систем аспирации, замена реагентов и материалов менее летучими и токсичными, ликвидация складов хранения токсичных реагентов и материалов или сокращение объёма их хранения и потребления за счёт улучшения логистики производства или изменения технологии производства.

НДТ 7. Уменьшение неорганизованных выбросов, образующихся при хранении сырья (таблица 1.5).

Таблица 1.5 - Методы уменьшения неорганизованных выбросов, образующихся при хранении сырья

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Регулярная уборка и, при необходимости, увлажнение площадки хранения и обращения сыпучими материалами	Общеприменим
б)	Применение защитных посадок, ограждений для защиты от ветра или обвалований с наветренной стороны для снижения скорости ветра	Применяется при складировании на открытом воздухе
в)	Хранение материалов там, где это возможно, в одной куче вместо нескольких	Общеприменим
г)	Герметичная упаковка	Применяется для хранения и транспортировки пылящих материалов, а также сырья, содержащего растворимые в воде органические соединения
д)	Разбрызгивание воды с применением или без применения таких добавок как латекс	Не применяется для процессов, в которых используются сухие материалы или руды/концентраты, содержащие достаточное количество естественной влаги, чтобы предотвратить пылеобразование. Применение также ограничено в регионах с нехваткой воды или с очень низкими зимними температурами
е)	Размещение устройств для улавливания пыли в точках загрузки и перегрузки	Применяется в местах складирования пылящих материалов

НДТ 8. Уменьшение неорганизованных эмиссий, образующихся при обработке и транспортировке сырья (таблица 1.6).

Таблица 1.6 - Методы уменьшения неорганизованных эмиссий, образующихся при обработке и транспортировке сырья

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Использование закрытых конвейеров или пневматических транспортных систем	Общеприменим
б)	Сооружение конвейеров для непылящих твёрдых материалов под навесами	
в)	Организация систем аспирации при транспортировке и перегрузке пылящих материалов в сочетании с системой пылеулавливания и очистки отходящих газов	Общеприменим
г)	Установка устройств для сбора пыли в пунктах доставки, вентиляционных отверстиях, пневматических транспортных системах и точках перегрузки на конвейерах передачи, и их подключение к системе фильтрации	Применяется при использовании пылящих материалов
д)	Использование для обращения с измельчёнными или водорастворимыми материалами закрытых мешков или бочек	Общеприменим

Окончание таблицы 1.6

	Метод/оборудование	Применимость
е)	Использование специальных контейнеров для обработки уложенных на поддонах материалов	Общеприменим
ж)	Обработка пылящих материалов, например их смешивание, в закрытом помещении	Общеприменим. Для существующих заводов применение может быть затруднено в связи с необходимостью больших пространств
з)	Разбрызгивание воды для увлажнения материалов в местах их обработки	Не применяется для процессов, требующих сухих материалов
и)	Использование максимально коротких маршрутов транспортировки	Общеприменим
к)	Регулировка скорости открытых ленточных конвейеров (< 3,5 м/с)	Применяется при использовании открытых ленточных конвейеров
л)	Размещение передающих конвейеров и трубопроводов на безопасных открытых площадках выше уровня земной поверхности с целью оперативного обнаружения утечек и предупреждения повреждений транспортными средствами и другим оборудованием. Если для перемещения неопасных материалов используются подземные трубопроводы, местоположение их трасс должно быть документально зафиксировано и отмечено на местности соответствующими предупреждающими знаками; должны применяться системы безопасного ведения земляных работ.	Общеприменим
м)	Мойка колёс и шасси транспортных средств, используемых для доставки или обработки пылящих материалов	Не применяется в условиях, которые могут привести к обледенению
н)	Проведение плановых кампаний по уборке дорог	Общеприменим
о)	Использование систем пылеподавления, таких как водомёты или дождевальные установки	Применяется при перемешивании материалов вне помещений. Не применяется для процессов, требующих сухих материалов. Применение также ограничено в регионах с нехваткой воды или с очень низкими зимними температурами
п)	Использование закрытого оборудования, оснащённого системой улавливания отходящих газов, связанной с системой газоочистки	Применяется при подаче смесей, полученных с помощью бункеров-дозаторов или системы потери веса, при сушке, смешивании, помоле, разделении и гранулировании

НДТ 9. Предупреждение или уменьшение неорганизованных выбросов: оптимизация параметров эффективности улавливания и очистки отходящих газов (таблица 1.7).

Таблица 1.7 - Методы предупреждения или уменьшения неорганизованных выбросов

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Использование закрытых печей, оснащённых системами пылеулавливания, или оснащение печей и другого технологического оборудования вытяжными системами	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом/конструкцией печи, наличием угрозы взрыва)
б)	Оснащение печей вторичными системами отведения газов в точках загрузки и выгрузки	Общеприменим
в)	Оптимизация конструкции и технологии эксплуатации вытяжных устройств и газоходов с целью улавливания газов, возникающих при загрузке шихты и отходящих от разогретого металла; выдача и перемещение расплавов сульфидов или шлаков по закрытым желобам	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах
г)	Сооружение укрытий печей/реакторов, для улавливания выбросов при загрузочных операциях и выдаче расплавов	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом/конструкцией печи, наличием угрозы взрыва)
д)	Использование систем, позволяющих подавать сырье небольшими порциями	Общеприменим
е)	Использование непрерывных процессов и агрегатов, например замена периодического процесса конвертирования в горизонтальных конвертерах Пирса-Смита на двухзонную печь Ванюкова для конвертирования медно-никелевых штейнов, процесс Ausmelt, ACP-процесс	Применим при новом строительстве или реконструкции
ж)	Оптимизация потока отходящих из печи газов на основе компьютеризированных исследований и индикаторов гидродинамики	Общеприменим
з)	Окускование сырья (брикетирование, окатывание)	Применим только для процессов и печей, предназначенных для использования окускованного сырья
и)	Эксплуатация печи и газоотводящих каналов при разрежении и скорости газоотведения, достаточной для предотвращения повышения давления	Общеприменим
к)	Размещение печи в вытяжном укрытии	Применим при малых размерах печи
л)	Поддержание температуры в печи на самом низком допустимом уровне	Общеприменим
м)	Закрытые помещения в сочетании с другими методами улавливания неорганизованных выбросов	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом/конструкцией печи, наличием угрозы взрыва)
н)	Система вторичных вытяжных зонтов, дополняющих основной при загрузке печи и выпуске из неё металла	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах

НДТ 10. Уменьшение неорганизованных выбросов при реализации гидрометаллургических процессов (таблица 1.8)

Таблица 1.8 - Методы уменьшения неорганизованных выбросов при реализации гидрометаллургических процессов

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Организация укрытия зеркала флотомашин	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах
б)	Использование закрытого реакторного и бакового оборудования, трубопроводов вместо желобов для транспортировки растворов и пульп	Общеприменим при отсутствии необходимости визуального контроля за процессом
в)	Добавление поверхностно-активных веществ при электролизе	Применим, если не нарушает ведение основных процессов
г)	Использование общеобменной вентиляции и локальной аспирации из области зеркала ванн с последующей очисткой абгазов	Общеприменим
д)	Использование укрытия электролизных ванн и отведение абгазов в систему газоочистки	Применим для электролизных ванн за исключением случаев, когда они должны оставаться не укрытыми
е)	Улавливание аэрозолей от скрапомывочных машин	Применимо для рафинирования черновых анодов

1.6. Организованные эмиссии

НДТ 11. Сокращение выбросов пыли и металлов. Поддержание в качестве составляющей СЭМ (см. НДТ 1) подсистемы, обеспечивающей эффективность эксплуатации систем пылеподавления и пылеулавливания.

НДТ 12. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от пирометаллургических процессов производства никеля, кобальта и меди. Использование газоочистного оборудования, в т. ч. «сухих» и «мокрых» электрофильтров (таблица 1.9).

Таблица 1.9 –Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/нм^3	≤ 180,0
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/нм^3	≤ 7,0
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого	мг/нм^3	≤ 2,5
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/нм^3	≤ 150,0
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	мг/нм^3	≤ 600

НДТ 13. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процессов сушки концентрата и шихтовых материалов. Использование газоочистного оборудования (таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т концентрата	≤ 5,018
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т концентрата	≤ 0,3
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т концентрата	≤ 0,001
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 200
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/м^3	≤ 30,0

НДТ 14. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса плавки концентрата в ПВП. Использование газоочистного оборудования (таблица 1.11).

Таблица 1.11 – Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т штейна	≤ 0,7
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т штейна	≤ 0,025
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т штейна	≤ 0,0005
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 12
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 300

НДТ 15. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса обеднения шлака ПВП в обеднительных электропечах. Использование газоочистного оборудования (таблица 1.12).

Таблица 1.12 - Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т штейна	≤ 3,0
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т штейна	≤ 0,01
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т штейна	≤ 0,003
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5

Окончание таблицы 1.12

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 12

НДТ 16. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса конвертирования медно-никелевого штейна. Использование газоочистного оборудования (таблица 1.13).

Таблица 1.13 - Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т файнштейна	≤ 0,6
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т файнштейна	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т файнштейна	≤ 0,03
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/м^3	≤ 5
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/м^3	≤ 12

НДТ 17. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от процесса окислительного обжига сульфидного никелевого концентрата в печах кипящего слоя. Использование газоочистного оборудования (таблица 1.14).

Таблица 1.14 - Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т ПНТП	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т ПНТП	≤ 0,464

НДТ 18. Сокращение выбросов пыли (взвешенных веществ) и металлов от анодной плавки (никель). Использование газоочистного оборудования (таблица 1.15).

Таблица 1.15 - Технологический показатель: выбросы пыли и металлов

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон/ значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	кг/т анодов никелевых	≤ 17,279
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	кг/т анодов никелевых	≤ 0,0285
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т анодов никелевых	≤ 5,660

НДТ 19. Сокращение выбросов пыли и металлов от первичного и вторичного производства медных анодов: использование одной или нескольких газоочистных установок.

Таблица 1.16 - Технологические показатели: пыль и металлы в первичных и вторичных выбросах, образующихся при первичном и вторичном производстве медных анодов

Параметр	Единица измерений	Уровень выбросов для данной НДТ
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	мг/нм^3	≤ 600
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого	мг/нм^3	≤ 1,0
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	мг/нм^3	≤ 150,0
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	мг/нм^3	≤ 2,0
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	мг/нм^3	≤ 20,0

НДТ 20. Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству элементарной серы.

Применимость: Только для новых/реконструируемых предприятий в зависимости от содержания диоксида серы в газах, от наличия рынка производимого продукта или условий для долговременного хранения.

Таблица 1.17 Технологический показатель: выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 9400

НДТ 21. Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты.

Применимость: Только для новых/реконструируемых предприятий в зависимости от содержания диоксида серы в газах, от наличия рынка производимого продукта или условий для долговременного хранения.

Таблица 1.18 Технологический показатель: выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 9400

НДТ 22. Снижение выбросов SO_2 за счёт направления отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты с последующей нейтрализацией и получением отвального гипса.

Применимость: Только для новых/реконструируемых предприятий в зависимости от содержания диоксида серы в газах, от наличия рынка производимого продукта или условий для долговременного хранения.

Таблица 1.19 - Технологический показатель: выбросы SO_2 после утилизации диоксида серы

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	мг/нм^3	≤ 3500

НДТ 23. Снижение выброса в воздух кислых газов от гидрометаллургических операций (таблица 1.20).

Таблица 1.20 – Методы снижения выброса в воздух кислых газов от гидрометаллургических операций

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Локальные системы аспирации основного оборудования с последующей переработкой абгазов в системах каплеотбойников и мокрых скрубберов	Общеприменимо
б)	Мокрый скруббер	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах
в)	Каплеотбойник	

Таблица 1.21 - Технологический показатель: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при производстве электролитного никеля методом электроэкстракции из НПТП

Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Значение
Серная кислота	кг/т никеля электролитного	≤ 0,004
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	кг/т никеля электролитного	≤ 0,017
Хлор	кг/т никеля электролитного	≤ 0,095

Таблица 1.22 - Технологический показатель: выбросы серной кислоты от процесса электролитического рафинирования, промывочной камеры машин для обдирки катодов и машины для промывки отработанных анодов в производстве меди

Параметр	Единица измерений	Уровень выбросов для данной НДТ
Серная кислота	мг/м^3	≤ 10

НДТ 24. Снижение выбросов SO_2 при первичном производстве никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов: направление отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты, серы, жидкого диоксида серы или других продуктов утилизации диоксида серы с эффективностью не ниже 90% при условии соблюдения санитарных нормативов в селитебной зоне.

Технология утилизации диоксида серы определяется с учетом концентрации диоксида серы в перерабатываемом газе, наличия рынка производимого продукта, условий для его долговременного хранения и/или продажи. Выбор технологии должен учитывать положения п. 4 Статьи 28.1. Наилучшие доступные технологии Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ.

Таблица 1.23 - Технологический показатель: выбросы SO_2 от первичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов (после утилизации диоксида серы)

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 35,0

НДТ 25. Снижение выбросов SO_2 при вторичном производстве никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов: направление отходящих газов (с предварительной очисткой от пыли) на установки по производству серной кислоты, серы, жидкого диоксида серы или других продуктов утилизации диоксида серы с эффективностью не ниже 90%.

Необходимость утилизации диоксида серы от вторичного производства никеля и меди определяется с учётом соблюдения санитарных нормативов в селитебной зоне, прилегающей к объектам производства никеля.

В случае необходимости утилизации диоксида серы технология определяется с учетом концентрации диоксида серы в перерабатываемом газе, наличия рынка производимого продукта, условий для его долговременного хранения и/или продажи. Выбор технологии должен учитывать положения п. 4 Статьи 28.1. Наилучшие доступные технологии Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ.

Таблица 1.24 - Технологический показатель: выбросы SO_2 от вторичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов (до утилизации диоксида серы)

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 27,86

Таблица 1.25 - Технологический показатель: выбросы SO_2 от вторичного производства никеля и меди из сульфидных медно-никелевых руд и концентратов (после утилизации диоксида серы)*

Параметр	Единица измерений	Уровень выброса для НДТ
Серы диоксид	г/нм^3	≤ 2,79
*в случае принятия решения об утилизации диоксида серы		

1.7. Сбросы загрязняющих веществ в водные объекты

НДТ 26. Уменьшение неорганизованных сбросов в водные объекты (табл. 1.26).

Таблица 1.26 - Методы уменьшения неорганизованных сбросов в водные объекты

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Применение современных коррозионностойких конструкционных и футеровочных материалов для изготовления бакового и реакторного оборудования, трубопроводов	Применим при новом строительстве и реконструкции

Окончание таблицы 1.26

	Метод/оборудование	Применимость
б)	Хранение кислот и других агрессивных реагентов и рабочих растворов в ёмкостях с двойными стенками или в ёмкостях, размещённых внутри устойчивого к воздействию агрессивных сред обвалования избыточной вместимости	Применим при небольших объёмах ёмкостей
в)	Проектирование площадок для хранения таким образом, чтобы любые утечки из ёмкостей и систем доставки удерживались внутри обвалования, способного вместить объём жидкости, равный, по крайней мере, объёму наибольшей ёмкости, размещённой внутри обвалования. Площадка для хранения должна быть обвалована и иметь покрытие, не подверженное воздействию хранящегося агрессивного материала	Применим при новом строительстве или реконструкции
г)	Использование нефтеловушек и песколовушек в дренаже площадок хранения и обращения с сыпучими материалами.	Общеприменим
д)	Использование для хранения материалов, которые могут содержать нефтепродукты (например, замасленной стружки), бетонированных площадок с бортами или иными удерживающими устройствами	Общеприменим
е)	Применение надёжных систем обнаружения утечек и индикации уровня заполнения ёмкостей с подачей сигналов для предотвращения их переполнения	Общеприменим

Таблица 1.27 – Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

НДТ 27. Предотвращение загрязнения почвы и подземных вод при эксплуатации хвостохранилищ (таблица 1.15).

Таблица 1.28 - Методы предотвращения загрязнения почвы и подземных вод при эксплуатации хвостохранилищ

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Комплекс противодренажных мероприятия	Общеприменим
б)	Организация гидроизоляции	При строительстве новых хвостохранилищ

Таблица 1.29 - Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

НДТ 28. Предотвращение загрязнения почвы и подземных вод электролитом при производстве никеля и кобальта и меди: использование комбинации двух или более методов, приведённых в таблице 1.30.

Таблица 1.30 - Методы предотвращения загрязнения почвы и подземных вод электролитом

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Использование оборотной дренажной системы	Общеприменим
б)	Использование влагонепроницаемых подвалов с зумпфом и кислотостойких полов	Применим при новом строительстве и реконструкции
в)	Использование ёмкостей с двойными стенками или размещение их внутри прочного обвалования с непроницаемыми полами	

Таблица 1.31 - Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9

Окончание таблицы 1.31

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

НДТ 29. Предотвращение образования сточных вод: использование одного из или комбинации методов, приведённых в таблице 1.32.

Таблица 1.32 - Методы предотвращения образования сточных вод

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Повторное использование слабых кислот из стоков, образующихся в мокрых электростатических фильтрах и мокрых скрубберах	Применяется в зависимости от содержания в сточных водах металлов и твёрдых веществ
б)	Использование поверхностных стоков	Общеприменим
в)	Использования систем полного или частичного оборотного водоснабжения	Общеприменим
г)	Утилизация солевых стоков рафинирования никеля выпаркой и дробной кристаллизацией товарных или оборотных сульфата и хлорида натрия и возвратом конденсата выпарки в основное производство	Применим для процессов рафинирования черновых анодов, ПНТП или иных полупродуктов

Таблица 1.33 – Технологические показатели для сбросов загрязняющих веществ

Вещество	Ед. изм.	Значение концентрации загрязняющих веществ сточных водах, образующихся при производстве	Значение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах перед сбросом в водные объекты
Цинк	мг/л	30	1,0
Никель	мг/л	85	2,5
Кобальт	мг/л	5	0,5
Взвешенные вещества	мг/л	550	50
pH	ед.	6-10	6 – 9
Медь	мг/л	10	1
Железо	мг/л	220	2,5

НДТ 30. Очистка сточных вод, образующихся при производстве никеля и кобальта и меди с целью удаления металлов и сульфатов на основе применения методов, приведённых в таблице 1.19.

Таблица 1.34 - Методы очистки сточных вод

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Химическое осаждение	Общеприменим
б)	Седиментация	Общеприменим
в)	Фильтрация	Общеприменим

Окончание таблицы 1.34

	Метод/оборудование	Применимость
г)	Флотация	Общеприменим
д)	Обратный осмос	Общеприменим
е)	Выпарка и кристаллизация солей	Общеприменим
ж)	Электрокоагуляция	Общеприменим

НДТ 31. Уменьшение количества отходов, направляемых на утилизацию при производстве никеля, кобальта и меди: организация обращения с отходами, промежуточными и побочными продуктами, способствующая их повторному использованию, а в случае невозможности – вторичной их переработке (табл. 1.21).

Таблица 1.21. - Методы уменьшения количества отходов, направляемых на утилизацию

	Метод/оборудование	Применимость
а)	Извлечение металлов из пыли поступающих из системы пылеулавливания	Общеприменим
б)	Регенерация или переработка отработанных катализаторов	Общеприменим
в)	Извлечение металла из осадка, образующегося при очистке сточных вод	Применим в зависимости от содержания металлов и от наличия рынка/процесса
г)	Использование отвальных шлаков в качестве абразивных или строительных (для отсыпки дорог) материалов	Применим в зависимости от содержания металлов и от наличия рынка
д)	Использование футеровки печей для извлечения металлов или повторное её использование в качестве огнеупорных материалов	Общеприменим
е)	Использование гипса с установок по очистке сточных вод в пирометаллургических процессах или в качестве закладочного материала для отработанных горных выработок	Применим в зависимости от качества получаемого гипса и особенностей технологического процесса

2. Производственный экологический контроль

Производственный экологический контроль эмиссий проводится с целью подтверждения соблюдения требований КЭР в части обеспечения соответствия фактических технологических показателей технологическим нормативам.

2.1. Показатели воздушных выбросов, соответствующие НДТ

Показатели воздушных выбросов, соответствующие НДТ, указанные в соответствующих заключениях по НДТ, приведены для нормальных условий: сухой газ при температуре 0°°С и давлении 101,3 кПа.

2.2. Периоды усреднения показателей воздушных выбросов

Для периодов усреднения показателей воздушных выбросов применяются следующие определения:

Среднесуточное значение	Среднее значение взятых в течение 24 часов получасовых или почасовых средних значений, полученных при непрерывном измерении
Среднее значение за период пробоотбора	Среднее значение трёх последовательных замеров, если не указано иное[9]

2.3. Периоды усреднения показателей сбросов в водные объекты

Для периодов усреднения показателей сбросов в водные объекты применяется следующее определение:

Среднесуточное значение	Среднее значение измерений проведённых за период 24 часа составных проб, пропорционально потоку (или составных проб пропорционально времени при условии, что наблюдается достаточная стабильность потока)[10]

2.4. Измеряемые показатели эмиссий и их нормативные значения

Перечень маркерных веществ, определённых для производства никеля и кобальта в качестве технологических показателей, приведён в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень маркерных веществ

Для атмосферного воздуха	Для водных объектов (перечень может быть сокращён предприятием на основании анализа состава сточных вод)
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	Цинк
Никель, оксид никеля (в пересчёте на никель)	Никель
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец	Кобальт
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого	Взвешенные вещества
Серы диоксид	pH
Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь)	Медь
Серная кислота (в пересчёте на молекулу H_2SO_4)	Железо
Хлор	

Нормативные значения указанных технологических показателей приведены в таблицах, включённых в заключения по НДТ (см. выше раздел 1).

2.5. Периодичность измерений

Периодичность измерений определяется исходя, как минимум, из следующих факторов:

– положений методических указаний (руководящих документов – РД) по взятию проб и измерению концентрации соответствующих загрязняющих веществ;

[9] Для периодических процессов могут использоваться средние значения из представительного числа замеров, выполненных за соответствующий период производственного цикла.

[10] Для прерывистых потоков может использоваться иная процедура пробоотбора, обеспечивающая репрезентативные результаты (например, отбор разовых проб).

– практической целесообразности с учётом свойств и объёмов соответствующих загрязняющих веществ;

– экономической эффективности (неизбыточности затрат).

Кроме того, выбор методов и периодичности контроля зависит от наличия соответствующих аппаратных методов. Соответствующая информация для технологических показателей выбросов и сбросов приведена ниже в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 – Наличие методов контроля технологических показателей для выбросов

Технологический показатель	Наличие методов контроля	
	Непрерывный с применением АПК	Периодический (разовые пробы)
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов	Да	Да
Серы диоксид	Да	Да
Металлы	Нет	Да
Кислые газы	Нет	Да

Наиболее характерными технологическими показателями выбросов для производства никеля и кобальта являются *пыль неорганическая (с содержанием кремния менее 20, 20 - 70, а также более 70 процентов)* и *серы диоксид*, которые рекомендуется, когда это предусмотрено нормативными документами, контролировать с помощью АПК. Остальные показатели должны контролироваться на основе отбора периодических проб в рамках программы производственного экологического контроля.

Производственный экологический контроль технологических стоков, сбрасываемых в природные водные объекты, должен предусматривать следующие параметры и частоту контроля:

Технологический показатель	Наличие методов контроля	
	Непрерывный с применением АПК	Периодический (разовые пробы)
Взвешенные вещества	Да	Да
pH	Да	Да
Металлы	Нет	Да

Наиболее характерными технологическими показателями сбросов для производства никеля и кобальта являются концентрации твёрдых взвешенных веществ и показатель кислотности pH, которые рекомендуется, когда это предусмотрено нормативными документами, контролировать с помощью АПК. Прочие показатели должны контролироваться на основе отбора периодических проб в рамках программы производственного экологического контроля.

Библиография

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ.
2. ГОСТ Р 113.00.03-2019 «Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника».
3. ГОСТ Р 56828.13-2016 «Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий».
4. ГОСТ Р 56828.15-2016 «Наилучшие доступные технологии. Термины и определения.
5. Wood Mackenzie Ltd. Global Nickel Short-Term Outlook,July 2019, 23 pp.
6. Cobalt Institute. Cobalt News, April 2019 , №6, 43 pp.
7. Antaike. Minor Metals Monthly, February 2019, №226, 28 pp.
8. US Geological Survey. Mineral Commodities Summaries: Nickel, February 2019, 2 pp.
9. U. S. Geological Survey. Mineral Commodities Summaries: Cobalt, February 2019, 2 pp.
10. Vale S.A. Annual Report 2018 Form 20-F, 314 pp.
11. Vale Inco Ltd. External Audit of Mineral Reserves, vol. 2, sections 1–6, 2010, 375.
12. Vale Inco Ltd. Annual Report 2014 Form 20-F, 288 pp.
13. Glencore. Annual Report 2018, 240 pp.
14. Roscoe Postle Associates Inc. NI 43–101 Technical Report on the Eagle Mine, April 26,2017, 306 pp.
15. BHP Billiton. Annual Report 2018, 300 pp.
16. ПАО «ГМК «Норильский никель». Годовой отчёт 2014 г.
17. South32. Annual Report 2018, 175 pp.
18. Sherritt International. 2018 Annual Information Form, February 13, 2019, 106 pp.
19. Global Mining Research. Presentation: HPAL: Upping The Pressure, March 2018.
20. Aneka Tambang. Annual Report 2018, 430 pp.
21. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых. Никелевые и кобальтовые руды. ФГУ ГКЗ, Москва, 2007 г.
22. F. Crundwell, M. Moats et al. Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum Group Metals. Elsevier, 2011, 609 pp.
23. M. Elias (CSA Global). Nickel Laterites in SE Asia. Presentation at 'Bali 2013' (East Asia: Geology, Exploration, Technologies and Mines), May 27, 2013, 48 pp.
24. M. Rao, G. Li et al. Carbothermic Reduction of Nickeliferous Laterite Ores for Nickel Pig Iron Production in China: A Review. JOM, November 2013, pp 1573-1583.
25. S. Rezaei, F. Liu et al. Canadian Pyrrhotite Treatment: the History, Inventory and Potential for Tailings Processing. Canadian Metallurgical Quarterly, 2017, v.56, #4, pp 410-417.
26. A. Warner, C. Diaz et al. World Nonferrous Smelter Survey Part IV: Nickel:Sulphide. Journal of Metals, April 2007, pp 58-72.

27. H. Johto, P. Latostenmaa et al. Review of Boliden Harjavalta Nickel Smelter. 'Extraction 2018': Proceedings of the First Global Conference on Extractive Metallurgy, Editors: Davis, B., Moats, M. et al., 2018, pp 81-87.
28. NI 43-101 F1 Technical Report: Feasibility Study for the Idaho Cobalt Project, November 2017, 263 pp.
29. Golder Associates. An Independent Technical Report on the Material Assets of Katanga Mining Ltd, March 31, 2011, 340 pp.
30. R. T. Jones, T. R. Curr. Pyrometallurgy at Mintek. 'Southern African Pyrometallurgy 2006', 2006, pp 127-150.
31. Состояние МСБ никеля Российской Федерации на 1 января 2018 г.
32. Производство металлов за полярным кругом. Технологическое пособие. — под ред. Н. Г. Кайтмазова. — Норильск: Антей лимитед, 2007.
33. Резник И. Д., Ермаков Г. П., Шнеерсон Я. М. Никель: в 3 т. — М. : ООО «Наука и технологии», 2000. — 384 с.
34. А. Н. Федоров, А. А. Комков, В. Н. Брузк и др. Освоение процесса Ванюкова для переработки окисленных никелевых руд на Южно-уральском никелевом комбинате // Цветные металлы. 2007. № 12. С. 33–37.
35. В. И. Костин. Опыт работы печи Ванюкова на ОАО «Комбинат Южуралникель» // Цветные металлы. 2008. № 11. С. 45–48.
36. M. V. Knyazev, A. G. Ryabko, L. B. Tsymbulov at all. Two-Zone Vaniukov Furnace: New Potential Copper and Nickel Production // Proc. of the Sohn International Symposium, San Diego, USA, August 27–31, 2006, Vol. 8, P. 327–334.
37. L. B. Tsymbulov, M. V. Knyazev, L. Sh. Tsemekhman at all. Pilot testing of a process treatment of Ni-containing copper concentrate after high-grade matte separation resulting in blister copper production in two-zone Vaniukov furnace // Proceedings of the sixth international Copper-Cobre Conference, The Carlos Diaz Symposium on Pyrometallurgy, Toronto, Ontario, Canada, August 25- 30, 2007, Vol. III (Book1), P. 397–409.
38. Л. Б. Цымбулов, М. В. Князев, Л. Ш. Цемехман и др. Опытно-промышленные испытания технологии брикетированного медно-никелевого концентрата в двухзонной печи Ванюкова // Цветные металлы — 2008. — № 6. — С. 30–36.

gost.e-ecolog.ru