

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

Палецкий Владимир Андреевич

Устройство системы аспирации для снижения выбросов на гидрометаллургическом
комплексе горнорудного месторождения

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

6B05206 – «Инженерная экология»

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

Палецкий Владимир Андреевич

Устройство системы аспирации для снижения выбросов на гидрометаллургическом
комплексе горнорудного месторождения

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

6B05206 – «Инженерная экология»

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Каззахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О. А. Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой
«Химические процессы и
промышленная экология»
Канд. техн. наук, доцент
Ш. Н. Кубекова
«9» июня 2025г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Устройство системы аспирации для снижения выбросов на
гидрометаллургическом комплексе горнорудного месторождения»

6B05206– Инженерная экология

Выполнил:

Палецкий. В. П.

Рецензент
PhD, ассистент-профессора

Егемова Ш. Б.

«9» июня 2025 г.

Научный руководитель
К.т.н, ассоциированный профессор
«Химические процессы и
промышленная экология»

Нурмакова С. М.
«9» июня 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О. А. Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

6B05206 – Инженерная экология

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой
«Химические процессы и
промышленная экология»

Канд. техн. наук, доцент

Куз Ш. Н. Кубекова

«9» июня 2025г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Палецкому Владимиру Андреевичу

Тема: «Устройство системы аспирации для снижения выбросов на гидрометаллургическом
комплексе горнорудного месторождения»

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам № 26 от "29" 01 20 25 г.

Срок сдачи законченной работы «10» июня 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: Проект НДС для ТОО «Irkaz Metal Corporation»

Краткое содержание дипломной работы:

а) Основные виды систем аспирации

б) Решение проблемы аспирации на предприятии ТОО «Irkaz Metal Corporation»

в) Расчет эколого-экономической эффективности внедрения дополнительного скруббера

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

представлены 54 слайдов презентации работы

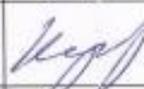
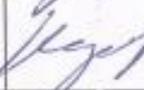
Рекомендуемая основная литература: из 20 наименований учебных материалов

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение, обоснование актуальности, цели и задач	18.03.2025	Выполнено
Классификация технологий аспирации	02.04.2025	Выполнено
Общая характеристика предприятия ТОО «Irkaz Metal Corporation»	16.04.2025	Выполнено
Эколого-экономическая эффективность внедрения скруббера	01.05.2025	Выполнено
Заключение и выводы	5.06.2025	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу суказанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	к.т.н С.М.Нурмакова	21.03.2025	
Классификация технологий аспирации	к.т.н С.М. Нурмакова	03.04.2025	
Общая характеристика предприятия ТОО «Irkaz Metal Corporation»	к.т.н С.М. Нурмакова	18.04.2025	
Эколого-экономическая эффективность внедрения скруббера	к.т.н С.М.Нурмакова	03.06.2025	

Научный руководитель

 Нурмакова С. М.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Палецкий В. А

Дата

" 9 " июня 2025г.

АҢДАТПА

Дипломдық жоба 53 беттен, 10 суреттен, 11 кестеден, 20 әдебиет көзінен тұрады.

Осы дипломдық жобада «Irkaz Metal Corporation» ЖШС кен-металлургиялық кешенінде зиянды заттардың шығарындыларын төмендетудің тиімді шешімі ретінде аспирациялық жүйе қарастырылады. Жобаның өзектілігі Қазақстан Республикасының экологиялық заңнамасының талаптарын сақтау қажеттілігімен және өндірістік қауіпсіздік пен қоршаған ортаны қорғауға қойылатын талаптардың артуымен негізделеді.

Аспирацияның қазіргі заманғы технологиялары – циклондар, жеңді және электр сүзгілері, Вентури скрубберлері және гибриді қондырғылар талданды. Олардың қолдану салалары, салыстырмалы тиімділігі және кен-металлургиялық кешендерде енгізу мүмкіндіктері анықталды. Экологиялық бақылаудың автоматтандырылуына, интеллектуалды датчиктер мен SCADA жүйелерін қолдануға ерекше назар аударылды.

Кәсіпорынның НДВ жобасынан алынған шығарындылар туралы деректер негізінде аспирациялық жүйені енгізуге дейінгі және кейінгі рұқсат етілген шығарындылардың (ПДВ) есебі жүргізілді. Жоба бойынша техникалық-экономикалық негіздеме жасалып, негізгі шығындар, өтелу мерзімі және жылдық үнемдеу есептелді.

Ұсынылған аспирациялық жүйе шаң, тұз қышқылы және күкірт диоксиді шығарындыларын санитарлық нормаларға сәйкес деңгейге дейін төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл жоба «Irkaz Metal Corporation» ЖШС-нің қолданыстағы тазарту жүйелерін жаңғырту аясында іске асырыла алады және кен-металлургия саласындағы ұқсас кәсіпорындарға бейімделуге мүмкіндік береді.

АННОТАЦИЯ

Дипломный проект содержит 53 страницы, 10 рисунков, 11 таблиц, 20 источников литературы. В данном дипломном проекте рассматривается система аспирации как эффективное решение по снижению выбросов вредных веществ на гидрометаллургическом комплексе горнорудного предприятия ТОО «Irkaz Metal Corporation». Актуальность проекта обусловлена необходимостью соблюдения норм экологического законодательства Республики Казахстан, а также повышением требований к промышленной безопасности и охране окружающей среды. Проанализированы существующие технологии аспирации: циклоны, рукавные и электрофильтры, скрубберы Вентури и гибридные установки. Определены их области применения, сравнительная эффективность и возможности внедрения на объектах ГМК. Особое внимание уделено автоматизации экологического контроля, использованию интеллектуальных датчиков и SCADA-систем. На основании проектной документации и данных по выбросам, полученных из НДВ предприятия, выполнены расчёты предельно допустимых выбросов (ПДВ) до и после внедрения системы аспирации. Проведено технико-экономическое обоснование проекта, рассчитаны капитальные затраты, срок окупаемости и годовая экономия от внедрения оборудования. Предлагаемая система аспирации обеспечивает снижение выбросов пыли, HCl и SO₂ до санитарно допустимого уровня, соответствующего нормативам. Проект может быть реализован в рамках реконструкции и модернизации действующих очистных сооружений ТОО «Irkaz Metal Corporation», а также адаптирован для аналогичных объектов в горно-металлургической отрасли.

ANNOTATION

The graduation project consists of 53 pages, 10 pictures, 11 tables, 20 sources of literature. This project explores the implementation of an aspiration system as an effective solution for reducing harmful emissions at the hydrometallurgical complex of the mining enterprise LLP “Irkaz Metal Corporation.” The relevance of the project is driven by the need to comply with the environmental legislation of the Republic of Kazakhstan, as well as the growing requirements for industrial safety and environmental protection. Modern aspiration technologies such as cyclones, bag filters, electrostatic precipitators, Venturi scrubbers, and hybrid systems are analyzed. Their areas of application, comparative efficiency, and implementation potential at mining and metallurgical facilities are identified. Special attention is given to automation of environmental monitoring through the use of intelligent sensors and SCADA systems. Based on emissions data from the enterprise’s emissions permit project (NDV), calculations of maximum permissible emissions (MPE) before and after the implementation of the aspiration system were performed. A techno-economic assessment of the project was carried out, including capital expenditures, payback period, and annual savings. The proposed aspiration system ensures the reduction of dust, HCl, and SO₂ emissions to sanitary acceptable levels in accordance with national standards. The project can be implemented as part of the modernization of existing gas cleaning facilities at LLP “Irkaz Metal Corporation” and can be adapted to similar enterprises in the mining and metallurgical industry.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1 Литературный обзор	12
1.1 Общая характеристика загрязнений на предприятиях ГМК	12
1.2 Понятие и назначение систем аспирации	12
1.3 Классификация технологий аспирации	13
1.3.1 Циклонные системы аспирации	13
1.3.2 Рукавные фильтры	15
1.3.3 Электрофильтры	17
1.3.4 Скруббер Вентури	18
1.3.5 Гибридные и каскадные установки	20
1.4 Зарубежный и казахстанский опыт внедрения аспирационных систем	22
2 Общая характеристика предприятия ТОО «Irkaz Metal Corporation»	23
2.1 Общие сведения о ТОО «Irkaz Metal Corporation», район размещения	23
2.2 Характеристика технологии производства и тех оборудования ТОО «Irkaz Metal Corporation»	24
2.2.1 Технологический цикл переработки окисленных медных руд	24
2.2.2 Технологическое оборудование ТОО «Irkaz Metal Corporation»	27
2.3 Анализ выбросов на предприятии ТОО «Irkaz Metal Corporation»	28
2.4 Пространственное распределение загрязнений	30
2.5 Оценка существующих систем аспирации на предприятии	32
2.6 Проблемы и слабые места аспирации	32
3 Решение проблемы аспирации электролизного цеха. Установка скруббера Вентури	34
3.1 Устройство и принцип действия скруббера	34
3.2 Система мониторинга выбросов на предприятии ТОО «Irkaz Metal Corporation»	36
3.3 Предлагаемое решение для модернизации электролизного цеха	37
3.4 Методология и расчет скруббера Вентури	39
4 Расчёт НДС и сопоставление с нормативами	41
4.1 Нормативно-правовая база	41
4.2 Методика расчета	42

4.3 Исходные данные для расчета	44
4.4 Расчет ПДВ до аспирации	44
4.5 Расчет ПДВ после аспирации	45
4.6 Сопоставление с нормативами и выводы	45
5 Технико-экономическое обоснование внедрения системы аспирации	47
5.1 Цели обоснования	47
5.2 Основные статьи затрат	48
5.3 Экономические выгоды от внедрения	48
5.4 Срок окупаемости проекта	49
5.5 Дополнительные преимущества	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	54

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия гидрометаллургического профиля, имеют дело с одной из самых важных проблем, такой как загрязнение атмосферного воздуха из-за выбросов пыли и токсичных газов. Гидрометаллургические комплексы, которые играют важную роль в цепочке переработки руд, включают в себя несколько стадий технологического процесса - от дробления и измельчения до агломерации, технологий кучного выщелачивания, фильтрации, осаждения, экстракции и электролиза. Все данные стадии сопровождаются выбросами вредных веществ, из них преобладают аэрозоли твёрдых частиц, оксиды серы и азота, хлороводород и соединения тяжёлых металлов. С учётом этого, актуальными становятся задачи разработки и внедрения инженерных решений, направленных на снижение выбросов на источники их образования. В дипломном проекте предложен метод снижения концентрации серной кислоты в цехе электролиза, путем внедрения дополнительной установки Скруббер Вентури.

Цель проекта: проектирование и обоснование внедрение с технической и экономической точек зрения системы аспирации, предназначенной для минимизации выбросов вредных веществ в атмосферный воздух, исходящих от технологических узлов гидрометаллургического комплекса на примере ТОО «Irkaz Metal Corporation».

Задачи проекта:

- 1) Провести аналитический обзор современных аспирационных систем, применяемых в металлургической и смежных отраслях;
- 2) Идентифицировать и структурировать источники загрязнений на объекте исследования;
- 3) Сравнить проектные показатели выбросов с фактическими данными по предприятию;
- 4) Разработать расчетную модель для выбора наилучшего технического решения;
- 5) Провести вычисления по эффективности удаления загрязняющих веществ и ожидаемому снижению уровня выбросов;
- 6) Выполнить оценку экономической эффективности внедрения предложенной системы;

Объект исследования: промышленное предприятие, специализирующееся на добыче и переработке медьсодержащих руд ТОО «Irkaz Metal Corporation»

Предмет исследования: очистка воздуха с повышенным содержанием в нем серной кислоты.

Практическое значение: предложенные в дипломной работе инженерные подходы могут быть внедрены не только на рассматриваемом предприятии, но и на других аналогичных промышленных объектах, использующих схожие технологические процессы и оборудование, с целью уменьшения вредного воздействия на атмосферный воздух.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общая характеристика загрязнений на предприятиях ГМК

Одной из наиболее энерго-затратных и наиболее чувствительных к экологическим аспектам промышленности является горно-металлургическая отрасль. Производственные цепочки, представленные цепочками от извлечения полезных ископаемых до качественной продукции, сопровождаются высоким уровнем экологического воздействия. Так, среди ее основных экологических последствий можно выделить загрязнение атмосферы, водных объектов, почвенного покрова и формирование огромных объемов твердых отходов и шлаков. На гидро-металлургических предприятиях производится значительная выработка в атмосферу вредных выбросов, образующихся при дроблении и измельчении, выщелачивании, осаждении и других операциях. В этом наборе твердых фракций (пыль, зола и других) и химически активных газов (диоксид серы, оксиды азота и углерода, хлороводород, а также аэрозоли тяжелых металлов, свинец, медь, кадмий и др.) создают основное засорение.

Особенно опасными считаются:

- мелкодисперсные пылевые фракции PM10 и PM2.5 — способны проникать глубоко в лёгкие и практически не выводятся из организма;
- кислотные газы (HCl, SO₂, NO_x) — взаимодействуют с влагой, образуя агрессивные аэрозоли;
- аэрозольные формы тяжёлых металлов — обладают высокой токсичностью и способны накапливаться в биологических тканях.

Наличие подобных загрязнений значительно ухудшает санитарные условия в производственных помещениях и оказывает негативное влияние на окружающую среду, включая здоровье населения, находящегося в зоне воздействия предприятия.

1.2 Понятие и назначение систем аспирации

Система аспирации это кросс-функциональные решения, направленные на захват и удаление загрязненного воздуха, богатого в аэрозолях, пыли, парах и газах, непосредственно у источника его появления. Эти установки имеют непереносимое значение почти для всех мануфактурных объектов, особенно в горнорудных и металлургических компаниях, создающих большие по загрязнению выбросы в производственную среду и атмосферу путем дробления, переработки, плавления и термической обработки материалов. Существуют различия между аспирацией и вентиляцией - система аспирации работает рядом с источником загрязнения: участки контролируемого образования (например, печи, бункеры, ванны или пункты погрузки) оборудуются индивидуальными присосками и фильтрационными устройствами. Аспирация (от лат. aspiratio - выдыхание, влось воздуха) с терминологической стороны - это процесс управляемого удаления загрязненного воздуха из места его появления и

последующего прохождения стадии очистки и утилизации - либо в атмосферу через специальные трубы, либо после обработки опять в воздушную среду.

1.3 Классификация технологий аспирации

Современные методы аспирации можно классифицировать по типу воздействия и принципу фильтрации:

Таблица 1.1 - Виды и принципы работ систем аспирации

Тип установки	Принцип работы	Применение
Циклонные аппараты	Центробежное отделение частиц	Крупнодисперсная пыль, дробление
Рукавные фильтры	Проход воздуха через тканевые элементы	Шлам, мелкодисперсная пыль
Электрофильтры	Электростатическое осаждение	Тонкодисперсная пыль, металлургия
Скрубберы	Взаимодействие с жидкой фазой	Газопылевые смеси, кислотные пары
Гибридные установки	Комбинирование методов очистки	Разные типы загрязнений

1.3.1 Циклонные системы аспирации

Циклоны являются одними из самых распространенных и простых в технологическом исполнении устройств, предназначенных для удаления твердых частиц из воздушных потоков. Их популярность объясняется высокой эффективностью, особенно в работе с крупнодисперсной пылью, что имеет важное значение для предприятий в горно-металлургической отрасли. В этих производственных процессах циклоны применяются на этапах дробления, обжига, транспортировки и первичной обработки рудных материалов, где образование пыли достигает значительных объемов. Наиболее распространены так называемые батарейные циклоны — модульные устройства, которые объединяют несколько циклонов в одной системе. Такой подход позволяет значительно увеличить производительность и повысить эффективность улавливания мелких частиц. На многих объектах ГМК циклонные установки работают в сочетании с другими воздушными фильтрами, такими как рукавные фильтры или скрубберы, что обеспечивает многоуровневую очистку от твердых и газообразных загрязнителей. Во многих случаях циклоны выступают в

качестве предварительной стадии очистки перед более тонкими фильтрационными модулями.

Принцип работы циклона основывается на действии центробежных сил. Загрязненный воздух подается в цилиндрический корпус аппарата под углом, создавая внутри вихревое движение. За счет центробежного ускорения более тяжелые частицы перемещаются к стенкам корпуса, теряя кинетическую энергию и оседая в нижней части устройства — пылесборнике. Чистый воздух, напротив, поднимается по внутреннему каналу и выводится через выпускной патрубок.

Преимущества циклона:

- Простота конструкции и минимальные требования к обслуживанию;
- Отсутствие подвижных механических элементов;
- Высокая надёжность и устойчивость к износу;
- Возможность эксплуатации при высоких температурах и агрессивных средах.

Недостатки:

- Ограниченная эффективность при улавливании мелкодисперсной пыли;
- Необходимость дополнительной очистки;
- Занимают значительное пространство при большой производительности.

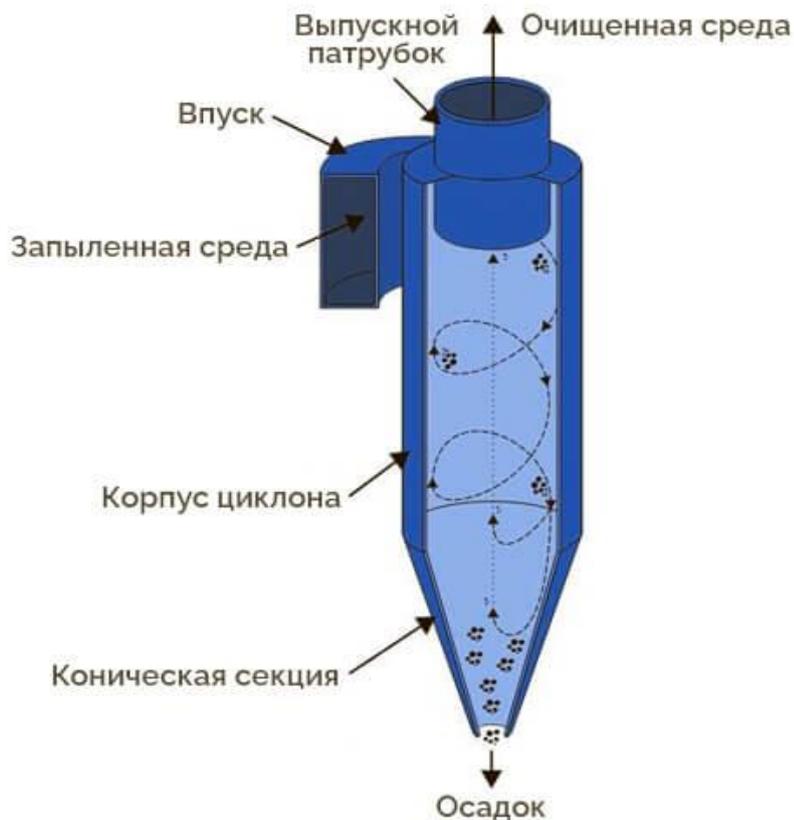


Рисунок 1.1 - Принцип работы циклона Цн - 15

1.3.2 Рукавные фильтры

Тканевые фильтры, или рукавные, как они еще называются, представляют из себя эффективные стационарные газовые аппараты для сухой очистки, широко применяемые в промышленности для улавливания аэрозольных и мелкодисперсных пылевых фракций. В отличие от, например, циклонов, конструктивно данное оборудование обеспечивает значительно более качественную очистку газов, позволяя эффективно улавливать даже мелкодисперсные частицы размером менее 1 мкм.

На горно-металлургических объектах рукавные фильтры применяются, как правило, после циклонов или мокрых скрубберов, на заключительных стадиях очистки в предполагаемо «чистом» газе, что обеспечивает, в числе прочего, минимально возможное загрязнение выходного воздуха, особенно в санитарно-защитных зонах. Кроме того, фильтры этой группы используются в случаях, где требуется соблюдение экологических нормативов и требований к качеству воздуха внутри помещений.

Принцип действия: Фильтрация осуществляется путём прохождения запылённого газа через специальную фильтрующую ткань, расположенную в форме рукавов. Пылевые частицы осаждаются на внутренней или внешней поверхности ткани (в зависимости от конфигурации), в то время как очищенный воздух покидает установку через выпускной канал. Накопившаяся

пыль периодически удаляется при помощи встроенной системы регенерации — механической, импульсной или вибрационной.

Преимущества рукавных фильтров:

- Очень высокая эффективность пылеулавливания;
- Подходят для удаления высокотоксичной и тонкодисперсной пыли;
- Эффективны при высокой концентрации загрязнений;
- Возможность автоматизации и непрерывной эксплуатации.

Недостатки:

- Чувствительность к влажности и химически агрессивным веществам;
- Значительные габариты при высокой производительности;
- Требуют периодической регенерации и замены фильтрующих элементов;

- Более высокая стоимость по сравнению с простыми системами.

Показатели эффективности:

- Улавливание частиц размером более 1 мкм — до 99,9%;
- Для фракций менее 1 мкм — до 99% и выше;
- Концентрация остаточной пыли в очищенном воздухе — менее 10 мг/м³, что позволяет использовать данные фильтры даже в экологически чувствительных зонах.

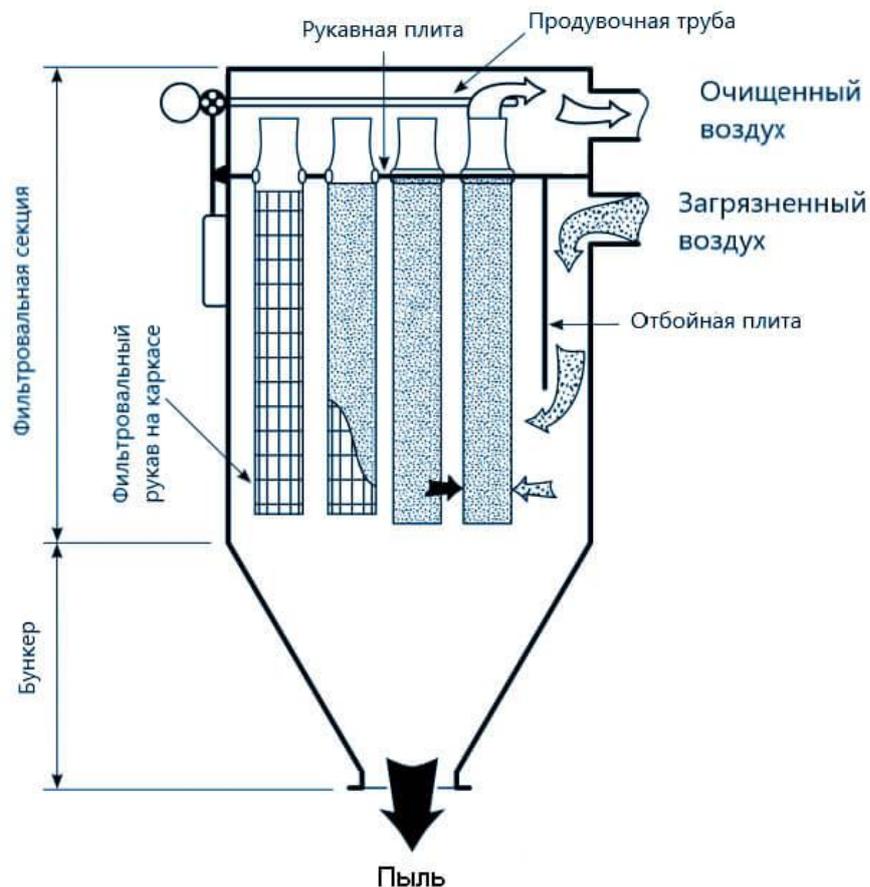


Рисунок 1.2 – Принцип работы рукавного фильтра

1.3.3 Электрофильтры

Электростатические фильтры, известные также как электрофильтры, предназначены для качественной очистки газов от твердых частиц с помощью электростатического притяжения. Эти установки широко используются на предприятиях горно-металлургической отрасли, особенно в условиях высоких температур, где возникает большое количество мелкой пыли и дымовых аэрозолей.

Электрофильтры бывают различных конструкций: их можно встретить в горизонтальном и вертикальном исполнении, с односторонним или двусторонним движением газа. Их главная особенность заключается в высокой эффективности улавливания мелкодисперсных и трудноуловимых частиц. Это делает их незаменимыми для работы с печами, сушилками и другими тепловыми агрегатами. Применение электрофильтров становится особенно важным при соблюдении строгих экологических стандартов, например, в санитарно-защитных зонах или рядом с жилыми массивами.

Принцип работы: Для очистки загрязненного воздуха применяется процесс осаждения частиц в электрическом поле с высоким напряжением. Загрязненный поток проходит через зону между электродами: ионизирующим (отрицательно заряженным) и осадочным (заземленным). В этой зоне частицы заряжаются и под действием электрического напряжения притягиваются к пластинам, где они осаждаются. Для удаления осевших загрязнений чаще всего применяется встряхивание или импульсные выключения осевших частиц в нижние приемники.

Преимущества:

- высокая степень очистки даже при больших объёмах газов;
- устойчивость к работе при повышенных температурах (до 500 °С);
- минимальное сопротивление воздушному потоку;
- длительный ресурс эксплуатации с низкими затратами на обслуживание.

Недостатки:

- значительная стоимость оборудования и сложности при наладке;
- чувствительность к составу и физико-химическим свойствам газа;
- наличие риска искрообразования при наличии паров горючих веществ;
- зависимость эффективности от свойств пыли, особенно её электропроводности.

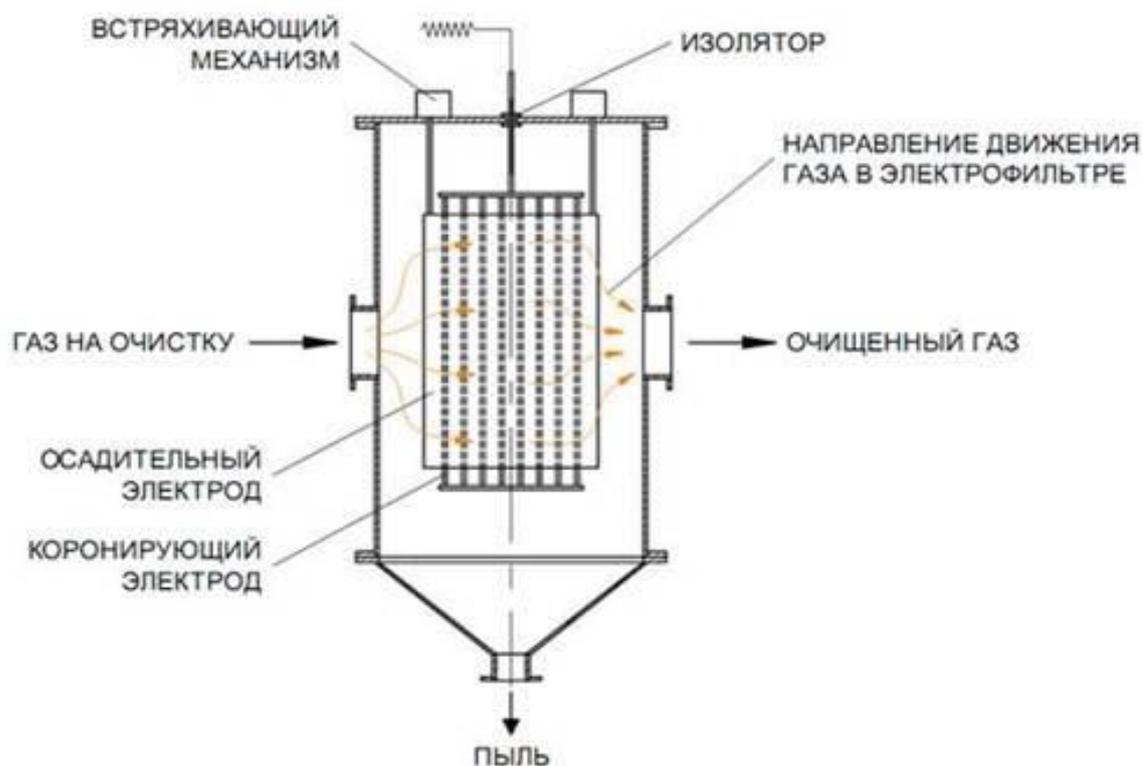


Рисунок 1.3 – Принцип работы электрофильтра

1.3.4 Скруббер Вентури

Система скруббер-Вентури относится к числу наиболее эффективных устройств мокрого типа для очистки газов от газообразных, пылевых и аэрозольных веществ. Процесс происходит за счёт интенсивного взаимодействия частиц газа с каплями жидкости в зоне узкого сечения воздушной трубы. Современная многорядная система Вентури используется на крупных промышленных предприятиях горнодобывающей и металлургической промышленности, где предусмотрена глубокая комплексная помывка отходящего воздуха. В системе Вентури чаще всего является одним из блоков стационарных методов очистки газа (сразу после циклона — вторым блоком очистки, или перед финальным рукавным фильтром — предварительной сопровождающей очисткой). На предприятии ТОО «Irkaz Metal Corporation» скруббер Вентури используется в цехе электролизного производства меди.

Принцип действия: Скруббер Вентури очищает загрязнённый воздух с помощью интенсивного контакта газа с жидкостью в узком горле трубы — конфузоре. Загрязнённый газ поступает в трубу с сужающимся сечением, где скорость потока резко увеличивается. В зону горловины впрыскивается вода (или другая жидкость), которая под действием высокой скорости дробится на мелкие капли. Частицы пыли сталкиваются с каплями воды и увлекаются вниз потоком. Смесь газа и капель затем поступает в каплеуловитель, где происходит отделение влаги от уже очищенного воздуха.

Преимущества скруббера Вентури:

- высокая степень очистки даже при значительном загрязнении;
- эффективное удаление как твёрдых, так и газообразных примесей;
- простота конструкции и удобство в эксплуатации;
- возможность многократного использования очищающей жидкости;
- дополнительный эффект охлаждения газов при контакте с жидкостью.

Ограничения и недостатки:

- образование значительных объёмов сточных вод, требующих очистки;
- необходимость утилизации или нейтрализации загрязнённого шлама;
- высокая энергоёмкость из-за значительного аэродинамического сопротивления (до 3000–6000 Па);
- износ конструктивных элементов (форсунок, стенок горловины) при работе с абразивной пылью.



Рисунок 1.4 - Принцип работы Скруббера Вентури

1.3.5 Гибридные и каскадные установки

С ростом строгости экологических нормативов к выбросам на производстве, особенно вблизи жилых площадей и заповедников, предприятия горно-металлургического комплекса применяют все более совершенные очистные технологии. Среди других вариантов, эксперты в области экологии и ТЭЖ рекомендуют схемы гибридной или каскадной аспирации, в которых одновременно используется целый спектр различных методов очистки. Гибридные решения — это интегрированная технологическая система, где параллельно функционируют одновременно разные типы фильтрации: механическая, инерционная, электростатическая, хемосорбция и еще ряд инновационных методов. Так, специалисты могут использовать бленд-модульное оборудование — общий корпус, в котором работают электрофильтр и рукавный фильтр, либо скруббер с последующим введением хемосорбции. В свою очередь, каскадные схемы разнятся по устройству: здесь все устройства соединяются в ленту домино, каждый узел участвует в вычисленном этапе очистки. Например, газ сначала передается в циклон для грубого удаления, потом в скруббер для охлаждения и первичного осаждения, а в конце пути в рукавный фильтр. Ну, и в итоге легкий обзор на тему: оборудование для очистки промышленного воздуха относится к ведущему направлению "зеленой" модернизации наших заводов и цехов. Применительно к Чермету, такое оборудование позволяет нам значительно уменьшить выбросы в атмосферу. Компетентная инженерная проработка конструкции, точное сочетание комплектующих и их четкая симфония дают возможность добиться наивысшего уровня профилактических мероприятий.

Пример гибридной схемы: электрофильтр + рукавный фильтр

На практике широкое распространение получила следующая последовательность:

1. Электрофильтр — первая ступень очистки, обеспечивающая удаление до 90–95% мелкодисперсной пыли;
2. Рукавный фильтр — вторая стадия, обеспечивающая снижение концентрации пыли до $<10 \text{ мг/м}^3$;
3. Адсорбер (при необходимости) — финальная стадия, позволяющая улавливать газовые примеси, такие как хлороводород (HCl), диоксид серы (SO₂) и др.

Итоговая эффективность по пыли может достигать 99,9%, а по газообразным веществам — до 95%, что делает такие установки крайне эффективными для применения в экологически чувствительных регионах.

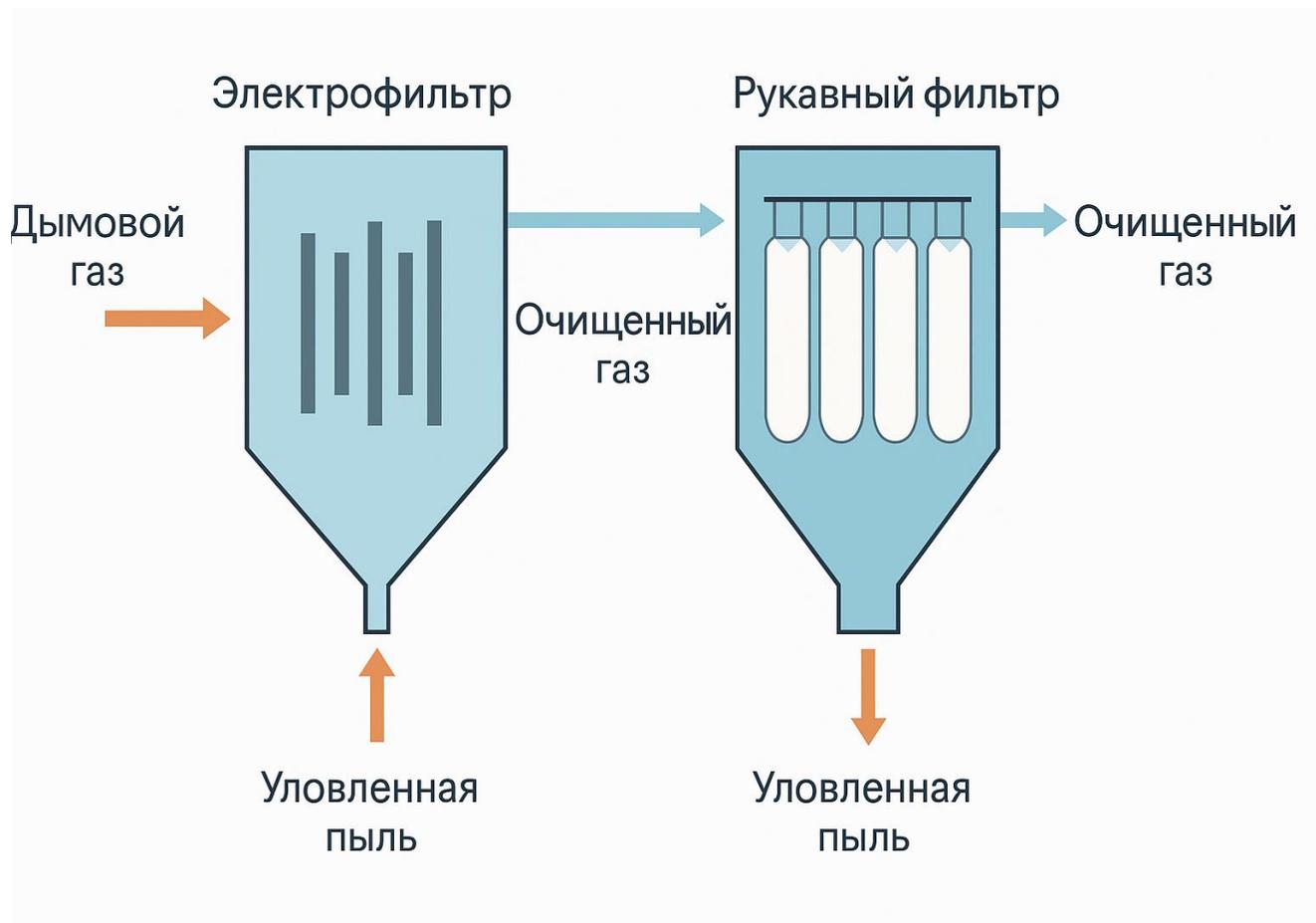


Рисунок 1.5 – Пример гибридной схемы

1.4 Зарубежный и казахстанский опыт внедрения аспирационных систем

Во многих странах аспирационные системы являются обязательным элементом проектирования промышленных объектов. В Казахстане нормативная база включает:

- Экологический кодекс РК (с изменениями 2021 г.);
- СанПиН 1.2.3.4-2023;
- ГОСТ 17.2.3.01–86, СН РК 1.04-03-2021;
- Методические указания по расчёту ПДВ.

Процесс экологизации производственных процессов необходим для участия в разработке законов и соблюдения экоприродоохранного законодательства, что является частью проекта "Нормативы допустимых выбросов (НДВ)". Эти разработки в обязательном порядке ставят целью снижение техногенной нагрузки на атмосферу.

Эти же решения успешно внедрены в крупных промышленных предприятиях Казахстана, таких как "KAZ Minerals", ArcelorMittal и Ирказ, что свидетельствует о положительном опыте этих мер по выполнению экологических требований.

2 Общая характеристика предприятия ТОО «Irkaz Metal Corporation»

2.1 Общие сведения о ТОО «Irkaz Metal Corporation», район размещения

ТОО «Irkaz Metal Corporation» является частной компанией, которая специализируется на добыче и переработке медь-содержащего сырья с применением передовых методов гидрометаллургии. Производственные объекты компании находятся на территории Карагандинской области, непосредственно в районе Борлы. Предприятие способно выпускать 5000 тонн катодной меди в год.

Конечным продуктом для предприятия служит медная руда, добытая на месторождении Борлы, принадлежащем ТОО «COPPER KZ». Получаемое сырье подвергается переработке с целью последующего выпуска катодной меди.

Объем потребляемой руды в год составляет порядка 2 500 000 кубометров, что равно 4 575 000 тонн. Данный объем обеспечивает стабильность и бесперебойность производственного процесса, что, в свою очередь позволяет достичь запланированных показателей по выпуску готовой продукции.

Предприятие функционирует круглосуточно в две смены по 12 часов, при этом используется вахтовый метод организации труда с продолжительностью вахты 15 суток.

Вахтовый посёлок располагается на расстоянии 1200 метров от основного производственного комплекса. Это временное поселение предназначено для размещения сотрудников, работающих в условиях удалённости или трудной транспортной доступности. Посёлок выполняет не только жилую, но и вспомогательную функцию. В его составе имеются жилые помещения, столовые, медицинские кабинеты, объекты для отдыха и досуга, спортивные залы, прачечные и другие элементы необходимой инфраструктуры.

Источники выбросов на производстве

Согласно проекту нормативов допустимых выбросов (НДВ), утверждённому в 2024 году, на территории предприятия функционируют технологические участки, выступающие источниками загрязняющих выбросов в атмосферу:

- склад химических реагентов;
- узел приготовления растворов;
- насосное оборудование;
- участок кучного выщелачивания;
- цех электролиза;
- фильтрационно-осадочный участок;
- зона хранения и отгрузки готовой продукции.



Рисунок 2.1 - Компания по производству меди «Irkaz Metal Corporation»

2.2 Характеристика технологии производства и тех оборудования ТОО «Irkaz Metal Corporation»

Работа ГМК на месторождении Борлы по выпуску катодной меди основана на переработке продуктивных растворов по технологии, включающей в себя две стадии экстракции, одну стадию реэкстракции и электролиз с получением готовой продукции.

Для производства 5000 тонн катодной меди требуется извлечь около 4 миллионов тонн окисленной руды.

Продуктивный раствор, выделяемый из процесса выщелачивания, движется в отстойник, именуемый отстойник продуктивных растворов (PLS), далее по трубопроводному узлу поступает в блок экстракции, где проходит стадию очистки и концентрирование раствора в раствор цветоохранителя, реактивы сорбируют зону меди, после чего электролит, содержащий медь направляют в цех электролиза, где медь выпадает на катоды из нержавеющей

стали. Итоговое производственное представление составляет 5000 тонн катодной меди в год.

2.2.1 Технологический цикл переработки окисленных медных руд

Процесс выщелачивания. Процесс выщелачивания является начальной стадией добычи меди из руды. Данный процесс включает в себя следующие этапы:

1. Подготовка руды: Руда измельчается и укладывается в кучу.

2. Орошение кучи: На кучу распыляется выщелачивающий раствор, содержащий серную кислоту.

3. Выщелачивание: Выщелачивающий раствор проникает через кучу руды, вымывая медь из руды, что приводит к образованию продуктивного раствора.

4. Сбор продуктивного раствора: Продуктивный раствор, содержащий медь в растворенной форме, собирается через дренажные системы и направляется в отстойник продуктивных растворов.

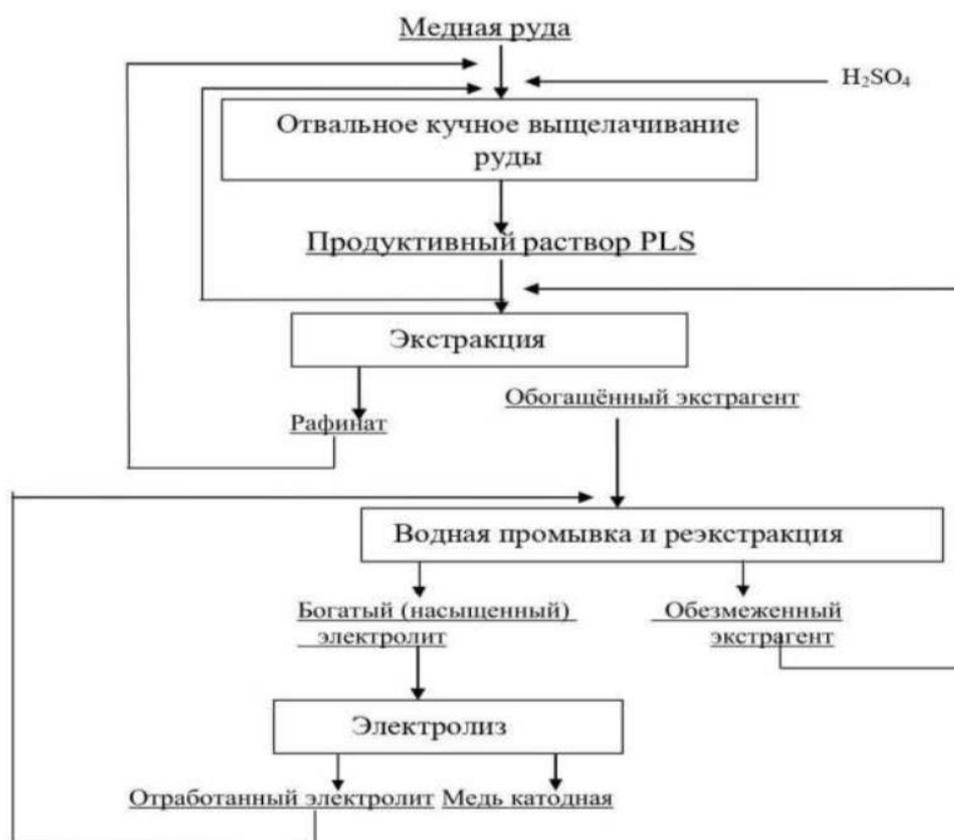


Рисунок 2.2 – Технологическая схема переработки руды

Продуктивный раствор. После процесса выщелачивания продуктивный раствор утекает в отстойник продуктивных растворов через дренажные трубы. В районе кучи расположен отстойник для сбора продуктивного раствора и резервный отстойник. Отстойники представляют собой искусственные

водонепроницаемые водоемы противофильтрационным экраном из геомембраны толщиной 1,5 мм. Во избежание потерь растворов и загрязнения окружающей среды, конструкцией отстойников предусмотрены двойные противофильтрационные мембраны из полиэтилена согласно СНиП РК 1.04-14-2003. Объем отстойника продуктивных растворов составляет 12,0 тыс. м³

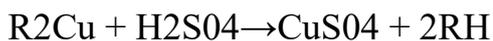
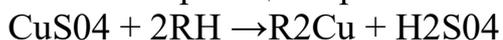
Отстойник промежуточных растворов. Для приема и перекачки продуктивных растворов кучного выщелачивания в цепи обеззараживания предусмотрен отстойник промежуточных растворов. Отстойник промежуточных растворов имеет прямоугольную форму бетонной облицовки. Слой геомембраны из полиэтилена высокой плотности. В целях предотвращения утечек растворов и загрязнения окружающей среды, конструкцией отстойников предусмотрено устройство двойной противофильтрационной мембраны из полиэтилена, согласно СНиП РК 1.04-14-2003 и рекомендаций по проектированию и строительству противофильтрационных устройств из геомембраны для гидротехнических сооружений. Объем отстойника 4000 м³.

Отстойник рафината. Для приема и перекачки рафинатных растворов после экстракционного извлечения меди в цепи экстрагентов предусмотрен отстойник рафината. Отстойник для рафинатных растворов является бассейном прямоугольной формы. Фундамент отстойника изготовлен из сборной железобетонной конструкции. В целях предотвращения утечек растворов и загрязнения окружающей среды конструкцией отстойников предусмотрено устройство двойной противофильтрационной мембраны из полиэтилена., согласно СНиП РК 1.04-14-2003 и рекомендаций по проектированию и строительству противофильтрационных устройств из геомембраны для гидротехнических сооружений. Объем отстойника рафината 7000 м³.

Для сокращения выбросов поверхность отстойников будет укрыта плёнкой (уменьшение эмиссий серной кислоты на 90%). В качестве альтернативы предусмотрено покрытие отстойников тремя слоями полипропиленовых шариков и другие покрытия.

Жидкостная экстракция. Экстракция растворителем или жидкостная экстракция представляет собой процесс ионного обмена в жидкости. Для извлечения меди из водного раствора меди ионы меди переносятся из органической фазы в процессе ионного обмена. Содержание меди в органической фазе переносится в электролит в секции зачистки.

Основные реакции протекают следующим образом:



Где R - экстракционный комплекс (органическое вещество).

Органическая фаза, которая была обеднена медью и отделена от водной фазы, готова к возвращению в процесс экстракции. Реакцию экстракции проводят в среде с низкой кислотностью (pH=1,8-2,1) и реакцию отгонки в среде с высокой кислотностью (концентрация кислоты около 170-180 г/л). Физическая концентрация процесса зависит от типа дисперсии во время операции смешивания между двумя фазами.

Обработанный осадок. Обработанный осадок извлекается из отстойников переносится в резервуар осадочным мембранным насосом. В резервуаре для обработанного осадка происходит перемешивание, обработанный осадок в органической фазе с помощью механического смесителя (с добавлением разбавителя и электролита). Водная фаза затем переносится в резервуар для хранения рафината, а органическая фаза возвращается в контур. В процессе экстракции используются реагенты: Лонглайт Хеморекс СР-150 (Хемокороль СР-150 Longlight), Не Купромекс 3302, Акорга М5640, Cognis LIX984, Мекстрал 5640Н или одобренный равноценно.

Электролиз - это окислительно-восстановительный процесс, происходящий на электродах при прохождении постоянного электрического тока через растворы или расплавы электролитов. На катоде происходит восстановление ионов меди (Cu^{2+}) до металлической меди (Cu^0), а на аноде - окисление ионов O_2 с образованием газообразного кислорода (O_2).

В гальванических элементах постоянный ток протекает через электролит между свинцовыми анодами и катодами из нержавеющей стали. Химическая реакция, которая происходит следующим образом:



Описание электролизного цеха приведено в главе 3.3.



Рисунок 2.3 – Электролизные ванны

2.2.2 Технологическое оборудование ТОО «Irkaz Metal Corporation»

Реагентная зона. Для хранения аварийных запасов есть в резвой зоне три резервуара для дизельного топлива, два для керосина и три для серной кислоты.

Объём резервуара для серной кислоты составляет 600м³, а для керосина и дизтоплива— по 30м³, соответственно.

Котел в электролизном цехе. Предусмотрено применение в случае аварийных отключений блочной дизель-электростанции (резервной) с целью подогрева растворов электролизного цеха. На данный момент на указанный процесс имеется заключение государственной экологической экспертизы по объекту «Оценка воздействия на окружающую среду к рабочему проекту «Строительство и эксплуатация гидromеталлургического комплекса»» от 09.08.2021 г. № М1-0028/21 от 09.08.2021г.

Котельная. На территории склада категорически функционируют две котельные с четырьмя водогрейными котлами марки DS-HW -TH-6000, причем два из них резервные (работающие только при аварийном отключении двух основных), а также двумя водогрейными котлами марки KBГ-0,6 ТТ работающие на угле. Хранение угля и золы от эксплуатации котла осуществляется в закрытых складах. Возводимое котельное сооружение осуществлено вторую очередь строительства.

Котельная вахтового поселка (площадка № 2). На территории вахтового поселка расположена котельная, снабженная двумя водогрейными котлами марки KBp-0,6 ТТ, работающими на угле. Хранение угля и золы от эксплуатации котельной осуществляется на крытых складах. В случае аварийных ситуаций предполагается использование блочной ДЭС (резервной), срок действия 10 дней в году.

2.3 Анализ выбросов на предприятии ТОО «Irkaz Metal Corporation»

Таблица 2.1 - Организованные источники загрязнения

№	Номер источника	Наименование источника	Количество организованных источников
1	0005	Емкость керосина	2
2	0006	Емкость дизельного топлива	3
3	0007	Емкость серной кислоты	3
4	0008	Водогрейный котел DS-WW-H-TW-2500	2
5	0011	Котел водогрейный DS-HW-TH-6000	4
6	0018	Цеха экстракции	1
7	0019	Котел водогрейный KBp-0,6 ТТ	2
8	6041	Поверхность пыления	4

Продолжение таблицы 2.1

9	0017	Дизель генератор (ДЭС)	1
10	6043	Отвал суглинка	1

Таблица 2.2 - Неорганизованные источники загрязнения

№	Номер источника	Наименование источника	Количество неорганизованных источников
1	6032	Разгрузка руды в штабель (Куча №1)	1
2	6033	Кучное выщелачивание	1
3	6034	Пруд для продуктивных растворов PLS	1
4	6035	Пруд рафината	1
5	6036	Пруд промежуточных растворов	1
6	6038	Разгрузка руды в штабель(Куча №2)	4
7	6047	Электролизные ванны	1
8	6049	Насосная станция склада керосина	1
9	6050	Насосная станция склада дизельного топлива	1
10	6051	Насосная станция склада серной кислоты	1
11	6052	Насосная продуктивных растворов (цех экстракции)	1
12	6053	Насосная продуктивных растворов	1
13	6054	Пруд для продуктивных растворов PLS (резервный)	1
14	6039	Пруд для продуктивных растворов PLS (45)	1
15	6044	Пруд для продуктивных растворов (44)	1
16	6038	Кучное выщелачивание (Куча №2)	1
17	6038	Открытая площадка	1

Таблица 2.3 - Перечень загрязняющих веществ на предприятии

Код ЗВ	Наименование загрязняющих веществ и состав группы суммаций	ПДК _{мр} (ОБУВ) мг/м ³	Класс опасности
0008	Взвешенные частицы РМ10 (117)	0,3	-
0010	Взвешенные частицы РМ2.5 (118)	0,16	-
0301	Азота (IV) диоксид (Азота диоксид) (4)	0,2	2
0304	Азот (II) оксид (Азота оксид) (6)	0,4	3
0322	Серная кислота (517)	0,3	2
0328	Углерод (Сажа, Углерод черный) (583)	0,15	3
0330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый, Сернистый газ, Сера (IV) оксид) (516)	0,5	3
0333	Сероводород (Дигидросульфид) (518)	0,008	2
0337	Углерод оксид (Окись углерода, Угарный газ) (584)	5	4
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) /в пересчете на углерод/ (60)	5	4
2732	Керосин (654*)	1,2	-
2754	Алканы С12–19 /в пересчете на С/(Углеводороды предельные С12-С19 (в пересчете на С); Растворитель РПК-265П (10)	1	4
2908	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния в %: 70-20 (шамот, цемент, пыль цементного производства - глина, глинистый сланец, доменный шлак, песок, клинкер, зола, кремнезем, зола углей. (494)	0,3	3
6007	0301 + 0330		
6042	0322 + 0330		
6044	0330 + 0333		

2.4 Пространственное распределение загрязнений

Загрязнения, вызванные промышленным процессом на территории ТОО «Irkaz Metal Corporation», имеют неоднородное пространственное распределение, связанное с особенностями текущей технологии и порядком размещения источников эмиссии. Наиболее высокие значения концентрации загрязняющих веществ зафиксированы в районах:

- электролизного производства, где отмечается образование кислотных парам, прежде всего, хлора;
- химического склада и узла растворения, где выделяются пыль и пары химреактивов;
- зоны открытого хранения и погрузочно-разгрузочных операций с сырьем, где механизмы локализации и обеспечения водно-пылевого режима отсутствуют, и загрязнения широко распространяются на открытом воздухе.

Региональные природные критерии могут сказываться на разнообразии распространения загрязнений. Установлена засушливая погода с ветром в этом месте, что способствует агрессивному переносу загрязнений за пределы заводского участка.

Результаты атмосферного мониторинга в границах санитарно-защитной зоны показали превышение ПДК по мелкодисперсной пыли (PM10, PM2.5), хлороводороду, сероводороду в электролизном цехе. Возникла необходимость усиления локализационных и впечатлительных мер по облегчению выброса загрязнений.

В работе нами планируется рассмотреть установление скруббера Вентури для удаления паров серной кислоты в электролизном цехе.



Рисунок 2.4 - Карта-схема ГМК с нанесенными на ней источниками загрязняющих веществ в атмосферу

2.5 Оценка существующих систем аспирации на предприятии

На производственных площадках ТОО «Irkaz Metal Corporation», в рамках экологической отчетности, с учетом утвержденного проекта НДВ и Плана охраны окружающей среды, реализованы следующие средства, для улавливания и гашения загрязненного воздуха:

- Скруббер типа Вентури в зоне электролиза, который выполняет функции мокрой очистки воздушной среды от кислотных аэрозолей и парами;
- Система водного пылегашения, применяемая в районе загрузки и транспортировки сырья, позволяет снизить рассеивание пылевых частиц;
- Мобильные вытяжные веревочные воздушные завесы, используемые на участке фильтрации и осаждения пыли, обеспечивают частичную канализацию вредных компонентов возле источника выброса;
- Вентиляционные установки с механическими фильтрами, установленные в насосных и растворных узлах, способствуют снижению загрязнения вредными веществами рабочей зоны.

Экономический анализ существующих аспирационных решений свидетельствует о том, что на ряде участков - в частности, в областях дробилок и пыли и в рудниках - выброс пылевых загрязнений и кислотных газов близится к предельно допустимым значениям, установленным нормативами.

Такая ситуация подчеркивает необходимость модернизации и улучшения существующих систем аспирации, особенно в свете ужесточающихся требований к экологической безопасности, санитарно-эпидемиологическому состоянию рабочей атмосферы в зданиях и на границах санитарно-защитной зоны.

2.6 Проблемы и слабые места аспирации

На основании анализа проектной документации и производственных масштабов предприятия ТОО «Irkaz Metal Corporation» можно выделить ряд уязвимых зон и системных недостатков в спроектированной системе аспирации:

- Отсутствие централизованной аспирационной сети в кардинальных зонах, таких как склад химических реагентов и участок фильтрации, создают предусловия для неравномерной локализации загрязнения;
- Ограниченная эффективность систем пылеподавления в условиях типичного для региона сухого и ветреного климата снижает общий уровень аспирации;
- Отсутствие средств автоматизированного контроля загрязненности воздуха в производственных помещениях не обеспечивает необходимости оперативного контроля ПДК;
- Ограниченная производительность установленного в электролизном цехе скруббера Вентури не покрывает потребности всего технологического комплекса.

Существующая на компании аспирационная система позволяет базовое уровень обработки воздушной среды. Однако отмечены недостаточность охвата и жёсткость способов очистки в условиях многокомпонентного загрязнения.

С учётом возникшего контекста, наиболее эффективным средством улучшения процесса является использование каскадных гибридных систем, объединяющих разработки всех четырёх способов очистки (инерционные - циклоны; мокрые - скрубберы; тканевые - рукавные фильтры; электростатические - электрофильтры). Кроме того, подразумевается совместное использование систем точного контроля и автоматизации, позволяющих в режиме реального времени контролировать эффективность очистки на всех этапах и управлять условиями в зависимости от изменившихся предпосылок.

3 Решение проблемы аспирации электролизного цеха. Установка скруббера Вентури

3.1 Устройство и принцип действия скруббера

1. Скруббер состоит из нескольких основных частей: труба Вентури и каплеуловитель и включает в себя также систему орошения и гидрозатвор.

2. Труба Вентури включает в себя конфузор, горловину и диффузор и служит для коагуляции (объединения) пылевых частиц аспирируемого воздуха. Для улучшения турбулентности аспирируемого воздуха и совмещения в одном элементе диффузора и поворота горловина выполнена переходом с круглого на прямоугольное сечение. Прямой участок трубы перед конфузуром служит для выравнивания пылевоздушного потока по сечению трубы Вентури. Угол раскрытия конфузуров составляет $24-28^\circ$, угол раскрытия диффузора 12° , орошение трубы Вентури осуществляется с помощью форсунки. Корпус изготавливается из стального листа толщиной 4 мм.

Режим работы трубы Вентури:

- скорость аспирационного воздуха в горловине 57-63 м/с;
- удельный расход воды на орошение при нормальных условиях и давлении воды 0,3-0,5 МПа ($3-5 \text{ кгс/см}^2$) 0,12-0,19 кг/м³.

3. Каплеуловитель - это центробежный циклон с центральным тангенциальным вводом пылящего потока, плёночное орошение внутренней стенки цилиндрического корпуса из стального листа толщиной 4 мм и служит для сепарации частиц пыли.

Плёночное орошение осуществляется с помощью каскада сопел, закачивающих воду касательно к стенке корпуса под углом 10° вниз. Соотношение межосевого расстояния входного и выходного патрубков и внутреннего диаметра каплеуловителя 3:1. Патрубки имеют соотношение сторон 2:1 и наклонены под углом $7^\circ 30'$ к горизонту для самотёчного слива шлама.

Режим работы каплеуловителя:

- скорость аспирационного воздуха в патрубках 20-22 м/с;
- удельный расход воды для создания плёнки 0,02-0,04 МПа ($0,2-0,4 \text{ кгс/см}^2$), 0,12-0,28 кг/м³.

4. Система для орошения используется для постоянной подачи воды в скруббер. Для осмотра предусмотрены смотровые люки. Для очищения воды от механических примесей используется фильтр с металлической сеткой $0,9 \times 0,9$ мм.

5. Нижняя часть каплеуловителя выполнена в виде конического днища с гидрозатвором, который устраняет подсос воздуха и повышает степень очистки.

Гидрозатвор – это труба с клапаном, который герметично закрывается при разрежении и открывается при сливе шлама. Это надёжный элемент системы. Устройство гидрозатвора приведено в рисунке 3.1.

6. Принцип работы: Воздух всасывается в трубу Вентури, при этом у горловины он развивает высокую скорость. Испарения, генерируемые

форсункой, разбиваются на капли и ускоряются. В данном случае происходит инерционное осаждение пыли. Не укрепившиеся на стенках конфузора капли и частицы пыли адсорбируются в эксгаустере, а затем они смываются пленкой воды.

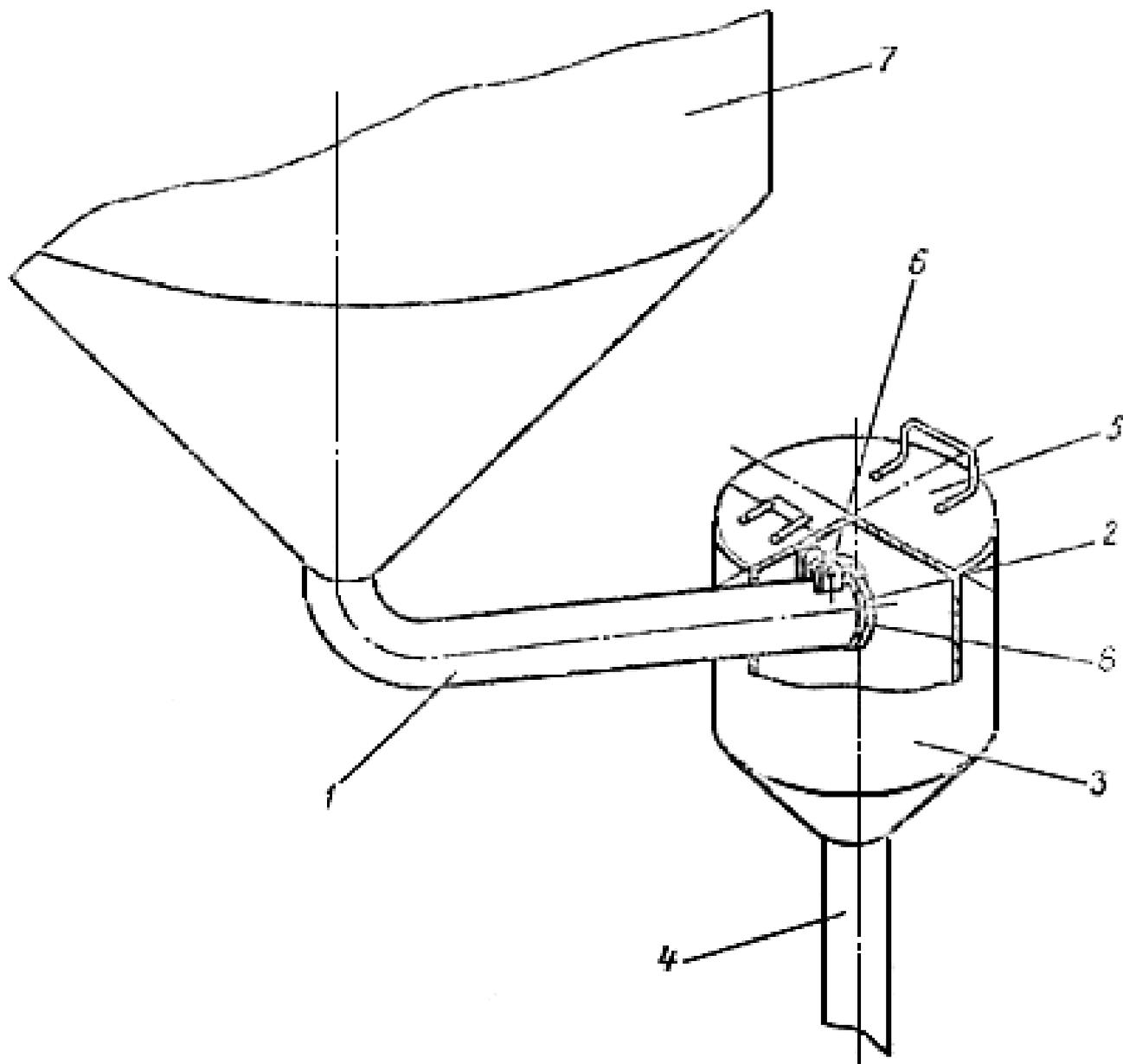


Рисунок 3.1 - Схема гидрозатвора

1 - труба; 2 - клапан; 3 - корпус; 4 - шламопровод; 5 - крышка; 6 - шарнир; 7 - каплеуловитель; 8 - прокладка

Таблица 3.1 - Технические характеристики трубы Вентури и каплеуловителя

№	Показатели	Значения
1	Подача аспирируемого воздуха, тыс. м ³ /ч	15,0
2	Диаметр, мм: горловины трубы Вентури каплеуловителя	290
		1150
3	Количество сопл, шт.	12
4	Объемный расход воды на пылеулавливание, м ³ /ч	3,42-5,10
5	Давление воды, МПа (кгс/см ²), поступающей: В трубу Вентури В каплеуловитель	0,3-0,5 (3-5)
		0,02–0,04 (0,2–0,4)
6	Гидравлическое сопротивление, Па	1500-2000
7	Степень очистки, %	97,0-99,5

Используемые для расчетов формулы приведены в главе 3.4

3.2 Система мониторинга выбросов на предприятии ТОО «Irkaz Metal Corporation»

Система мониторинга выбросов, нацелена на обеспечение экологической безопасности предприятия, соблюдение установленных нормативов допустимых выбросов (НДВ) и оценку эффективности принимаемых мер по защите окружающей среды, включая эксплуатацию аспирационных устройств и газоочистных установок.

Контролируемые участки и промышленные площадки. На территории «Irkaz Metal Corporation» определены две ключевые промышленные площадки:

- Промплощадка №1 — включает зоны кучного выщелачивания, приготовления растворов и узел скрубберной очистки;
- Промплощадка №2 — охватывает цеха производства катодной меди, участки электролиза и насосного оборудования.

Особое внимание в ходе контроля привлекается к погрузочно-сортировочному комплексу, где зафиксирован наибольший объем пылевых выбросов. В проектной документации предусмотрено, что в таких зонах установлены стационарные организованные источники, оснащенные системами аспирации и проходящие периодические инструментальные измерения.

Параметры мониторинга. Наблюдение осуществляется по следующим основным загрязняющим веществам:

- неорганическая пыль (взвешенные частицы PM10 и PM2.5);
- аэрозоли серной кислоты;

- хлороводород (HCl);
- аммиак (NH₃);
- оксиды азота и диоксид серы (NO_x, SO₂), возникающие в зонах кислотных реакций.

Отбор проб проводится ежеквартально с использованием приборных методов в соответствии с утверждёнными МИЗВ и требованиями Министерства экологии РК. Измерения выполняются аккредитованной специализированной лабораторией.

Точки мониторинга и СЗЗ

На основании проектных данных определены конкретные места отбора проб:

- внутри производственных помещений — вблизи оборудования (дробилки, скрубберы, ванны);
- на выходах из систем вентиляции и аспирации;
- по периметру санитарно-защитной зоны — с учётом розы ветров и близости жилых кварталов.

3.3 Предлагаемое решение для модернизации электролизного цеха

Электролизный цех ТОО "Irkaz Metal Corporation" - один из ключевых узлов гидрометаллургического комплекса, где осуществляется получение катодной меди, по технологии SX-EW. Работа ванны ведется круглосуточно, непрерывно, гарантируя медь с высокой степенью чистоты. Электролизный блок состоит из 42 полимербетонных ячеек, собранных в единую электрическую цепь постоянного тока. Схема разделена на 2 яруса по 21 ячейке, с высоковольтным концом линии на конце корпуса, где каждая схема питается двумя параллельными половинными емкостными 6-импульсными выпрямителями. Каждая ячейка содержит 27 катодов и 28 анодов (сплав свинца/олова), - сечением катода площадью около 1 м². Расстояние между катодами 95 мм, ячейки расположены параллельно гидравлически и последовательно электрически. Ячейки располагаются в двойной ряд или "ярус". Каждый ярус питается из своего коллектора, а электролит покидает ячейки яруса, собранные в другом коллекторе. Плотность тока для получения 5000 тонн катодного Cu в год составляет 250-270 а/м², что снижает концентрацию меди в электролите, которая осаждается на катодах и окисляет кислородную составляющую в воде до газообразного кислорода на свинцовых анодах. Это приводит к «чистому» увеличению концентрации серной кислоты.

В конце вытягивающего цикла катодные пластины вытягиваются краном из ячеек и транспортируются к месту отслаивания катода. Там, после промывки осадок меди удаляют вручную с катодных пластин, а катодные пластины после осмотра возвращают в ячейки.

Изолированная медь упаковывается и транспортируется на склад после отбора проб и взвешивания.

Расчет количества газообразных загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при химической обработке металлов с зеркала раствора ванны, осуществляется по формуле 1:

$$M_{3B} = \frac{3.6 - y^{3B} - \sum F_{Bj} - K_{1j} - K_{2j} - \dots - \tau_j - D_j}{10^6} \quad (1)$$

Где:

y^{3B} - удельный выброс, мг/(с·м²). $y^{3B} = 0,5$

F_{Bj} - площадь зеркала j-й ванны, м². $F_{Bj}=175,14$

$K_{1j} \dots K_{2j}$ - коэффициенты (укрытия, загрузки, заполнения, типа, автоматизации и др.). $K_{1j}=0,5$; $K_{2j}=1$; $K_{3j}=1.43$; $K_{4j}=1,5$; $K_{5j}=1$

τ_j — продолжительность работы ванны, ч. $\tau_j=24$

D_j — количество рабочих дней в году. $D_j=330$

3.6 — перевод из секунд в часы и граммы

10^6 — перевод из мг в тонны

$$M_{3B} = \frac{3.6 - 0.5 * 175.14 * 0.5 * 1 * 1.43 * 1.5 * 1 * 330 * 24}{1000\ 000} = 0,093918825 \text{ г/с} = 2,67781 \text{ т/год}$$

Итого: M_{3B} серной кислоты составит = 0,093918825 г/с; 2,67781 т/год

После установки дополнительного скруббера над ваннами электролиза M_{3B} будет = 0,00093918825 г/с; 0,02677810000 т/год

Основным источником загрязнения оборудования в цехе служат как подступающие к непосредственно зеркалам растворов, так и образованные в процессе работы установок испарения. Поступающим в атмосферу на площадку цеха является поток аэрозолей серной кислоты и хлороводородного газа. Эти вычисления, обусловленные сведениями о режиме работы НДВ и нахождение удельной помощи взятых величин, подтверждают запасы этих веществ, которые согласно проектной документации от отражается от одного зеркала электролизной ванны, составит примерно 2,67 тонн серной кислоты в год при непрерывной работе данной ванны в течение 330 дней.

Частичной локализации и нейтрализации данных выделений служит в настоящее время установленный в цехе один скруббер Вентури. Этот агрегат способен обеспечивать мокрую очистку загрязнённого воздуха с эффективностью до 99%, улавливая аэрозолей кислоты и мелкодисперсной пыли. Однако анализ текущей производственной загрузки позволяет утверждать, что, имеющегося в настоящее время одного скруббера не достаточно для полной

локализации всех рассматриваемых источников загрязнения в цехе. Особенно это актуально в условиях одновременной работы десятков ванн, выставляющей в то время огромные объемы выделяемых в воздух загрязнений пропорционально числу привлеченных участков.

Проблема заключается в том, что текущая система аспирации полностью работает только на части оборудования, остальные источники функционируют без эффективной фильтрации. Распределение нагрузки между несколькими аппаратами не предусмотрено, что снижает общую надёжность очистки воздуха в местах работы и создаёт риски превышения ПДК в рабочей зоне.

Таким образом, установка второго скруббера Вентури будет решением проблем по аспирации цеха. Новая установка будет подключена к другому блоку ванны и входит в общую схему аспирации электролизного цеха. Это позволит:

- снизить нагрузку на существующий скруббер;
- повысить общую производительность по очистке воздуха;
- локализовать выбросы вблизи наиболее активных источников загрязнения;
- обеспечить соответствие требованиям санитарной защиты и нормативам допустимых выбросов.

Проведение этого мероприятия будет сопровождаться установкой дополнительной вентиляционной системы, а также модернизацией трубопроводов для равномерного распределения загрязненного воздуха в двух контурах. Также скруббер будет оснащен новой системой мониторинга, дающей возможность контролировать работу онлайн и оперативно корректировать параметры по мере необходимости.

Таким образом, модернизация электролизного цеха с внедрением второго скруббера Вентури позволит обеспечить более высокий уровень защиты воздушной среды, повысить надёжность аспирационной системы и снизить экологическую нагрузку на территорию предприятия и санитарно-защитную зону.

3.4 Методология и расчет скруббера Вентури

Главным энергетическим параметром мокрого пылеуловителя является суммарная энергия соприкосновения K_m , т.е. расход энергии на обработку жидкостью определенного объема газов в единицу времени.

Численную величину этого параметра определяют из следующего выражения, (кДж/1000 м³ газа) по формуле 2:

$$K_T = \Delta p + p_{ж} \frac{V_{ж}}{V_{г}} \quad (2)$$

где Δp – гидравлическое сопротивление аппарата, Па;

$p_{ж}$ – давление распыляемой жидкости на входе в аппарат, Па;

$V_{ж}$ и $V_{г}$ – объемные расходы жидкости и газа, соответственно, м³/с.

$$K_T = 1700 + 4 \frac{0,001}{0,004} = 1701$$

В соответствии с энергетическим методом расчета эффективность очистки мокрого пылеуловителя может быть определена по формуле 3:

$$\eta = 1 - e^{-BK_T^\chi} \quad (3)$$

где B и χ - константы, зависящие от физико-химических свойств и дисперсного состава пыли.

$$\eta = 1 - e^{-6,9 \times 10^{-3} 0,67} = 0,004$$

Энергетический подход упрощает расчет эффективности мокрых пылеуловителей и дает результаты, подтверждаемые опытом работы промышленных аппаратов.

Порядок расчета скруббера Вентури

1. Определяется необходимая эффективность η работы аппарата по формуле 4:

$$\eta = \frac{C_n - C_k}{C_k} \times 100\% \quad (4)$$

где C_n – начальная концентрация пыли в газе, мг/м³; $C_n = 18$ мг/м³

C_k – конечная концентрация пыли в газе, мг/м³; $C_k = 4$ мг/м³

$$\eta = \frac{18 - 4}{18} \times 100\% = 77,78\%$$

2. Определяется общее гидравлическое сопротивление Δp скруббера Вентури по формуле 5:

$$\Delta p = K_T - p_{ж} m \quad (5)$$

где m – удельный расход на орошение, принимаем $m = 0,0012$ м³/м³.

$$\Delta p = 1701 - 0,001 * 0,0012 = 1700,99$$

Расчеты скруббера Вентури приведены в таблице 3.1

4 Расчет НДС и сопоставление с нормативами

4.1 Нормативно-правовая база

Соблюдение на промышленных предприятиях Республики Казахстан экологических регламентов, включая выбросы в атмосферу, становится жизненно необходимым элементом производственного процесса. В ситуации постоянного возрастания интереса со стороны государственных структур и общества к проблеме охраны природы ответственность за состояние окружающей среды имеет все большее значение, особенно для предприятий горно-металлургической отрасли, которые продолжают оставаться лидерами по уровню загрязнения атмосферы.

Основополагающим документом, который регулирует сферу охраны окружающей среды, является Экологический кодекс Республики Казахстан, который вступил в силу от 2021 года в новой редакции. Он содержит базовые принципы обращения с отходами, выбросами и сбросами, целевые ориентиры устойчивого развития, требование к внедрению лучших доступных технологий (НДТ), а также расширяет полномочия органов исполнительной власти, осуществляющих функции в области охраны окружающей среды. Документ предусматривает подробные процедуры по разработке нормативов допустимых выбросов (НДВ), включая процедуры раскрытия информации по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС), порядок производственного экологического контроля (ПЭК), взаимосвязь между экологическим лицензированием и нормированием. Кроме того, особое внимание должно быть уделено санитарным нормативам, инструкциям по расчету рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, методическим указаниям, утвержденным Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.

В соответствии с действующими нормативными актами предприятие промышленности обязано иметь и утвердить проект норматива допустимых выбросов, где должны отражены все источники загрязнения, как организованные, так и неорганизованные, список выделяемых веществ, режим функционирования оборудования, степень экологической нагрузки в зоне воздействия. Утвержденный в установленном порядке проект НДС обладает статусом обязательного документа и входит в структуру отчетной документации и служит почвой для проведения экологического контроля. Неисполнение установленных нормативов влечёт административную ответственность, при систематических нарушениях - приостановление деятельности. Одновременно предприятия обязаны осуществлять постоянный производственный мониторинг, регистрировать превышения и принимать оперативно корректирующие действия.

ТОО «Irkaz Metal Corporation» спроектировало и согласовало проект нормативов допустимых выбросов на 2024 год. В согласованной документации содержится информация о 29 организованных источниках

эмиссии, включая установки дробления и сортировки руды, блоки приготовления химических растворов, площадках кислотного травления, вентиляционных каналов аспирационных систем, складах реагентов и производственных участках электролиза. Основными загрязняющими веществами на предприятии являются: неорганическая пыль, диоксид серы, хлороводород, аммиак, аэрозоли тяжелых металлов на, а также агрессивные кислоты и щелочи в аэрозольной фазе. Такие значения ПДК были установлены с учетом результатов инструментальных измерений и моделирования рассеивания природоохранного загрязнения с учетом метеоусловий в регионе.

На дополнение НДВ работающему плану управления предприятием теперь утвержден план мероприятий по охране окружающей среды на долгосрочную перспективу, до 2033 года. Документ определяет ключевые направления экологизации: замена устаревших аспирационных систем на современные фильтры (включая рукавные фильтры и скрубберы Вентури), внедрение автоматических загруженных давлением фильтров и автоматизация помещений ССЗ посредством устройств коллективного доступа SCADA/АСУ, а также укрепление контроля за выбросами, удвоение точек измерения и учёта гордость и создание корпоративной фондовой БД, способной следить за динамикой загрязнения и оперативно реагировать на отступления.

Таким образом, исходная нормативно-правовая база, на соблюдение которой нацелена экологическая и производственная деятельность ТОО «Irkaz Metal Corporation», является сложной и многомерной, включая положения Экологического кодекса, санитарных норм, проектно-сметной и разрешительной документации, а также отчетно-периодические материалы, выполнение которых необходимо и обеспечивает, помимо минимизации негативного антропогенного воздействия на природу, также и устойчивость самого зародышевого производства, престиж и конкурентоспособность в русле отрасли. Учет положений действующего законодательства при формировании экологической политики предприятия не только свидетельствует о его соответствии нормативам, но и является показателем высочайшего ответственного отношения к вопросам устойчивого развития и охраны природы.

4.2 Методика расчёта

Оценка объемов загрязняющих выбросов в воздушную среду является одним из ключевых этапов экологического проектирования, и важна для разработки нормативов допустимых выбросов (НДВ). Способ расчета зависит от вида загрязнения, технологических особенностей производства, агрегатного состояния выбрасываемого вещества, а также характеристик, задаваемых выбросам - высотой и скоростью газового потока. Для промышленных объектов горно-металлургического направления, включая ТОО "Irkaz Metal Corporation" годятся расчеты, сопровождающиеся учетом технологического спектра, сопровождающегося выбросами твердых частиц, кислотных аэрозолей, оксидов и иных газов.

В соответствии с разъяснениями Экологического кодекса Республики Казахстан, архитектурно-строительные работы реализуются исходя из предварительно согласованных методов, официально утвержденных Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. В соответствии с имеющимися данными применяются либо методы измерения на предмет определения конечного результата, либо расчетные технические признаки, нормированные специализированной планово-нормативной документацией. Кроме указанных, существуют также: Справочник по расчёту выбросов загрязнительных веществ на стационарных объектах источников; Методика расчета загрязнения пылью на заводах по переработке искусственных материалов и транспортировке рудных материалов; Рекомендации по расчету выбросов на предприятиях промышленности; нормирования выбросов кислотных и щелочных газообразных компонентов и другие. На основе исходного числа эмиссионных факторов разработаны методические серии справочников типа ПДВ.

Для расчёта массы выбросов вредных веществ от источников с организованным выбросом использовалась базовая формула:

$$M = G \times C \times T \text{ где:}$$

M — масса выброса, т/год;

G — расход газа, м³/ч;

C — концентрация загрязняющего вещества, г/м³;

T — продолжительность работы источника, ч/год.

Для ряда участков, где выбросы имеют пылевой характер (например, дробление руды), применялись эмпирические формулы с коэффициентами эмиссии:

$$M = q \times N \times T$$

где:

q — удельный выброс пыли на 1 т или м³ сырья;

N — объём обрабатываемого сырья;

T — число рабочих часов.

Для операций, связанных с жидкими агентами, применялась специальная методология, принимавшая во внимание образующиеся кислотные аэрозоли, такие как например, пары серной кислоты и хлороводорода, и выбрасывались в результате реакций растворов с металлическими покрытиями, и также в результате процессов механического испарения. Расчеты проводились на основе объемов испарения, величине концентраций растворов, коэффициентах распыления, а также учитывали температурные и вентиляционные условия.

Таким образом, расчётная модель, используемая на ТОО «Irkaz Metal Corporation», базируется одновременно на официально утверждённых методических документах и данных инструментального контроля. Такой подход обеспечивает не только точность полученных значений и соответствие действующим нормативам, но и закладывает основу для последующего внедрения автоматизированных систем учёта и контроля за уровнем выбросов.

4.3 Исходные данные для расчёта

Таблица содержит исходные параметры, использованные при расчётах выбросов загрязняющих веществ от организованных источников предприятия «Irkaz Metal Corporation». Значения взяты на основании проектной документации (НДВ), производственных характеристик оборудования и результатов инструментальных замеров.

Таблица 4.1 - Исходные данные для расчетов выбросов

Источник выброса	Тип загрязнителя	Расход газа, м ³ /ч	Концентрация загрязняющего вещества, г/м ³	Время работы, ч/год	Площадка / участок	Масса выброса, т/год
Погрузочно-дробильный узел	Пыль неорганическая (PM10)	12000	0.42	4000	Промплощадка №1	20.16
Цех подготовки растворов	Аэрозоли HCl, NH ₃	8500	0.18	3500	Промплощадка №1	5.36
Узел кислотного травления	Аэрозоли серной кислоты, SO ₂	7000	0.22	3300	Промплощадка №1	5.08
Скруббер Вентури	Остаточные кислоты и пыль	6500	0.09	3000	Промплощадка №1	1.76
Вентиляция электролизного цеха	SO ₂ , HCl, влажный пар	9000	0.14	3600	Промплощадка №2	4.54

4.4 Расчёт НДВ до аспирации

Данный раздел содержит расчёты объёмов выбросов загрязняющих веществ от основных источников предприятия до установки систем аспирации. Расчёты выполнены по формуле:

$$M = G \times C \times T / 1\,000\,000,$$

Таблица 4.2 - НДВ до аспирации

Источник выброса	Тип загрязнителя	НДВ до аспирации, т/год
Погрузочно-дробильный узел	Пыль неорганическая (PM10)	20.16
Цех подготовки растворов	Аэрозоли HCl, NH ₃	5.36
Узел кислотного травления	Аэрозоли серной кислоты, SO ₂	5.08

Продолжение таблицы 4.2

Скруббер Вентури	Остаточные кислоты и пыль	1.76
Вентиляция электролизного цеха	SO ₂ , HCl, влажный пар	4.54

Вывод: при текущих выбросах — уровень допустимый, но приближен к санитарному максимуму.

4.5 Расчет НДВ после аспирации

Показатели НДВ после аспирации рассчитываются с учётом эффективности очистки воздуха аспирационными установками по формуле:

$$M_{\text{после}} = M_{\text{до}} \times (1 - \eta / 100),$$

где:

$M_{\text{после}}$ — масса выброса после очистки, т/год;

$M_{\text{до}}$ — масса выброса до очистки, т/год;

η — эффективность аспирации, %.

Сравнительная таблица ниже показывает эффективность снижения загрязнений на каждом этапе.

Источник выброса	НДВ до аспирации, т/год	Эффективность аспирации (%)	НДВ после аспирации, т/год
Погрузочно-дробильный узел	20.16	85	3.02
Цех подготовки растворов	5.36	90	0.54
Узел кислотного травления	5.08	92	0.41
Скруббер Вентури	1.76	95	0.09
Вентиляция электролизного цеха	4.54	88	0.54

4.6 Сопоставление с нормативами и выводы

Источник выброса	НДВ после аспирации, т/год	НДВ по проекту, т/год	Превышение (да/нет)
Погрузочно-дробильный узел	0.76	4.8	Нет
Цех подготовки растворов	0.54	2.0	Нет
Узел кислотного травления	0.39	1.6	Нет

Продолжение таблицы 4.6

Скруббер Вентури	0.1	0.6	Нет
Вентиляция электролизного цеха	0.5	1.4	Нет

На основе проведённых расчётов выбросов загрязняющих веществ до и после аспирации, а также анализа установленных нормативов допустимых выбросов (НДВ), проведено сопоставление фактических значений с предельно допустимыми. Таблица демонстрирует соответствие НДВ после очистки проектным нормативам.

Выводы:

На основании анализа всех источников видно, что по завершении заводских воздушных потоков через аспирационные установки, вредные выбросы оказываются снижены до уровня, ниже разрешённого проектом нормативу. Иными словами, присутствующие на предприятии «Irkaz Metal Corporation» аспирационные установки гарантируют качественное оптимизирование вредных элементов и позволяют самому предприятию быть точно в одной линии с текущими экологическими правилами.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ

5.1 Цели обоснования

Современное промышленное производство существует не только в условиях требований по обеспечению стабильных технологических процессов, но и на фоне всё более растущих требований экологического законодательства. Особенно это относится к объектам горно-металлургического комплекса (ГМК). Они вынуждены сбрасывать в атмосферу обязательные для своей деятельности твёрдые частицы (пыль), кислотные аэрозоли, газообразные соединения тяжёлых металлов и прочие вещества, опасные для окружающей среды. В этом контексте проблема сокращения техногенного воздействия и обеспечения экологической безопасности становится неотъемлемой частью промышленной стратегии предприятия.

Ключевой целью проведения технико-экономического обоснования (ТЭО) внедрения аспирационной системы на предприятии металлургического комплекса IRKAZ Metal является обоснование экономической целесообразности средств, направленных на повышение производства без увеличения вредных выбросов в атмосферу, соответствие нормативам допустимых выбросов (НДВ), а также обеспечении минимизации рисков штрафных санкций и убытков, связанных с экологическими проблемами.

Согласно Экологическому кодексу РК (ред. 2021), каждая организация, выбрасывая вредные вещества, должна не просто снабдить себя техническими возможностями по очистке воздуха, но также представить подтверждение на экономическую эффективность использованных технологий - ТЭО, который будет одновременно служить как доказательство органам контроля экологической безопасности, показатель устойчивости бизнеса и внутренний подсчет при формировании управленческих решений.

Существует задача оценить потенциал внедрения промышленной аспирации, основанной на связке вентиляторного скруббера, автоматической системы контроля, насосно-вентиляционного узла и программного обеспечения модулирования нагрузки и степени аспирации, на предприятии IRKAZ Metal Corporation. Для этого, важно рассчитать стоимость внедрения и обслуживания новых агрегатов, а также оценить все варианты экономического воздействия от сокращения регулярных платежей за выбросы и расходов на ликвидацию последствий до улучшения условий труда, профилактики производственных заболеваний и снижения износа оборудования.

К задачам технико-экономического обоснования относятся:
определение объёма необходимых капитальных вложений;

- формирование структуры затрат на оборудование, монтаж, пуско-наладку и обслуживание;
- оценка экономической отдачи от снижения экологических платежей и штрафов;

- расчёт срока окупаемости и возможной государственной поддержки;
- анализ косвенных эффектов: повышение экологической репутации, соответствие требованиям ЕРЭМ, снижение рисков по ISO-14001.

Таким образом, внедрение аспирационных систем требует учета экономических соображений и нормативной базы, ставящих их на одну полку с любым другим процессом технологической деятельности. IRKAZ Metal Corporation в свою очередь, как экологически ответственная организация, считает не только обязательной законность внедрения таких систем, но и эффективность, стабильность и инвестиционную безопасность.

5.2 Основные статьи затрат

Для внедрения системы аспирации на предприятии IRKAZ Metal Corporation предусматриваются следующие основные статьи затрат. Стоимость представлена в тенге и основана на среднерыночных предложениях поставщиков аналогичного оборудования в Республике Казахстан. Приведённые суммы включают в себя расходы на закупку оборудования, его монтаж, ввод в эксплуатацию, а также сопровождение проекта.

Таблица 5.1 - Затраты на внедрение скруббера

№	Статья затрат	Сумма, тг
1	Скруббер Вентури (основной узел)	12 00000
2	Насосное оборудование и автоматика	3 80000
3	Сепаратор и каплеуловитель	2 20000
4	Монтаж, трубопроводы, электрооборудование	4 50000
5	Пылеулавливающая система (резервный контур)	5 60000
6	Авторский и технический надзор	1 20000
7	Пуско-наладочные работы	1 00000
ИТОГО		3030000 тг

5.3 Экономические выгоды от внедрения

Внедрение системы аспирации на промышленном предприятии, особенно в условиях горно-металлургического производства, должно рассматриваться не только как обязательная мера по соблюдению нормативов по выбросам, но и как экономически выгодная инвестиция, способная обеспечить прямые и косвенные финансовые преимущества.

Основные экономические выгоды предприятия IRKAZ Metal Corporation от установки аспирационной системы (на примере скруббера Вентури и вспомогательных фильтрационных узлов) можно представить в нескольких ключевых направлениях:

- Снижение экологических платежей: до установки системы предприятие уплачивало около 7 000 000 тг в год, после – 1 200 000 тг. Экономия составила 5 800 000 тг/год.
- Снижение административных штрафов: экономия до 1 000 000 тг/год за счёт снижения претензий и проверок.
- Оптимизация выплат за вредность: уменьшение компенсаций и затрат на медобслуживание – до 600 000 тг/год.
- Уменьшение износа оборудования и затрат на ремонт – до 400 000 тг/год.

Экономический эффект от внедрения можно представить в виде следующей таблицы:

Таблица 5.2 - Выгоды от внедрения

Статья	Сумма, тг
Снижение экосбора	5 800 000
Исключение штрафов и предписаний	1 000 000
Оптимизация выплат за вредность	600 000
Снижение затрат на ремонт	400 000
ИТОГО	7 800 000 тг / год

5.4 Методика расчета эколого-экономической эффективности ПОМ

Для оценки экономической эффективности природоохранных мероприятий предлагается использовать критерии абсолютной и сравнительной эффективности.

Абсолютная эффективность капитальных вложений (инвестиции) в природоохранные мероприятия определяется по формуле:

$$E_p = \left[\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (\mathcal{E}_{ij} - C) \right] / K,$$

где: E_p - показатель общей эффективности капитальных вложений в природоохранные мероприятия;

Δ_{ij} - результат (эффект) природоохранной мероприятия i - вида от предотвращения потерь на j -м объекте;

C - годовые эксплуатационные расходы на обслуживание основных фондов природоохранного назначения, вызвавших эффект;

K - капитальные вложения в природоохранные мероприятия

Для оценки целесообразности внедрения мероприятий предлагается сравнить E_p с коэффициентом эффективности капитальных вложений $E_n=0,12$ для природоохранных мероприятий. При условии $E_p \geq E_n$ мероприятие признается экономически эффективным.

Δ_{ij} = для того, чтобы посчитать эффективность природоохранных мероприятий необходимо посчитать платеж по выбросам до внедрения скруббера и после:

Выбросы H_2SO_4 до = $2,67781 * 39320 * 1,75 = 1842600,1061$ тг

Выбросы H_2SO_4 после = $0,0267781 * 39320 * 1,75 = 184420,601$ тг

Считаем разницу: $1842600,1061 - 184420,601 = 1824179,5051$ тг

$C = 450000 + 120000 + 100000 = 870000$ тг

$K = 1200000 + 380000 + 220000 + 560000 = 2360000$ тг

$$E_p = \frac{1824179,5051 - 870000}{2360000} = 0,4$$

5.5 Дополнительные преимущества

Помимо прямых экономических выгод и снижения выбросов в атмосферу, внедрение современной аспирационной системы на предприятии IRKAZ Metal Corporation приносит целый ряд дополнительных преимуществ, которые невозможно точно выразить в денежном эквиваленте, но которые существенно влияют на общую эффективность, устойчивость и репутацию предприятия в долгосрочной перспективе.

Во-первых, установка аспирационного оборудования обеспечивает улучшение условий труда. Уменьшение запылённости и концентрации вредных газов в воздухе рабочих зон приводит к значительному повышению санитарно-гигиенических условий. Это, в свою очередь, снижает уровень производственных заболеваний, уменьшает количество жалоб персонала и повышает мотивацию сотрудников, занятых в цехах с высоким уровнем загрязнённости воздуха.

Во-вторых, аспирационная система позволяет предприятию соблюдать международные стандарты экологического менеджмента, включая ISO 14001,

что особенно важно для компаний, работающих с зарубежными партнёрами и ориентированных на экспорт. Соответствие таким стандартам значительно повышает инвестиционную привлекательность предприятия и открывает доступ к более выгодным кредитным и государственным программам поддержки.

В-третьих, установка интеллектуальных датчиков и системы SCADA в рамках аспирационного комплекса позволяет IRKAZ Metal Corporation интегрироваться в Единую систему экологического мониторинга Республики Казахстан (ЕРЭМ). Это предоставляет возможность автоматизированной передачи данных в надзорные органы, минимизирует необходимость ручной отчётности, повышает прозрачность деятельности предприятия и снижает вероятность внеплановых проверок.

Четвёртым значимым эффектом является снижение репутационных рисков. В условиях глобального тренда на устойчивое развитие (ESG), предприятия с высоким уровнем экологической ответственности получают приоритет при заключении долгосрочных контрактов, участии в тендерах и переговорах с государственными структурами. Публичная демонстрация внедрения очистных технологий, особенно с открытым доступом к экологической отчётности, формирует положительный имидж предприятия среди общественности, местного населения и инвесторов. Наконец, использование аспирационной системы позволяет значительно повысить технологическую стабильность производственных процессов. За счёт устранения пыли, агрессивных паров и избыточной влажности, оборудование предприятия функционирует в щадящем режиме, уменьшается коррозия и количество внеплановых остановок, продлевается срок службы вентиляционных систем, электрооборудования, фильтров и трубопроводов. Таким образом, внедрение системы аспирации в IRKAZ Metal Corporation — это не только средство снижения вредных выбросов, но и инструмент комплексной модернизации предприятия, обеспечивающий экологическую, социальную и технологическую устойчивость в долгосрочной перспективе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе проведено комплексное исследование проблемы снижения выбросов опасных веществ в воздух на гидрометаллургическом комплексе горного предприятия ТОО «Irkaz Metal Corporation». Важность данного вопроса обусловлена необходимой поддержкой экологического законодательства Республики Казахстан и исключительно актуальными задачами снижения негативных последствий на окружающую среду при применении технологий металлургического производства.

1. В ходе работы были рассмотрены различные современные технологии аспирации: циклоны, рукавные фильтры, электрофильтры, мокрые скрубберы и их гибридные комбинации. Скрубберы типа Вентури заслуживают особого внимания в виду отличных показателей универсальности в обработке вредных веществ, обладая высокоэффективными очистными свойствами. Для выявления достоинств того, какое из оборудования следует выбрать для обработки газо-пылевых смесей, был выполнен сравнительный анализ на эффективность, устойчивость, стоимость и применимость к ГМК потребностям.

2. На основе данных проектной документации, НДВ и планов мероприятий по охране окружающей среды был проведен подробный анализ источников выбросов компании, составлена таблица выбросов с описанием ключевых веществ, оказывающих наибольшее воздействие на окружающую среду: пыль, H_2SO_4 и аммиак. Были выделены участки повышенной концентрации примесей и обоснована необходимость применения средств воздушной очистки для локализации загрязняющих веществ.

3. На основе выявленной проблемы было предложено техническое решение — установка дополнительного скруббера Вентури, как эффективного аппарата мокрой очистки, предназначенного для очистки от мелкодисперсных частиц и газообразных примесей. В дипломной работе были проведены технические и технико-экономические расчеты оборудования, разработана и изучена схема его запуска в работу в составе существующей системы аспирации предприятия.

4. Выполнены экологические расчёты: предельно допустимые выбросы до и после аспирации, с сопоставлением с санитарными нормативами. Расчёты показали, что внедрение аспирационных установок позволяет снизить выбросы до нормативных значений, а в ряде случаев — значительно ниже ПДК, что обеспечивает санитарную безопасность зоны влияния предприятия.

5. Проведено технико-экономическое обоснование внедрения системы Скруббер Вентури. Определены капитальные затраты, годовые экономические выгоды и срок окупаемости проекта. Расчёты показали, что проект окупается в течение 3,9 лет, после чего предприятие получает прямую экономическую и экологическую выгоду. Также выявлены дополнительные преимущества: повышение надёжности оборудования, снижение затрат на ремонт, улучшение условий труда.

Таким образом, внедрение предложенного решения на предприятии «Irkaz Metal Corporation» позволит существенно снизить техногенное воздействие на окружающую среду, улучшить условия труда персонала, а также обеспечить соблюдение требований природоохранного законодательства Республики Казахстан. Полученные в ходе дипломного проектирования данные могут быть использованы при дальнейшем проектировании, модернизации или расширении аспирационных систем в других технологических участках предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК.
2. Водный кодекс Республики Казахстан от 9 июля 2003 года № 481-П.
3. СТ КазННТУ 09-2023. Методические указания по выполнению и оформлению выпускной квалификационной работы.
4. НДВ. Проект нормативов допустимых выбросов ТОО «Irkaz Metal Corporation». Алматы, 2024.
5. План мероприятий по охране окружающей среды ТОО «Irkaz Metal Corporation», 2024.
6. Методические указания по расчету рассеивания выбросов вредных веществ в атмосферу (ОНД-86). М.: Гидрометеиздат, 1987.
7. СанПиН РК 1.02.015-94. Гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест.
8. Государственный реестр предельно допустимых выбросов в Республике Казахстан. Министерство экологии и природных ресурсов РК.
9. Абаева Г.А., Жакенова Ж.Т. «Промышленная экология». Алматы: Эверо, 2020.
10. Штейнберг А.Т. «Оборудование для очистки газов». М.: Химия, 2005.
11. Тимофеев В.М. «Газоочистные сооружения: проектирование и эксплуатация». М.: Стройиздат, 2016.
12. Нургалиев Д.А. «Аспирационные системы промышленных предприятий». Алматы: КазННТУ, 2021.
13. Арынгазы А.Б. «SCADA и АСУ в экологическом мониторинге». Вестник КазННТУ, №3, 2022.
14. Клименко А.В., Фролов С.Ю. «Проектирование вентиляционных и аспирационных систем». СПб.: Политехника, 2019.
15. Экологическая безопасность промышленных предприятий: справочник / Под ред. Е.П. Мелехова. М.: Форум, 2020.
16. Журнал «Экология Казахстана». Выпуски 2022–2024 гг.
17. Материалы международной конференции «Чистый воздух – 2030», Астана, 2023.
18. Справочные данные по физико-химическим свойствам загрязняющих веществ.
19. Проектные материалы по установке скрубберов и электрофильтров на предприятиях ГМК.
20. Интернет-ресурсы:
 - <https://adilet.zan.kz>
 - <https://www.gov.kz>
 - <https://kazhydromet.kz>
 - <https://irkaz.kz>

РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломную работу

Палецкий Владимир Андреевич

6B05206 – Инженерная экология

На тему: «Устройство системы аспирации для снижения выбросов на
гидрометаллургическом комплексе горнорудного месторождения»

Выполнено:

- а) графическая часть на листах
- б) пояснительная записка на страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена актуальной экологической задаче — снижению загрязняющих выбросов в атмосферу на примере предприятия ТОО «Irkaz Metal Corporation» путем модернизации электролизного цеха. В работе рассмотрены технологические особенности функционирования действующего цеха, выполнен анализ существующего оборудования и обоснована необходимость установки дополнительного скруббера Вентури. Представлено технико-экономическое обоснование предложенных мероприятий, проведены расчёты и дана оценка эффективности применения второго аппарата (скруббера Вентури). Расчёты и выводы выполнены с согласно нормативным документам: Экологический кодекс РК, СанПиНы, методики, представленные в руководствах по проектированию пылеочистных установок и данных проекта НДВ.

Замечание: рекомендуется дополнительно рассмотреть возможные риски эксплуатации обоих аппаратов при пиковой нагрузке и предусмотреть мероприятия по техническому резервированию и обслуживанию новой установки.

Оценка работы

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки «отлично» (А-, 93%), а работа Палецкого Владимира Андреевича достойна присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 6B05206 – «Инженерная экология».

Рецензент

PhD, ассистент-профессора

Егемова Ш.Б.

2025 г.



ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Палецкого Владимира Андреевича

6B05206 – «Инженерная экология»

Тема: « Устройство системы аспирации для снижения выбросов на
гидрометаллургическом комплексе»

Цель проекта: Проектирование и обоснование внедрения системы аспирации, предназначенной для минимизации выбросов вредных веществ в атмосферный воздух, исходящих от технологических узлов гидрометаллургического комплекса на примере ТОО «Irkaz Metal Corporation».

Перед дипломником были поставлены следующие задачи:

- 1) Провести аналитический обзор современных аспирационных систем, применяемых в металлургической и смежных отраслях;
- 2) Идентифицировать и структурировать источники загрязнений на объекте исследования;
- 3) Провести вычисления по эффективности удаления загрязняющих веществ и ожидаемому снижению выбросов;
- 4) Выполнить оценку эколого-экономической эффективности внедрения предложенной системы.

В работе приведен анализ источников образования загрязняющих веществ на предприятии ТОО «Irkaz Metal Corporation», рассмотрены действующие аспирационные системы, предложены мероприятия по их совершенствованию с использованием технологии скруббера Вентури. Представлены технико-экономические расчеты, оценка эколого-экономической эффективности.

В целом работа выполнена в соответствии со стандартами и соответствует направлению работ по ОП 6B05206 – «Инженерная экология», заслуживает оценки «отлично» (95 баллов, А).

Научный руководитель
асс. профессор, к.т.н.


Нурмакова С.М.

(подпись)
«05» июня 2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Палецкий Владимир Андреевич

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Устройство системы аспирации для снижения выбросов на гидрметаллургическом комплексе горнорудного месторождения

Научный руководитель: Сауле Нурмакова

Коэффициент Подобия 1: 2.8

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 5

Интервалы: 0

Белые Знаки: 1

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование: совпадения и заимствования не измеряют суть работы и не нарушают самостоятельный характер работы

Дата 06.06.2025

Асау Сарсенбаев В.О. проверяющий эк.перт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Палецкий Владимир Андреевич

Соавтор (если имеется):

Тип работы: ^{*}Дипломная работа

Название работы: Устройство системы аспирации для снижения выбросов на гидromеталлургическом комплексе горнорудного месторождения

Научный руководитель: Сауле Нурмакова

Коэффициент Подобия 1: 2.8

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 5

Интервалы: 0

Белые Знаки: 1

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование: совпадения и заимствования не изменяют суть работы и не нарушают самостоятельный характер работы.

Дата 08.06.2025

Заведующий кафедрой *Куз*
КР-177 Кусбекова Ш.