

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**Институт химии и энергетики**

(наименование института полностью)

**Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»**

(наименование)

**18.03.01 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии**

(код и наименование направления подготовки, специальности)

**Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов**

(направленность (профиль) / специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА ( БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА )**

на тему Оптимизация технологии переработки отходов бурения в  
строительный материал

Студент

**В.В. Седлецкая**

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

**Ю.Н. Шевченко**

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

**И.Ю. Усатова**

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Аннотация

Бакалаврскую работу выполнила: Седлецкая В. В.

Тема бакалаврской работы: Оптимизация технологии переработки отходов бурения в строительный материал.

Руководитель: Шевченко Ю. Н.

Целью работы является снижение негативного воздействия на окружающую среду от сокращения количества накопления отходов бурения за счет их вторичного использования в получении строительных материалов.

Бакалаврская работа изложена на 80 листах, включает 17 таблиц, 12 рисунков, список из 45 используемых источников. Бакалаврская работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка используемых источников и приложения.

Во введении сформулированы цель и задачи исследования, обоснована актуальность выбранной темы.

В первом разделе рассмотрен теоретический анализ и литературный обзор в области применения отходов бурения в качестве строительных материалов.

Проанализированы существующие технологии и из предложенных выбран наиболее перспективный способ получения строительного материала.

Во втором разделе лабораторными исследованиями определен компонентный состав нефтешлама. По результатам биотестирования было установлено, что нефтешлам является токсичным, следовательно, не подлежащем вторичной переработке в строительный материал. Для снижения токсичности было проведено ещё одно биотестирование с применением препарата содержащего гумат. Смертность дафний снизилась от 52 % до 0 %.

В третьем разделе рассмотрены варианты оптимизации технологии переработки отходов бурения.

В том числе анализ технологии и исходного сырья, анализ отходов, образующихся при производстве строительного материала, способы использования данного строительного материала.

Проведен анализ препарата «Гумиком», для увеличения количества сырья, подлежащего переработке.

Проанализированы другие скрубберы, как замена форсуночного скруббера, для улучшения эффективности очистки. Исходя из этих требований, был выбран скруббер Вентури (эффективность очистки газа 90 %).

Проведен расчет аппарата Вентури, его тепловой расчет и материальный баланс, а также расчет реагентного хозяйства для сохранения необходимой эффективности очистки газа при залповых выбросах.

В заключении приведены основные выводы о проделанной работе. В приложении представлена схема скруббера Вентури, для которого был произведен расчёт.

## **Abstract**

The topic of this diploma project is «Optimization of technology for processing drilling waste into construction material». The aim of the work is to reduce the negative impact on the environment by reducing the amount of drilling waste accumulation due to their secondary use in the production of construction materials.

The graduation work consists of an explanatory note on 77 pages, including 12 figures, 17 tables, a list of 45 references and 1 appendix.

After analyzing the technical literature, thermal processing of drilling waste was chosen as the most promising solution. Much attention is paid to the problem of processing drilling waste into construction material, that is, their toxicity, which must correspond to the 4th or 5th hazard class for processing. To solve this problem, a Biotest was conducted, which determined that the oil sludge is toxic. To reduce the toxicity, another Biotest was conducted using a preparation containing HUMATE. Toxicity was reduced to class 5.

Considering the technological scheme of thermal processing of drilling waste, it was found that the applied scrubber does not provide effective gas cleaning. Using a patent search, the options for replacing the spray scrubber were analyzed. Based on these requirements, a Venturi scrubber was selected (the efficiency of gas cleaning increased by 30 %). The material balance, structural and thermal calculation of the Venturi scrubber, proved the efficiency of the work. The reagent facilities have been designed in such a way as to maintain optimal gas purification efficiency, in cases where there is a sharp increase in the concentration of the treated gases.

Thus, these results lead to the fact that the effectiveness of the decisions made is justified.

## Содержание

Введение .....	7
1 Литературный обзор .....	9
1.1 Анализ технологии бурения нефтяных скважин .....	9
1.2 Анализ образования отходов бурения и их состав .....	10
1.3 Доступные технологии утилизации и переработки .....	13
1.4 Технология утилизации отхода бурения с получением дорожно-строительного материала .....	18
1.5 Оформление результатов анализа .....	20
2 Экспериментальная часть .....	21
2.1 Экспериментальный анализ нефтешлама .....	21
2.2 Обработка результатов эксперимента .....	25
3 Оптимизация технологии переработки отходов бурения .....	26
3.1 Технология утилизации буровых шламов с получением гранул путем термической переработки .....	26
3.2 Характеристика исходного сырья, материалов, энергоресурсов .....	32
3.3 Анализ отходов, образующихся при производстве строительного материала из отходов бурения .....	38
3.4 Использование строительного материала на основе переработки отходов бурения .....	39
3.5 Использование препарата «ГУМИКОМ», для увеличения количества сырья, подлежащего переработке .....	41
3.6 Обоснование аппаратной части .....	43
3.7 Патентный поиск аппаратов мокрой очистки .....	44
3.8 Конструктивный расчет скруббера Вентури .....	48
3.9 Тепловой расчет и материальный баланс скруббера Вентури ...	56
3.10 Расчет реагентного хозяйства .....	64

3.11 Оформление результатов .....	70
Заключение .....	72
Список используемых источников .....	74
Приложение А Схема и спецификация скруббера Вентури.....	79

## Введение

В настоящее время значительный ущерб окружающей среде наносят производственно-технологические отходы бурения (буровой шлам).

Токсичные буровые отходы загрязняют недра, атмосферу, поверхностные и подземные водные объекты, почву, негативно воздействуют на растительный и животный мир [9].

Поэтому актуальной проблемой является утилизация отходов бурения скважин - шлама и отработанного бурового раствора.

Нефтегазодобывающие предприятия расходуют значительные средства на утилизацию [1].

Откачка бурового шлама необходима с практической точки зрения. Если этого не делать, она будет мешать работе техники в районе бурения. Техническую операцию проводят лицензированные организации при помощи насосных установок с резервуарами для сбора жидкости – илососов.

При этом часто вывоз отходов с бурения со скважин является затруднительным, что относится в первую очередь к труднодоступным регионам, например, к месторождениям Крайнего Севера [8].

В этом случае буровые отходы захораниваются на территории кустовых площадок, а собственники отходов вынуждены производить плату за негативное воздействие в окружающую среду. Это предусматривается действующим Российским законодательством.

Основной проблемой переработки отходов бурения в строительный материал является токсичность отходов, которая должна соответствовать классифицированию веществ по силе их вредного воздействия – это 4 или 5 классу опасности, в следствии чего можно будет отправлять для вторичной переработки.

Проблема исследования: непрерывное увеличение количества накопления отходов бурения и низкая степень вовлечения во вторичную переработку.

Цель работы является снижение негативного воздействия на окружающую среду посредством сокращения количества накопления отходов бурения за счет их вторичного использования в получении строительных материалов.

Предмет исследования: технологический процесс получения строительного материала посредством вовлечения отходов бурения во вторичную переработку.

Задачи:

- 1) Проанализировать объемы накопления отходов и существующую технологию бурения нефтяных скважин.
- 2) Обосновать снижение класса опасности для отходов бурения при переработке его в строительный материал.
- 3) Предложить варианты оптимизации технологии переработки отходов бурения.

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Анализ технологии бурения нефтяных скважин

Бурением называется воздействие спецтехники на почвенные слои, в результате чего в земле образуется скважина, через которую будут добывать ценные ресурсы [11]. Процесс бурения нефтяных скважин осуществляется по разным направлениям работы, которые зависят от расположения почвенного или горного пласта: оно может быть горизонтальным, вертикальным либо наклонным [18].

В результате работы в земле образуется цилиндрическая пустота в виде прямого ствола, или скважина. Ее диаметр может быть различным в зависимости от назначения, но он всегда меньше параметра длины. Начало скважины расположено на поверхности почвы. Стены называются стволом, а дно скважины – забоем [26].

Схема бурения нефтяных скважин представлена на рисунке 1.

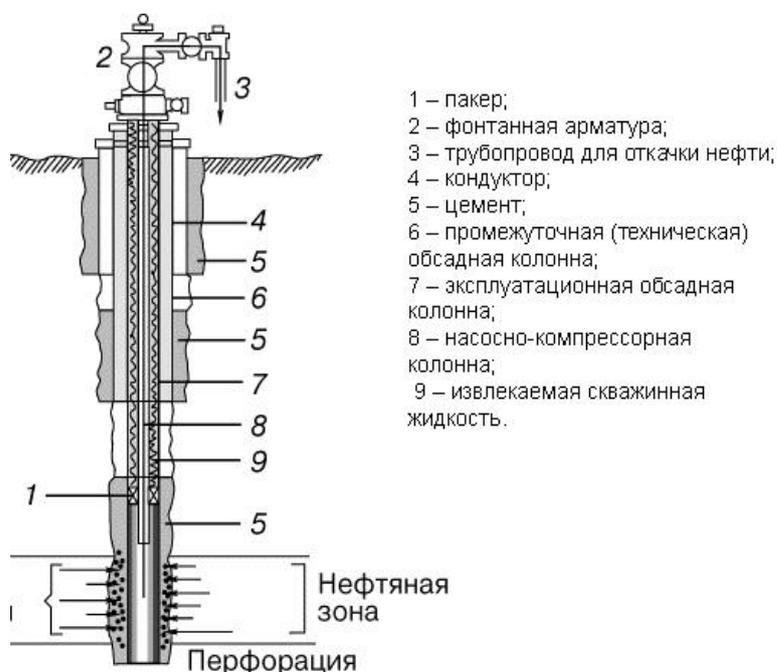


Рисунок 1 - Схема бурения нефтяных скважин

Процесс делится на следующие этапы [37]:

- 1) Подвоз техники на участок, где будет производиться работа.
- 2) Собственно, бурение шахты. Процесс включает в себя несколько работ, одна из которых – углубление ствола, которое происходит при помощи регулярного промывания и дальнейшего разрушения горной породы.
- 3) Чтобы ствол скважины не был разрушен и не засорил ее, пласты породы укрепляют. С этой целью в пространство прокладывают специальную колонну из соединенных между собой труб. Место между трубой и породой закрепляют цементным раствором: эта работа носит название тампонирования.
- 4) Последней работой является освоение. На нем вскрывается последний пласт породы, формируется призабойная зона, а также проводится перфорация шахты и отток жидкости.

## **1.2 Анализ образования отходов бурения и их состав**

К числу наиболее агрессивных отраслей по сумме техногенных факторов, оказывающих негативное воздействие на окружающую природную среду, являются добыча, транспортировка, хранение и использование нефтепродуктов [2].

Источниками образования отходов в нефтегазодобывающих предприятиях являются: ликвидация последствий аварийных ситуаций; регламентные работы; строительство и реконструкция скважин; ликвидация объектов добычи нефти и газа хранения нефтепродуктов [4].

По уровню переработки нефтешламов и отходов Россия существенно отстаёт от многих стран. Импорто-технологическая зависимость страны в этом секторе, по многим оценкам, находится в «коридоре» 80 - 90 % [23]. Исправление такой ситуации зависит от роли экологических приоритетов в деятельности добывающих компаний и нефтепереработчиков. Также от нормативно-правовой базы, от объемов финансирования технологических

разработок [7]. В стране ежегодно образуется от 4 до 7 млн. тонн нефтешламов. На добывающий сектор приходится преобладающая доля в этом объеме - минимум 50 %; на нефтепереработку – от 20 % до 30 % [30].

Остальное дают нефтяные терминалы, энергетика и транспортный сектор. Потери нефти и нефтепродуктов в РФ ежегодно достигают, соответственно, 26 млн. и 12 млн. тонн. Но совокупный уровень сбора и переработки этих потерь – не больше 10 %, в отличие от 30 % и выше - в развитых странах [10].

«При бурении скважины глубиной 2600 м в амбаре содержится около 65 % воды, 30 % шлама, 5,5 % нефти, 0,5 % бентонита и 0,5 % различных присадок, обеспечивающих оптимальную работу буровой установки» [12]. Компоненты и состав отхода бурения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Компоненты и состав отхода бурения

Компоненты отхода бурения	Состав при бурении первой скважины (2600 м), т	Состав при бурении последующих скважин, т
Вода $H_2O$	314,0	314,0
Шлам $Fe_2O_3 * Si_2O$	150,0	150,0
Нефть $C_nH_m$	29,64	26,64
Бентонит $Al_2O_3 * Fe_2O_3 * 4SiO_2 * H_2O$	2,8	1,4
ПАВ-неонол $C_9H_{19}C_6H_4OC_2H_4OH$	0,073	0,073
КМЦ $C_6H_7O_2(OH)_2(OCH_2COOH)$	0,364	0,182
ТПФН $Na_5P_3O_{10}$	0,052	0,052
ГКЖ $CH-Si-ONa$	0,080	0,080
Сода кальцинированная $Na_2CO_3$	0,042	0,042
Сода каустическая NaOH	0,150	0,150

Продолжение таблицы 1

Компоненты отхода бурения	Состав при бурении первой скважины (2600 м), т	Состав при бурении последующих скважин, т
Графит С	0,150	0,150
Барит BaSO <sub>4</sub>	0,096	0,096
Цемент CaO*SiO <sub>2</sub> *Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,722	0,722
Гипан C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> NaOCO* C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> CO	0,172	0,086
НТФ N(CH <sub>2</sub> PO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	0,045	0,045
«Нитрон»-отходы C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> CN	0,170	0,170

«По данным химического анализа амбарных шламов, содержание нефтепродуктов в шламе колеблется в пределах от 2000 до 13870 мг/кг. Нефтяная часть шлама представлена в основном парафино-нафтеновыми углеводородами - 41,8 %, из них 20 % - твердые парафины. Асфальтены составляют 5,6 %, смолы - 19,2 %, полициклические ароматические углеводороды - 20,1 %» [25].

Состав амбарного шлама представлен диаграммой на рисунке 2.

«В образцах асфальто-смолистых парафиновых отложений, отобранных из амбаров нефтепромыслов Западной Сибири, содержание парафино-церезиновых компонентов с температурами плавления 66 - 84 °С достигает 40 - 70 %, отхода содержание органической части – 72 - 90 %» [27].

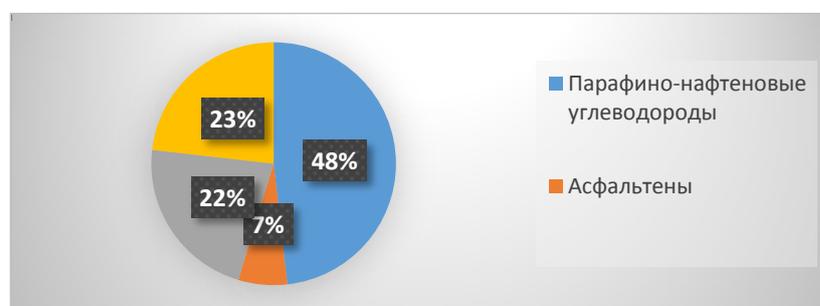
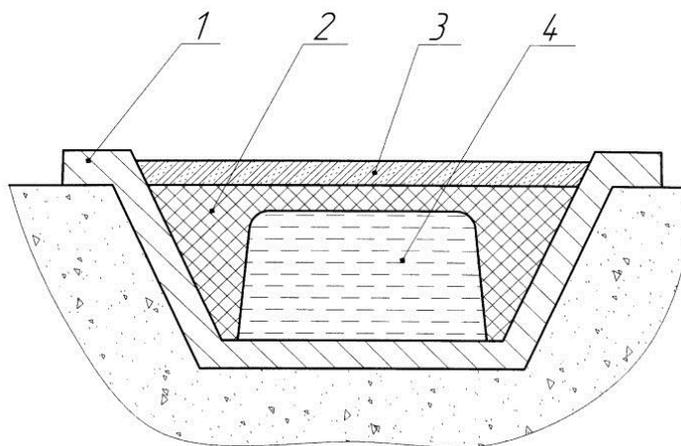


Рисунок 2 - Состав амбарного шлама

Нефтяная часть отходов распределяется в шламовом амбаре следующим образом: 7 - 10 % нефтеуглеводородов сорбируется на шламе, 5 - 10 % находится в эмульгированном и растворенном состоянии, остальные углеводороды находятся на поверхности амбара в виде пленки [28].

Поперечное сечение шламового амбара представлено на рисунке 3.



1 - гидроизолированный слой; 2 - смесь бурового амбара шлама в определенном соотношении с цементом, кальцийсодержащими добавками - известь негашеная, оксиды (песок) и вода; 3 – гумусный слой различного назначения (например, песчанно-торфяная смесь с добавлением угольной крошки или извести), 4 - буровой шлам

Рисунок 3 - Поперечное сечение шламового амбара

Неорганическую часть составляют в основном окислы кремния и железа (песок, продукты коррозии), небольшие количества (менее 1 %) соединений алюминия, натрия, цинка и других металлов.

### 1.3 Доступные технологии утилизации и переработки

Все это диктует необходимость поиска оптимальных, с точки зрения экологической и экономической эффективности, методов и технологий утилизации, как вновь образующихся, так и уже накопленных, и, за частую, имеющих особые, измененные физико-химические свойства, отходов бурения [22].

Широко применяемые на сегодняшний день методы, такие как физические и биологические нецелесообразно рассматривать в качестве комплексного подхода к решению проблемы нефтеотходов [17].

Это связано с узким спектром их применения, выборочностью в утилизации различных частей отхода, и, что немаловажно в условиях товарно-денежных отношений, большую часть технологий, нельзя назвать экономически целесообразными.

Биологические методы переработки буровых отходов, крайне капризные в северных условиях и требующие больших хорошо оборудованных площадей [38].

Одним из примеров биологического метода можно назвать уменьшение токсичности отхода бурения по средствам добавления к нему гумино-минерального комплекс «Гумиком», который изготавливается на производственной площадке ООО «ЭМТ» в Самарской области [24].

Качество продукции регламентируется ТУ 2186-002-13787869-2009 и постоянным Технологическим регламентом производства агрохимиката «Гумиком» ТР 013-13787869-2009. Он производится в трех препаративных формах: марка А – жидкость, марка Б – суспензия, марка В – порошок. Препарат производится путем обработки бурого угля водными щелочными растворами [40].

Представляет собой смесь гуматов и гуминовых кислот. Утилизация бурового шлама может производиться как непосредственно на месте (на территории отработанной буровой площадки), так и с вывозом на специализированную площадку. В результате переработки получаем вторичный продукт – грунт органоминеральный по ТУ 5711-011-13787869-2011.

Недостатками предложенного метода являются использование большого количества земель и потребность комплекса в поддержании определенных условий.

Среди перспективного направления технологий утилизации можно назвать химреакгентные методы, которые используются для получения строительного материала [45].

Известен строительный материал «БУРОЛИТ», в состав которого входят буровой шлам, цемент в количестве 10 - 20 % от объема бурового шлама, песок в количестве 10 – 20 % от объема бурового шлама и добавки [31].

Недостатком указанного состава являются невысокие эксплуатационные возможности и невысокие прочностные характеристики.

Наиболее близким к заявляемому техническому решению является Композиционный строительный материал, который включает буровой отход, цемент в количестве от 10 до 20 % от объема бурового отхода, песок в количестве от 10 до 30 % от объема бурового отхода и добавки.

«Недостатком указанного Композиционного строительного материала является отсутствие в составе композиции сорбентов, необходимых для нейтрализации органических загрязнителей, содержащихся в буровых шламах (в первую очередь, углеводородов нефти), что влияет на токсичность материала – недостаточное снижение токсичности» [33].

Существует так же строительный материал «РЕСОИЛ», в его состав входят цемент в количестве от 1 до 15 % от веса бурового отхода, песок в количестве от 10 до 40 % от объема бурового отхода, диатомит в количестве от 0,1 до 5 % от веса отхода [42].

При этом сначала вводят диатомит, а затем цемент и песок. Позволяет утилизировать отходы бурения, в том числе и содержащие нефть, нефтепродукты, обеспечить высокую степень отверждения отходов бурения, тем самым снизив негативное техногенное воздействие на ландшафты при освоении месторождений углеводородного сырья, способствуя улучшению экологической обстановки районов нефтегазодобычи.

Недостатком указанного строительного материала «РЕСОИЛ» является сложность в подготовке сырья для дальнейшей переработки, в том числе снижение токсичности.

«Отдельно в ряду химреагентных методов стоит интеграционная минерально-матричная технология (ИММ-технология) позволяющая перерабатывать отходы бурения в постепенно твердеющий материал – грунт укрепленный техногенный. Основным отличием технологии является то, что при ее реализации используется химическая активность токсичных веществ» [19].

Данный метод позволяет осуществлять одновременную переработку двух и более видов отходов бурения, не требуя при этом создание нескольких параллельных технологических линий или организации посменного графика работ, вызванного необходимостью изменения количественного состава вносимых компонентов.

Недостатком ИММ-технологии является дорогостоящие исходные материалы и катализаторы.

Данные химреагентные методы реализуются по схемам, которые включают следующие стадии:

1. Приемка исходного сырья.
2. Разделение сырья. Для этого используется мобильный комплекс разделения бурового шлама, после которого шлам разделяется на то, что подлежит дальнейшей переработке в строительный материал или гранулят, воду и нефтепродукты, которые перерабатываются в нефть [29].
3. Подготовка и доведение сырья до требуемых параметров (нейтрализация, отстаивание при необходимости) при помощи установки обезвреживания бурового шлама с добавлением воды и необходимых реагентов (водный раствор) [44].
4. Дозирование исходного сырья.
5. Смешение исходного сырья в требуемых соотношениях.
6. Сушка шламо-песчанной смеси.

7. Дожигание и очистка отходящих газов.

8. Складирование и хранение готовой продукции.

Пункты с 4 по 7 представлены на схеме, как модуль изготовления мелкоразмерных строительных материалов и модуль производства гранулированного заполнителя.

В настоящее время схематично технологический процесс переработки отходов бурения можно представить рисунком 4.

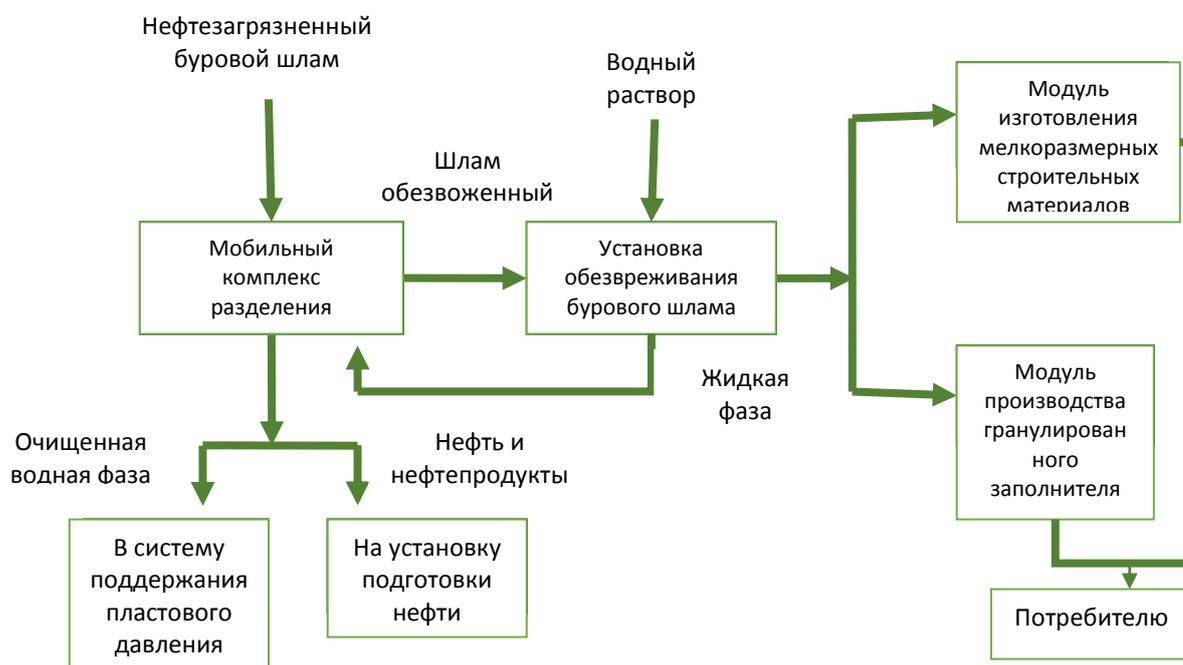
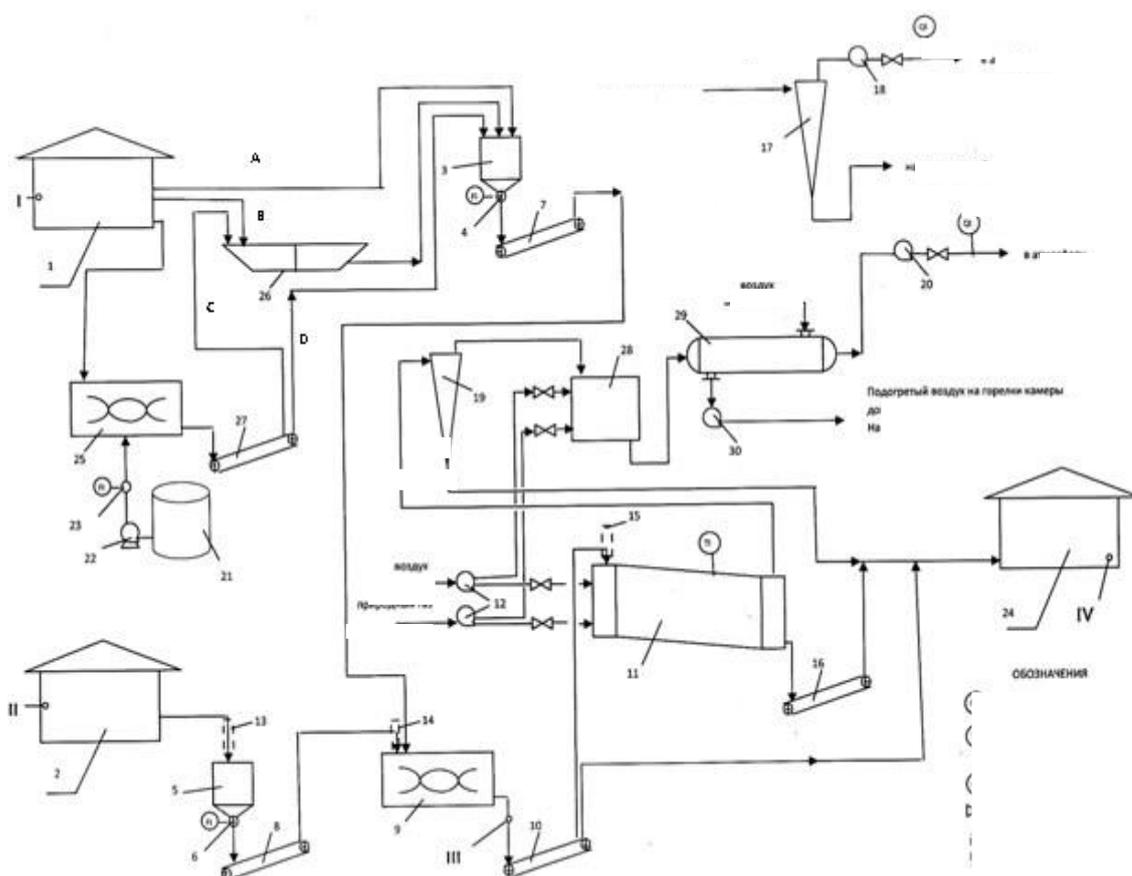


Рисунок 4 - Схематичный технологический процесс переработки отходов бурения

Как правило, наилучшие доступные технологии применяют данный технологический процесс переработки отходов бурения.

## 1.4 Технология утилизации буровых шламов с получением дорожно-строительного материала

На рисунке 5 представлена схема переработки бурового отхода с получением дорожно-строительного материала.



1 - склад бурового шлама; 2 - склад песка; 3, 5, - бункеры; 4, 6, - шнековые дозаторы; 7, 8, 10, 16, 27 - шнековые транспортеры; 9 - смеситель лопастной непрерывного действия; 11 - барабанная сушилка; 12, 18, 20 - вентиляторы; 13, 14, 15 - местные отсосы; 17, 19 - циклоны; 21 - емкость с соляной кислотой; 22 - насос; 23 - дозатор кислоты; 24 - склад готовой продукции; 25 - смеситель лопастной периодического действия; 26 - технологический двухсекционный отстойник; 28 - камера дожигания отходящих газов из барабанной сушилки; 29 - кожухотрубчатый теплообменник; 30 - компрессор; I, II, III, IV, - точки отбора проб

Рисунок 5 - Технологическая схема переработки буровых шламов с получением дорожно-строительного материала

Буровой шлам и песок доставляются на рабочую площадку с помощью автотранспорта (самосвалов). Для равномерного складирования бурового шлама, песка и готовой продукции предназначены бульдозеры.

«Перед использованием бурового шлама для соблюдения требований изготовления, его анализируют на следующие основные параметры: химический состав водной вытяжки бурового шлама (рН, карбонаты, сухой остаток); физико-механические характеристики (природная влажность, плотность); гранулометрический анализ (содержание глинистых частиц в буровом шламе)» [41].

Проведение анализа бурового шлама также необходимо количества для определения требуемого количества песка для смешения с буровым шламом. Песок анализируют на основные параметры (модуль крупности, содержание глинистых частиц и т. п.). При этом, если буровой шлам не удовлетворяет требованиям, в технологии предусмотрены 3 потока для доведения всех требуемых параметров до оптимального уровня:

- поток А — если содержание нефтепродуктов  $< 5$  г/кг, сухого остатка  $< 25$  г/кг, карбонат-ионов  $< 660$  мг/дм<sup>3</sup>;

- поток В — если содержание нефтепродуктов  $> 5$  г/кг или сухого остатка  $> 25$  г/кг, карбонат-ионов  $< 660$  мг/дм<sup>3</sup>;

- поток С — если содержание нефтепродуктов  $> 5$  г/кг или сухого остатка  $> 25$  г/кг, карбонат-ионов  $> 660$  мг/ дм<sup>3</sup>;

«Для доведения продукции до требуемой оптимальной влажности предусмотрена барабанная сушилка, в которой происходит сушка шламо-песчаной смеси при температуре 400 °С. В качестве топлива для сушки шламо-песчаной смеси может быть использован попутный газ, образующийся на нефтегазодобывающих месторождениях» [41].

Для исключения неполного окисления воздухом углеводородов, предусмотрена камера дожигания отходящих газов из барабанной сушилки при температуре 800 °С. Для рационального использования тепла отходящих газов предусмотрен кожухотрубчатый теплообменник. Подогретый воздух из

межтрубного пространства кожухотрубчатого теплообменника может использоваться для обогрева склада бурового шлама в зимний период, либо может быть направлен на горелки камеры дожигания и барабанной сушилки.

Метод нецелесообразен из-за использования огромного количества аппаратов, следовательно, также большого количества энергии.

### **1.5 Оформление результатов анализа**

При проведении анализа были:

- 1) Проанализирована существующая технология бурения нефтяных скважин.
- 2) Проанализированы объемы накопления бурового отхода. В стране ежегодно образуется от 4 до 7 млн. тонн нефтешламов.
- 3) Проанализированы доступные технологии утилизации и переработки отходов бурения.

По результатам анализа было установлено, что биологические, физические и химические методы не дают необходимых результатов.

## 2 Экспериментальная часть

### 2.1 Экспериментальный анализ нефтешлама

Для эксперимента был взят нефтешлам неизвестного состава. Экспериментальная часть проводилась в лабораторных условиях в соответствии с методиками.

#### 2.1.1 Определение влажности

Исследование проводилось по ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.27-02.

Исходя из результатов анализа, вычислили влажность по формуле (2.1.1):

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100 \%, \quad (2.1.1)$$

где  $m_1$  - масса влажной пробы, (разность масс бюкса с влажным осадком и пустого бюкса), г;

$m_2$  - масса пробы, высушенной при 105 °С, (разность масс бюкса с высушенной пробой и бюкса стаканчика), г.

Подставим исходные данные в формулу (2.1.1):

$$W = \frac{(100 - 91,86)}{100} \cdot 100 \% = 8,14 \%$$

Следовательно, влажность нефтешлама составляет 8,14 %.

#### 2.1.2 Определение содержания механических примесей

Исследование проводилось по ГОСТ 6370-83.

Массовую долю механических примесей  $X$  (%), по результатам анализа, вычисляют по формуле (2.1.2):

$$X = \frac{G_1 - G_2}{G} \cdot 100, \quad (2.1.2)$$

где  $G_1$  – масса фарфоровой чаши с фильтром и механическими примесями, г;

$G_2$  – масса фарфоровой чаши с фильтром, г;

$G$  – навеска испытуемого нефтешлама.

Подставим исходные данные в формулу (2.1.2):

$$X = \frac{51,8746 - 6,3964}{100} \cdot 100 \% = 45,4782 \%$$

Следовательно, анализируемый нефтешлам приближен к придонному слою (содержание механических примесей 52 – 88 %).

### **2.1.3 Определение содержания воды**

Исследование проводилось по ГОСТ 2477-2014.

Объемную долю воды  $X$ , %, по результатам анализа, рассчитывают по формуле (2.1.3):

$$X = \frac{V \cdot 100}{V_1}, \quad (2.1.3)$$

где  $V$  – объем воды, собравшейся в приемнике-ловушке мл;

$V_1$  – объем нефти или нефтепродукта, взятый для испытания, мл.

Подставим исходные данные в формулу (2.1.3):

$$X = \frac{16,5 \cdot 100}{105} = 15,7 \%$$

Следовательно, объемная доля воды (%) в исследуемом нефтешламе равна 15,7.

#### 2.1.4 Определение содержания хлористых солей

Исследование проводилось по ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.28-02.

Массовую концентрацию хлоридов в пробе, мг/дм<sup>3</sup>, по результатам анализа, рассчитывают по формуле (2.1.4):

$$X = \frac{35,45 \cdot (V - V_{\text{хол}}) \cdot C_{\text{Ag}} \cdot 1000}{V_1}, \quad (2.1.4)$$

где  $X$  – массовая концентрация хлоридов в пробе, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  – объем раствора нитрата серебра, израсходованного на титрование пробы, мл;

$V_{\text{хол}}$  – объем раствора нитрата серебра, израсходованного на титрование холостой пробы, мл;

$C_{\text{Ag}}$  – концентрация раствора нитрата серебра, моль/дм<sup>3</sup>;

$V_1$  – объем пробы, взятой для определения, мл;

35,45 – молярная масса эквивалента  $\text{Cl}^-$ , г/моль.

Подставим исходные данные в формулу (2.1.4):

$$X = \frac{35,45 \cdot (50 - 1) \cdot 0,02 \cdot 1000}{10} = 3474 \text{ мг/дм}^3.$$

Следовательно, концентрация хлорид-ионов (3474 мг/дм<sup>3</sup>) в анализируемом нефтешламе значительно превышает утвержденную законодательством ПДК (900 мг/дм<sup>3</sup>).

#### 2.1.5 Определение содержания непредельных углеводородов

Исследование проводилось по ПНД Ф 16.1:2:2:2.3:3.64-10.

По результатам анализа было установлено, что содержание в анализируемом нефтешламе непредельных углеводородов очень низкое, вследствие чего, определить точное содержание непредельных УВ в нефтешламе данным методом невозможно.

### 2.1.6 Определение токсичности

Исследование проводилось по ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 и Т 16.1:2:2.3:3.9-06.

Количество живых особей после 48 часов в разных чашках Петри представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа

Разбавление	Количество живых особей
Исходный	4
В 10 раз	5
В 100 раз	5
В 1000 раз	5
В 10000 раз	5

Для определения острой токсичности исследуемых вод, водных вытяжек осадков сточных вод и отходов рассчитывается процент погибших в тестируемой воде дафний ( $A$ , %) по сравнению с контролем по формуле (2.1.6):

$$A = \frac{\bar{X}_k - \bar{X}_T}{\bar{X}_k} \cdot 100\%, \quad (2.1.6)$$

где  $\bar{X}_k$  - количество выживших дафний в контроле (среднее значение из трех параллельных определений);

$\bar{X}_T$  - количество выживших дафний в тестируемой воде (среднее значение из трех параллельных определений).

Подставим исходные данные в формулу (2.1.6):

$$A = \frac{(10 - 4,8)}{10} \cdot 100\% = 52 \%$$

Следовательно, нефтешлам является токсичным и, учитывая СанПин, переработке или повторному использованию не подлежит.

Используя ту же методику провели биотестирование с использованием препарата содержащего гумат.

Выживание тест-объектов составило 100 %.

## **2.2 Обработка результатов эксперимента**

В результате проведенного эксперимента было выяснено, что компонентный состав испытуемого нефтешлама различен с теоретическими данными. Следовательно, нефтешламы имеют непостоянный компонентный состав. Анализируемый нефтешлам имеет влажность 8,14 %, содержит механические примеси 52 – 88 %, имеет объемную долю воды 15,7 %, концентрацию хлорид-ионов 3474 мг/дм<sup>3</sup>.

Так же было выяснено, что данный нефтешлам является токсичным и не пригоден для дальнейшей переработки. Следовательно, требуется обезвреживание. Смертность дафний за 48 часов составила 52 %. При тестировании токсичности с использованием препарата, содержащего гумат, смертность дафний составила 0 %, что свидетельствует о способности материала «ГУМИКОМ» снижать токсичность отхода бурения.

### **3 Оптимизация технологии переработки отходов бурения**

#### **3.1 Технология утилизации буровых шламов с получением гранул путем термической переработки**

##### **1. Приемка сырья**

Буровой шлам из автомобильного транспорта выгружается в бункер-накопитель помещения накопления отходов бурения.

«Принимаемые на переработку отходы бурения должны доставляться на участок на специально оборудованных и снабженных специальными знаками транспортных средствах с соблюдением всех требований безопасности к транспортированию отходов I - IV класса опасности» [15].

##### **2. Входной контроль сырья.**

Сырье и материалы допускаются в производство по результатам входного контроля. Входной контроль принимаемого бурового шлама должен проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 24297-2013 по п. 2.2.1. - 2.1.4 ТР. Пробы для анализа отбираются в соответствии с ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3.2-03 от каждой партии бурового шлама объемом не более 100 м<sup>3</sup>. С партий бурового шлама, объем которых превышает количество 100 м<sup>3</sup> берутся дополнительные пробы для анализа из расчета одна проба на каждые 100 м<sup>3</sup> шлама. Пробы отбираются методом конверта по мере поступления шлама.

Отход принимается на обезвреживание только при наличии оформленной в установленном порядке паспорта опасного отхода, с обязательным указанием содержания нефтепродуктов и воды [20].

Принимаемые отходы бурения подлежат обязательному входному радиационному контролю в соответствии с «Временными критериями по принятию решений при обращении с почвами, твердыми строительными, промышленными и другими отходами, содержащими гамма-излучающие радионуклиды», утвержденными Главным государственным санитарным

врачом РФ 05.06.1992 г. № 01-19/5-11. Контроль проводится силами и средствами эксплуатанта установки, результаты документируются в журнале входного контроля. Критерием допуска к использованию в технологическом процессе по-настоящему ТР является мощность экспозиционной дозы не более 30 мкР/ч.

### 3. Сушка и обжиг сырья.

После выведения установки в режим рабочих температур включается подача исходного сырья в сушильные барабаны.

В установке используется два сушильных барабана СМЦ 428.3М, изготавливаемые по ТУ 3613-001-54028986-2015.

Сушильный барабан имеет следующие характеристики:

- объем барабана – 120,1 м<sup>3</sup>;
- частота вращения – 4,12 об/мин;
- мощность привода - 75 кВт.

Подача в установку бурового шлама осуществляется безосевыми конвейерами, непосредственно в загрузочные камеры барабанов сушильных. Для обеспечения эффективной сушки материала и снижения влажности до формовочной, принята прямоточная тепловая схема подачи сушильного агента и материала. На выходе из сушильного барабана материал имеет влажность не более 8 %.

При сушке отходов бурения принята поточная система. Процесс сушки бурового шлама - термический процесс удаления влаги из материала путем ее испарения, который сопровождается изменением объема (усадкой). За счет удаления влаги, частицы материала сближаются, и размеры материала уменьшаются. Так как сушка буровых отходов проводится в открытом пламени горелки, содержащиеся в буровых отходах органические вещества подвергаются деструкции и окислению [43].

В состав бурового шлама может входить сырая нефть, которая является основной органической примесью данного отхода. Углеводороды сырой нефти подвергается окислению при температурах 450 - 700 °С. Отходящие

газы из сушильных барабанов отводятся с помощью дымососов на газоочистное оборудование.

#### 4. Формирование гранул.

После сушильных барабанов обезвоженный буровой шлам ленточными конвейерами подается на аппарат массообразователя МПК-200 оригинальной конструкции. Аппарат массообразователя МПК-200 формирует из высушенных отходов бурения гранулы для дальнейшего спекания. Основными рабочими органами аппарата массообразователя МПК-200 являются два вальца с параллельными осями. Обезвоженный буровой шлам, поступающий в загрузочную воронку, затягивается вальцами, вращающимися навстречу друг другу, растирается и продавливается через специальные отверстия в секторах внутрь вальцов. На вальцах установлены съемные бандажи оригинальной конструкции, позволяющие увеличивающие срок их эксплуатации.

Конструкция вальцов аппарата массообразователя МПК-200 включает устройство со съемными ножами (скребками) для очистки поверхностей гладких вальцов во время работы и устройство для предохранения вальцов от перегрузок при попадании недробимых материалов.

В конструкции аппарата массообразователя МПК-200 также предусмотрены:

- возможность регулирования зазора между вальцами;
- возможность установки приспособления для восстановления геометрической формы рабочих поверхностей гладких вальцов без их демонтажа;
- возможность обслуживания и замены быстро изнашивающихся деталей;
- возможность контроля зазоров между вальцами.

5. Спекание отформованных гранул в печи предварительно обработанного материала.

Отформованные на аппарате массообразователя МПК-200 гранулы по ленточному конвейеру и затем цепному элеватору подаются в загрузочную тещку вращающей печи.

В установке используются печь вращающаяся ПВ 2.5x40 У1, изготавливаемая по ТУ 3613-001-54028986-2015.

Вращающаяся печь ПВ 2,5x40 У1 имеет следующие характеристики:

- мощность главного привода - 37 кВт;
- мощность вспомогательного привода – 2,2 кВт.

Во вращающейся печи происходит термopодготовка и обжиг материала при температуре 950 - 1100 °С. Так же, как и в сушильных барабанах, при подготовке и обжиге бурового шлама принята поточная система.

Процесс спекания отформованных гранул из отходов бурения - высокотемпературная тепловая обработка материала, являющаяся завершающей и наиболее ответственной на стадии изготовления строительного материала. Отходящие газы из вращающейся печи отводятся с помощью дымососов на газоочистное оборудование.

#### 6. Охлаждение строительного материала.

После обжига в печи материал поступает в барабанный холодильник, где происходит его охлаждение.

В установке используется холодильник барабанный ХБ 1610 00, изготавливаемый по ТУ 3613-00 - 54028986-2015.

Холодильник барабанный ХБ 1610 00 имеет следующие характеристики:

- объем - 20,1 м<sup>3</sup>;
- мощность главного привода - 18,5 кВт.

7. Выгрузка и анализ материала, образующегося при обезвреживании на установке. Из барабанного холодильника полученный строительный материал по передвижному ленточному конвейеру поступает и распределяется на площадке готовой продукции. Полученный строительный

материал должен быть испытан на соответствие требованиям ТУ 5711-003-54028986-2015.

#### 8. Отвод и очистка отходящих газов.

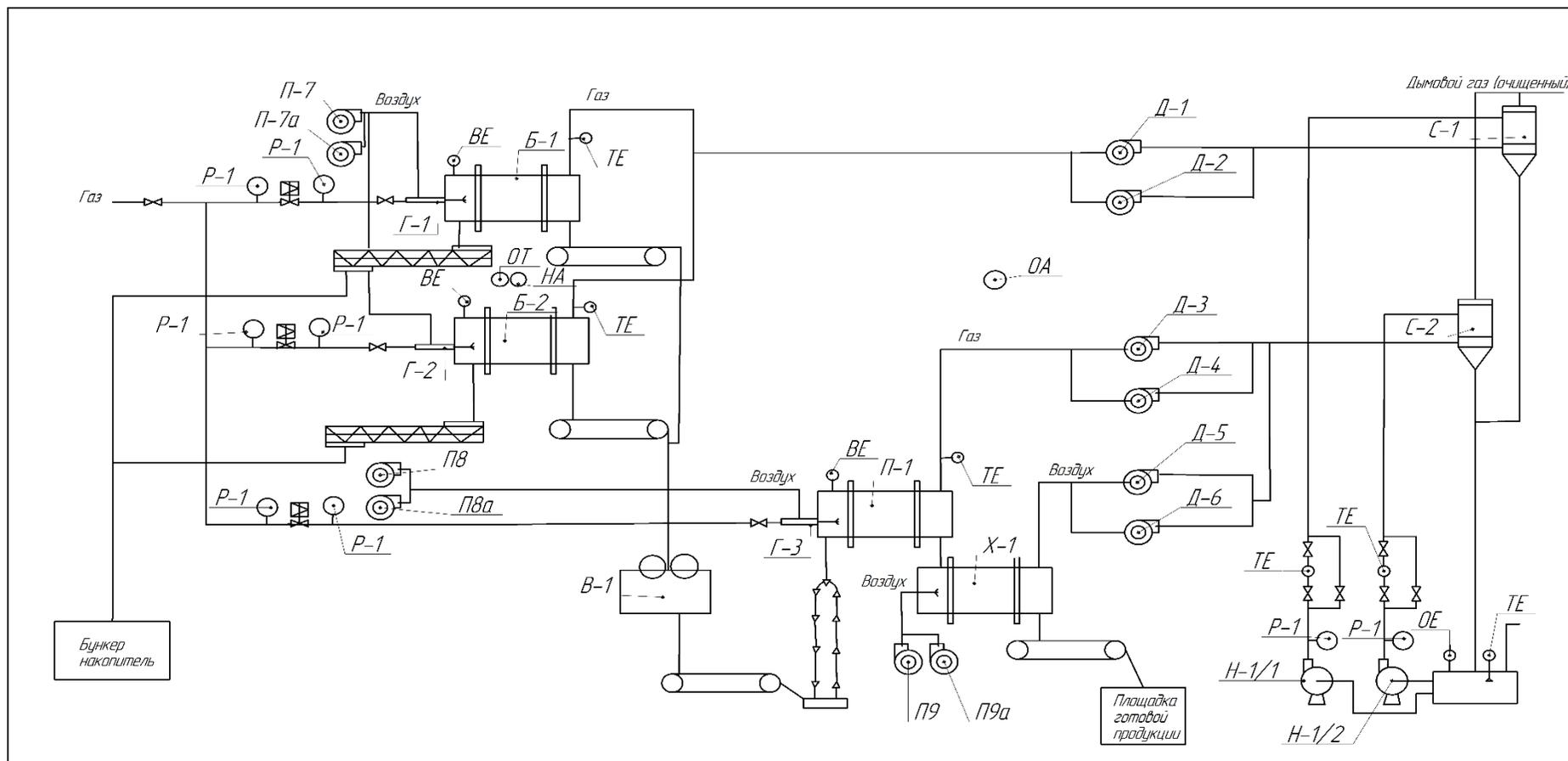
Отвод топочных газов от сушильных барабанов и печи вращающейся, а также запыленного воздуха от холодильника барабанного осуществляется дымососами в систему аспирации, где происходит их очистка. Для отвода топочных газов используются дымососы ДН-12,5К-03, производительностью 40000 м<sup>3</sup>/ч и мощностью — 75 кВт. Два дымососа отводят топочные газы от сушильных барабанов и по два от вращающейся печи и барабанного холодильника. Для очистки отходящих газов используются два форсуночных скруббера. В основе их работы лежит контакт запыленного газового потока с жидкостью (технической водой), которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама.

Технические характеристики форсуночного скруббера:

- Допускаемая нагрузка по газу - до 25 000 м<sup>3</sup>/час;
- Концентрация пыли на входе - 1200 мг/м<sup>3</sup>;
- Концентрация пыли на выходе - 35 мг/м<sup>3</sup>;
- Степень очистки газа от пыли - 67 %;
- Объем жидкости, циркулируемой в аппарате мокрой очистки при нормальном технологическом режиме - 18 м<sup>3</sup>/ч;
- Расход орошающей жидкости - 5 м<sup>3</sup>/ч.

После форсуночного скруббера загрязненная кислая вода, поступает в емкость, где нейтрализуется щелочью.

Технологическая схема представлена на рисунке 6.



Г 1,2,3 – Горелка газовая; Б 1,2 – Барабан сушильный; П-1 – Печь вращающаяся; В-1 – Аппарат массообразователь МПК-200;  
 Х-1 – Холодильник барабанный; Д 1-6 – Дымосос; С 1,2 – Аппарат мокрой очистки отходящих газов; Н 1/1,2 – Насос центробежный;  
 П 7-9, П 7а-9а – Приточные установки; ТЕ – Термоэлектрические преобразователи; Р1 – Манометры; ОЕ – рН-метры; ОА – Сигнализаторы

Рисунок 6 - Технологическая схема переработки буровых шламов с получением гранул путем термической переработки

Рассмотренный метод является наилучшим из рассмотренных из-за: малого количества добавок и простого аппаратного оформления, что является наиболее экономически выгодным, даже не смотря на затраты энергии для проведения процесса. В следствии выше сказанного для оптимизации технологии будет рассмотрен метод термической переработки отхода бурения с получением гранул, которые используются как строительный материал.

### 3.2 Характеристика исходного сырья, материалов, энергоресурсов

Принимаемые на термическую переработку отходы должны соответствовать следующим требованиям [3]:

- представлять собой однородную массу;
- иметь влажность – 20 - 75 %;
- иметь плотность – 1500 - 1700 г/см<sup>3</sup>;
- содержание органического вещества в отходах бурения не должно превышать 3 %;
- показатели рН отходов бурения должны соответствовать 7 - 10;
- пластичность отходов бурения должна быть не менее 10;
- содержание в отходах бурения крупнозернистых включений не должно превышать показателей, указанных в таблице 3.

Таблица 3 – Предельное количество крупнозернистых включений в отходах бурения

Размер крупнозернистых включений, мм	Содержание включений, % по массе, не более	
	общее количество	в том числе карбонатных
от 5 до 1,0	5,0	3,0
Св. 1,0 до 5,0	3,0	2,0
Св. 5,0	2,0	1,0

Отходы бурения не должны содержать посторонних засоряющих примесей (строительного и производственного мусора, ветоши, бытовых отходов и т.п.)

Так же отходы бурения должны соответствовать требованиям радиационной безопасности. Удельная эффективная активность естественных радионуклеидов не должна превышать 370 Бк/кг, в соответствии с «Нормами радиационной безопасности» СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009), СП 2.6.1.799-99 (ОСПОРБ-99) и ГОСТ 30108-94.

Характеристика используемого газа:

Технологическое оборудование – печь вращающаяся и барабаны сушильные (работают на топливном природном газе). Топливный природный газ, используемый в аппаратах установки, соответствует ГОСТ 5542-87. Расход газа на нужды установки составляет 2640 м<sup>3</sup>/ч.

Потребность в воде.

Подпитка оборотного водоснабжения аппаратов мокрой очистки отходящих газов составляет 1,8 м<sup>3</sup>/ч (13176 м<sup>3</sup>/год).

Характеристика получаемого строительного материала.

В результате процесса переработки отходов бурения на установке получается строительный материал соответствующий следующим требованиям ТУ 5711-003-54028986-2015.

В зависимости от способа производства строительный материал подразделяется на гравий и песок.

Гравий изготавливается следующих основных фракций: от 5 до 10; от 10 до 20; от 20 до 40 мм., а так же смеси фракций от 5 до 20 мм. и от 5 до 40 мм. Допускается изготовление гравия от 2,5 до 10 мм. и от 0 до 5 мм.

Зерновой состав гравия каждой фракции должен соответствовать указанному в таблице 4.

Таблица 4 – Зерновой состав гравия

Диаметр отверстия контрольного сита	d	D	2D
Полный остаток на сите, % по массе	от 85 до 100	до 10	Не допускается

Где, D, d – соответственно наибольший и наименьший номинальные диаметры контрольных сит.

Зерновой состав песка должен соответствовать указанному в таблице 5.

Таблица 5 – Зерновой состав песка

Размер отверстия контрольного сита, мм	Полный остаток на контрольном сите, по объему, %
2,5	0-70
1,25	50-100
0,315	70-100
0,16	80-100
Проход через сито 0,16	0-5

В зависимости от насыпной плотности строительный материал подразделяется на марки, приведенные в таблице 6.

Таблица 6 – Насыпная плотность строительного материала

Марка по насыпной плотности	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
800	≤ 800
1000	> 800; ≤ 1000
1200	> 1000; ≤ 1200
1400	> 1200; ≤ 1400

В зависимости от прочности, определяемой испытанием в цилиндре гравий и песок подразделяются на марки по прочности, приведенные в таблице 7.

Таблица 7 – Марки прочности

Марка по прочности	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа
П35	$\leq 1,0$
П50	$>1,0; \leq 1,5$
П75	$>1,5; \leq 2,0$
П100	$>2,0; \leq 2,5$
П125	$>2,5; \leq 3,3$
П150	$>3,3; \leq 4,5$
П200	$>4,5; \leq 5,5$
П250	$>5,5; \leq 6,5$
П300	$>6,5; \leq 8,0$
П350	$>8,0; \leq 10,0$
П400	$>10,0$

Коэффициент размягчения гравия должен быть не менее 0,7.

Гравий, предназначенный для изготовления покрытий, оснований, дополнительных слоев оснований и других конструктивных слоев дорожной одежды, должен подвергаться испытаниям на прочность (дробимость) в водонасыщенном состоянии. Потеря массы при определении прочности (раздавливании) в цилиндре в водонасыщенном состоянии не должна превышать 20 %.

Гравий по истираемости подразделяется на марки в соответствии с требованиями, указанными в таблице 8.

Таблица 8 – Истираемость строительного материала

Марка по истираемости	Потеря массы при испытании, %
И1	$\leq 25$
И2	$> 25; \leq 35$
И3	$> 35; \leq 45$
И4	$> 45; \leq 60$

Морозостойкость гравия характеризуется числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потери гравия по массе не превышают установленных значений. По морозостойкости гравии

подразделяется на следующие марки: F15, F25, F50, F100, F150. Показатели морозостойкости гравия при испытании его замораживанием и оттаиванием должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 9.

Таблица 9 – Морозостойкость строительного материала

Показатели	Марка гравия по морозостойкости				
	F15	F25	F50	F100	F150
Число циклов	15	25	50	100	150
Потеря массы при испытании, % не более	10	10	10	5	5

Потеря массы гравия при кипячении должна быть не более 5 % для формованного гравия и не более 8 % для неформованного.

Потеря массы при прокаливании гравия и песка должна быть не более 5 %.

Песок в зависимости от размера зерен, входящих в его состав, модуля крупности и полного остатка на сите с сеткой, подразделяют на группы по крупности в соответствии с таблицей 10.

Таблица 10 – Крупность песка

Группа песка по крупности	Модуль крупности, Мк	Полный остаток на сите, % по массе
Очень крупный	$\geq 3,5$	$\geq 75$
Повышенной крупности	$> 3,0; \leq 3,5$	$> 65; \leq 75$
Крупный	$> 2,5; \leq 3,0$	$> 45; \leq 65$
Средний	$> 2,0; \leq 2,5$	$> 30; \leq 45$
Мелкий	$> 1,5; \leq 2,0$	$> 10; \leq 30$
Очень мелкий	$> 1,0; \leq 1,5$	$> 10$

Содержание в песке примесей (пылевидных и глинистых частиц), определенное методом отмучивания, не должно превышать 3 % по массе.

Содержание глинистых частиц, определяемых при испытании на набухание, не должно превышать 5 % по массе.

Водопоглощение гравия по массе при полном погружении не должно превышать 20 %.

Влажность гравия и песка не должна превышать 10 %.

Строительный материал из отходов бурения в зависимости от значения суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклеидов ( $A_{эфф}$ ) применяют:

- при всех видах строительства при  $A_{эфф}$  до 370 Бк/кг;
- при дорожном строительстве в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки при  $A_{эфф}$  свыше 370 Бк/кг до 740 Бк/кг;
- при дорожном строительстве вне населенных пунктов при  $A_{эфф}$  свыше 740 Бк/кг до 1500 Бк/кг.

Энергопотребление

Для осуществления полного цикла по переработке отходов бурения, от поступления сырья, до выхода строительного материала выполняется подключение следующего оборудования:

- безосевые конвейеры (7,5 кВт) подачи продукта в сушильные барабаны;
- сушильные барабаны мощностью 75 кВт;
- ленточные и ковшовые конвейеры – 7,5 кВт;
- аппарат массообразователь МПК-200 – 45 кВт;
- печь вращающаяся – 37 кВт;
- холодильник барабанный – 18,5 кВт.

Максимальная потребляемая электрическая мощность установки составляет не более 600 кВт.

Гравий (песка), который образуется на выходе, имеет тот же химический состав, что и обезвоженный бетонит, состав которого представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Состав гравия (песка)

Наименование загрязняющего вещества	Содержание в процентах, %
SiO <sub>2</sub>	65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15
CaO	9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11

Требования, предъявляемые к сырью и его характеристики были представлены в таблицах и перечислены в данном пункте.

### **3.3 Анализ отходов, образующихся при производстве строительного материала из отходов бурения**

При переработке отходов бурения в окружающую среду выделяются вещества, образующиеся при термической деструкции углеродсодержащих компонентов сырья, продукты горения природного газа [32]. Образующиеся выбросы в атмосферу представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Выбросы в атмосферу, образующиеся в результате работы установки

Наименование загрязняющего вещества	Количество образования по выбросам	
	г/с	т/год
Азота диоксид	1,376	36,272
Азота оксид	0,224	5,894
Ангидрид сернистый	0,335	8,827
Сероводород	0,017	0,438
Углерод оксид	1,606	42,315

Ежедневно образуется шлам от аппаратов, который накапливается в бункере накопления в количестве 5,611 кг/сут. (1711,273 т/год), а после идет на захоронение на полигон.

### 3.4 Использование строительного материала на основе переработки отходов бурения

Использование заявленного строительного материала, как экологически безопасный техногенный материал, а именно, в виде: строительного материала при строительстве и укреплении внутри промышленных дорог, откосов дорог, обвалок оснований кустовых и строительных площадок, оснований свалок городского мусора и промышленных отходов, при строительстве и рекультивации иных промышленных объектов, что позволяет сохранить дороги, например, от размыва во время проливных дождей, в том числе и с неоднородным, и неустойчивым составом грунта, кроме этого в виде мульчирующего материала, например, при озеленении откосов и обочин промышленных автодорог, или в виде искусственного почвогрунта, например, для рекультивации шламохранилищ и шламовых амбаров [5]. Возможные продукты при переработке отходов бурения представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Возможные продукты при переработке отходов бурения

Наименование	Область применения
Бордюрный камень. Камни бетонные и железобетонные бортовые. Технические условия (утв. Постановлением Госстроя СССР от 03.04.1991 г. № 13) [ГОСТ 6665–91].	Отделение проезжей части улиц от тротуаров, газонов, площадок и т.д. [ГОСТ 6665–91].
Связующие смеси. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия (с Изменениями № 1, 2), утв. Постановлением Госстроя России от 21.07.1994 г. № 18-1 (в ред. от 01.08.2005) [ГОСТ 23558–94].	Устройство оснований и дополнительных слоев оснований автодорог с капитальным, облегченным и переходными типами дорожного вокруг покрытия [ГОСТ 23558–94].

Продолжение таблицы 13

Наименование	Область применения
Плитка тротуарная. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия (с Изменением № 1), утв. Постановлением Госстроя СССР от 03.04.1991 г. № 14 (в ред. от 01.09.2003) [ГОСТ 17608–91].	Устройство сборных покрытий тротуаров [ГОСТ 17608–91].
Шлакоблоки ГОСТ 6133–99. Камни бетонные стеновые. Технические условия гост от 01.01.2002 г. (изм. от 19.07.2010) [ГОСТ 6133–99].	Малозэтажное строительство – для ограждающих и несущих конструкций, подсобных зданий [ГОСТ 6133–99].
Гранулированный заполнитель. Щебень и песок из пористых горных пород. Технические условия (с Изменением № 1), утв. Постановлением Госстроя СССР от 10.12.1976 г. № 200 (в ред. от 04.12.2000) [ГОСТ 22263–76].	В бетонах [ГОСТ 22263–76].
Продукт. Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны вод от загрязнения при бурении и освоении морских скважин на нефть и газ (с Изменением № 1), утв. Постановлением Госстандарта СССР от 06.07.1977 г. № 1695 (в ред. от 01.05.2002) [ГОСТ 17.1.3.02–77].	Добавка в промывочную жидкость [ГОСТ 17.1.3.02–77].
Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия гост от 01.01.1991 г. (изм. от 19.07.2010) [ГОСТ 9757–90].	Добавка при производстве керамзитного гравия [ГОСТ 9757–90].

Так же использование материала дает возможность по мере использования их на эти цели освободить нефтепромыслы от нефтешламowych амбаров, рекультивировать выработанные карьеры песка и торфа, неиспользуемые промышленные площадки и прочие технологические объекты, что значительно оздоровит экологическую и санитарную обстановку [35].

### **3.5 Использование препарата «ГУМИКОМ», для увеличения количества сырья, подлежащего переработке**

Для технологий переработки отходов бурения в целом важной составляющей является количество отхода бурения пригодного для переработки [36].

Сырье, используемое для получения строительного материала, должно соответствовать требованиям (ГОСТ 24297-2013 по п. 2.2.1. - 2.1.4 ТР). Оптимизация данной технологической схемы может включать в себя увеличение пригодного к переработке отхода бурения.

Для снижения токсичности отхода бурения используют материал «ГУМИКОМ».

«Он включает следующие ингредиенты, от веса бурового шлама, вес. %: буровой шлам, минеральную добавку - песок или дробленый гранит (20-30 вес. %), осушитель - перлит (до 5 вес. %), ускоритель - формиат кальция (до 2,5 вес. %), отвердитель - цемент (2,5 - 5,0 вес. %), дополнительно гуматы (0,01 - 0,05 вес. %), глауконит (2,0 - 2,5 вес. %) и дрожжи (0,05 - 0,1 вес. %)» [40]. Состав материала «ГУМИКОМ» приведен на рисунке 12.

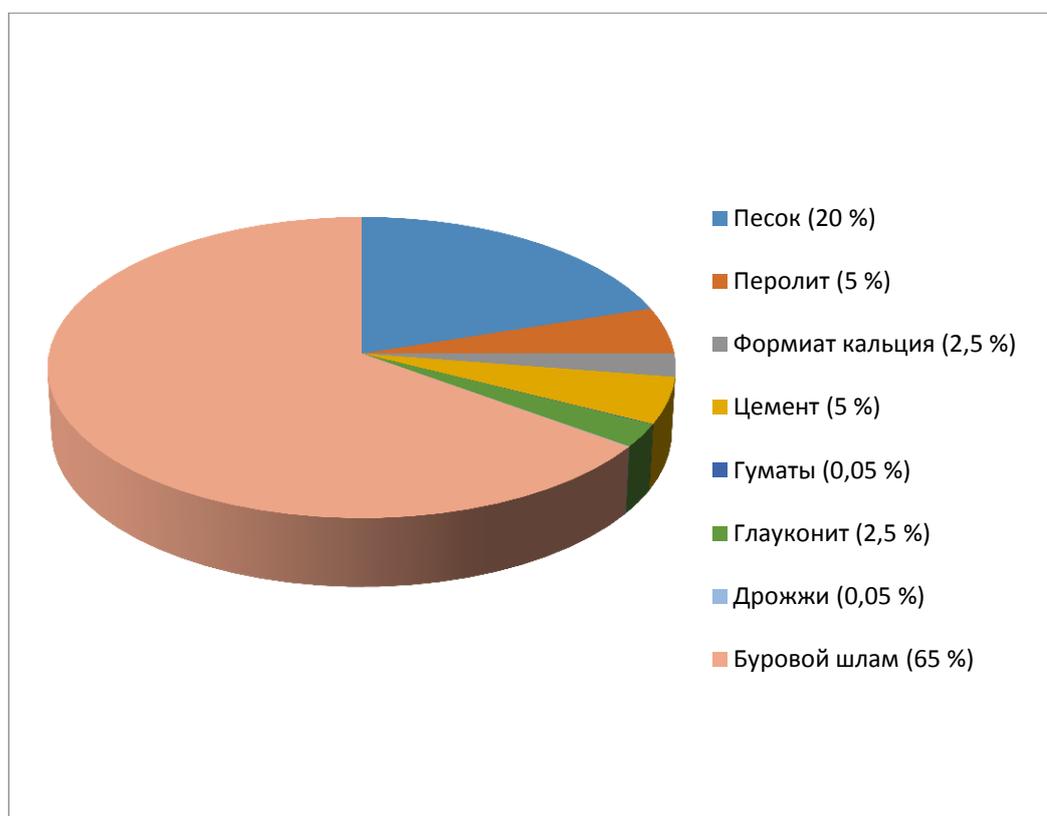


Рисунок 12 – Состав материала «ГУМИКОМ»

Вышеперечисленный состав позволяет получить следующий технический результат - расширение арсенала средств, предназначенных для строительства, за счет утилизации отходов от бурения скважин, улучшит экологическую обстановку.

«Предлагаемый материал обладает ингредиентами, дающими положительный эффект: глауконитом, сорбирующим остаточное содержание нефти, гуматы, связывающие тяжелые металлы; перлитом, который удаляет часть воды из бурового шлама при рекультивации шламового амбара, а также дрожжами, выполняющими функцию детоксикации бурового шлама» [40].

Полученный композит позволяет устранить текучесть бурового шлама, придает материалу сыпучие свойства и препятствует миграции загрязняющих веществ в окружающую среду.

«При добавлении отхода бурения смесь схватывается за счет присутствия в ней цемента и формиата кальция в течение одних суток.

Формиат кальция, кроме того, играет роль противозамерзающего агента, снижая точку замерзания композиционной смеси. Гуматы вносятся для детоксикации и улучшения структуры полученного продукта. Перемешивание содержимого амбара и вводимых в него добавок производят экскаватором. После обработки композиционной смесью бурового шлама его класс опасности изменяется с 4 на 5» [40].

Таким же образом в зависимости от состава отхода бурения можно снизить его класс опасности с 3 на 4 или 5.

Исходя из всего вышеперечисленного, можно утверждать, что использование материала «ГУМИКОМ» является перспективным для увеличения количества сырья, из которого после термической переработки получается строительный материал.

### 3.6 Обоснование аппаратной части

В рассмотренной технологической схеме был использован аппарат мокрой очистки форсуночный скруббер, представленный на рисунке 7.

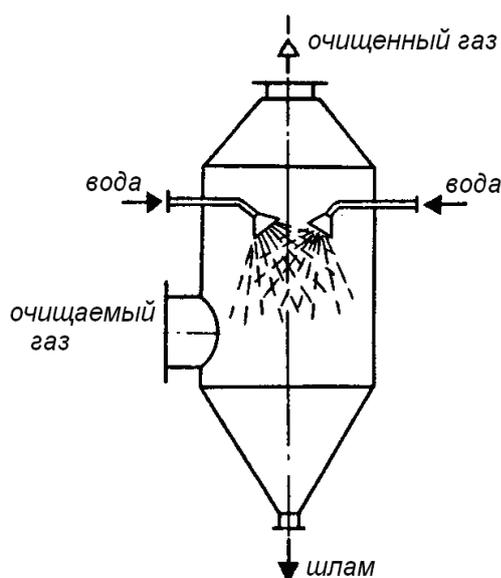


Рисунок 7 – Схема форсуночного скруббера

Главным недостатком форсуночного скруббера является эффективность очистки газа, которая составляет 60 - 70 %.

«Форсуночные скрубберы представляют собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распыляемой форсунками. При этом частицы пыли захватываются каплями жидкости и осаждаются вместе с ними, а очищенные газы удаляются из аппарата» [16].

По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости. Обычно применяются аппараты с противонаправленным движением газов и жидкости. В предложенной технологической схеме используется скруббер с противонаправленным движением газов и жидкости.

«Капли из форсунок падают навстречу запыленному потоку газов и должны быть достаточно крупными (не менее 500 мкм), чтобы не быть унесенными газовым потоком, скорость которого обычно составляет от 0,6 до 1,2 м/с. Большая скорость может вызвать унос капель. Полые форсуночные скрубберы обеспечивают высокую степень очистки при улавливании частиц размером более 10 мкм (60 - 70%) и малоэффективны при улавливании частиц размером менее 5 мкм» [13].

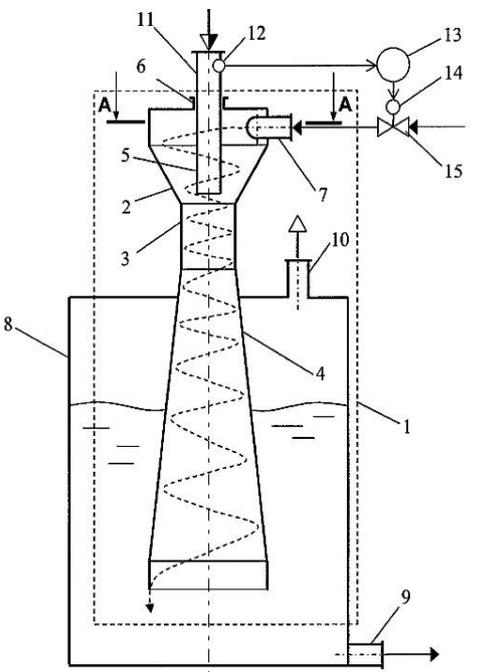
Согласно технологическому регламенту в данной схеме его эффективность очистки составляет 67 %.

Для оптимизации технологической схемы рассмотрим другие скрубберы.

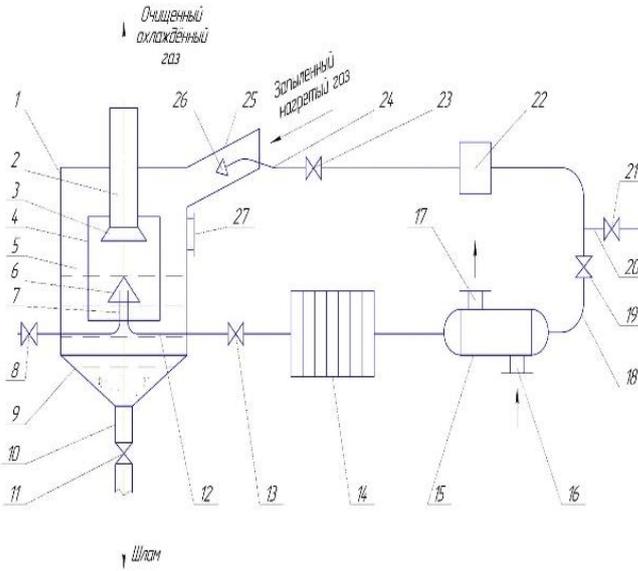
### **3.7 Патентный поиск аппаратов мокрой очистки**

Рассмотрим несколько патентов на разработки скрубберов для выбора подходящего аппарата для замены форсуночного скруббера. Данные составлены в таблицу 14.

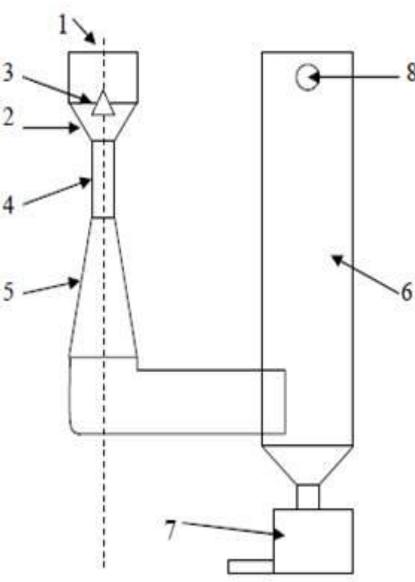
Таблица 14 – Патентный поиск аппаратов мокрой очистки

Название и схема аппарата мокрой очистки отходящих газов	Формула изобретения	Достоинства
<p>Вихревой скруббер</p>  <p>1 – корпус;                  2 – цилиндроконический конфузор;                  3 – горловина;                  4 – диффузор;                  5 – сопло;                  6 – уплотнитель;                  7 – патрубки Г-образной формы;                  8 – газотделительная емкость;                  9 – патрубок для отвода жидкости;                  10 – патрубок для отвода очищенного газа;                  11 – патрубок ввода пылегазового потока;                  12 – датчик концентрации пыли;                  13 – контроллер;                  14 – исполнительный механизм;                  15 – регулирующий клапан;                  Рисунок 9 - Схема вихревого скруббера</p>	<p>Вихревой скруббер, включает в себя корпус трубы в виде трубы Вентури, состоящий из цилиндроконического конфузора, горловины и диффузора, установленное в корпусе с соплом, снабженное патрубком ввода пылегазового потока, и имеющий подводящие патрубки и Г-образной формы, выполненные с возможностью поворота вокруг своей гост оси, и газотделительную емкость, снабженную патрубками горных отвода очищенного газа и жидкости с уловленными частицами, отличающийся тем, что подводящие патрубки нефть подключены к системе подачи пыли вокруг поглотителя, а сопло выполнено с возможностью осевого перемещения относительно корпуса.                  «Вихревой скруббер отличается тем, что в патрубок ввода пылегазового потока встроен датчик концентрации пыли» [6].</p>	<p>1) Повышение степени очистки газа за счет использования большой кинетической энергии вращающегося потока жидкости;                  2) Обеспечение возможности проведения быстротекающих их реакций в системах жидкость - твердое и газ - жидкость - твердое или тех стадий этих реакций, скорость которых лимитируется диффузией;                  3) Сокращение длины аппарата при заданной производительности                  4) Возможность очистки сильно запыленных потоков.</p>

Продолжение таблицы 14

Название и схема аппарата мокрой очистки отходящих газов	Формула изобретения	Достоинства
<p>Устройство для очистки нагретых отработанных газов</p>  <p>1 – корпус;                  2 – труба для отвода очищенного газа;                  3 – конфузор;                  4 – цилиндрическая вставка;                  5 – уровень жидкости;                  6 – коническая тарелка;                  7 – труба для удаления воздуха;                  8 – запорное устройство;                  9 – коническое днище;                  10 – патрубок для отвода сгущенного шлама;                  11, 13, 19, 21, 23 – запорно-регулирующее устройство;                  12 – труба для отвода осветленной жидкости;                  14 – фильтр;                  15 – теплообменник-утилизатор;                  16, 17 – патрубки для подвода и отвода жидкости;                  18 – трубопровод для рециркулирующей воды;                  20 – трубопровод свежей воды;                  22 – насос;                  24 – напорный трубопровод;                  25 – входной патрубок;                  26 – распылительное устройство;                  27 – устройство для контроля уровня воды.</p> <p>Рисунок 11 – Схема устройства для очистки нагретых отработанных газов</p>	<p>Устройство для очистки нагретых отработанных газов, содержащее корпус, периферийный вход газового потока с тангенциальным патрубком, расположенным под углом к горизонтали, отводящую трубу, отличающееся тем, что к распылительному устройству, размещенному во входном патрубке, подведен трубопровод рециркуляционной очищенной охлажденной воды, который снабжен фильтром, теплообменником-утилизатором и насосом, установленными вне корпуса устройства, входное отверстие рециркуляционного трубопровода находится под верхней частью конической тарелки, расположенной вершиной вверх внутри цилиндрической вставки, при этом тарелка и вставка размещены соосно корпусу аппарата и с зазорами между ними [14].</p>	<p>1) Снижение расхода чистой воды, благодаря использованию рециркуляционной воды;                  2) Снижение количества образующегося шлама благодаря уменьшению доли воды в нем вследствие его осаждения;                  3) Возможность утилизировать теплоту очищенного газа путем охлаждения контактировавшей с ним рециркулирующей воды;                  4) Повышение эффективности очистки за счет агрегатирования частиц пыли с каплями воды.</p>

Продолжение таблицы 14

Название и схема аппарата мокрой очистки отходящих газов	Формула изобретения	Достоинства
<p>Скруббер Вентури</p>  <p>1. входной патрубок; 2. конфузор; 3. орошающее устройство; 4. горловина; 5. диффузор; 6. корпус каплеуловителя; 7. гидрозатвор; 8. выходной патрубок.</p> <p>Рисунок 10 – Схема скруббера Вентури</p>	<p>Представляет собой две конусообразные секции, соединенные узкой горловиной. Поток газа движется из верхней секции в нижнюю, встречая поток жидкости в горловине. В основе работы эжекторного скруббера лежит уравнение Бернулли — с уменьшением поперечного сечения секции увеличивается скорость газа, достигая максимальной скорости в горловине, где, благодаря эффекту турбулентности, поток газа разбивает струю воды на множество мелких капель, которые улавливают мелкие частицы, тем самым очищая газ.</p> <p>Недостатком подобного аппарата является быстрый износ стенок секций, которые постоянно подвергаются разрушительному воздействию газа на высокой скорости [39].</p>	<p>1) Небольшая стоимость 2) «Более высокая эффективность улавливания взвешенных частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями. Могут быть применены для очистки газов от частиц размером до 1 мкм» [21]. 3) Универсальность: возможность работы как с газообразными химическими, так и с механическими загрязнителями различных фракций. 4) Возможность работы с высоконасыщенными и высокотемпературными потоками: нет проблем с конденсацией и температурными ограничениями (как, например, в электростатических осадителях).</p>

Исходя из вышеприведенных аппаратов, примем наиболее оптимальный и экономный вариант: скруббер Вентури. С экономической точки зрения форсуночный скруббер имеет примерно одинаковую стоимость (от 45000 рублей) в сравнении со скруббером Вентури (от 50000 рублей), который требует дорогостоящее обслуживание, однако, согласно технологическому регламенту форсуночный скруббер не достигает необходимой эффективности очистки. Этот недостаток устраняется при использовании скруббера Вентури.

### 3.8 Конструктивный расчет скруббера Вентури

Для расчета аппарата очистки, состоящего из трубы Вентури и каплеуловителя типа ЦВП, необходимы следующие данные:  $Q_r = 25000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $T_1 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p_0 = 1,26 \text{ кг/м}^3$ ;  $P_r = 2 \text{ кПа}$ ;  $P_{ж} = 310 \text{ кПа}$ ;  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{вх}} = 1,2 \text{ мг/м}^3$ ;  $C_{\text{вых}} = 0,035 \text{ мг/м}^3$ . Необходимые параметры для скруббера взяты с соответствием с технологическим регламентом [34]. Расчет произведен с помощью методик [13, 21].

Для расчета геометрических параметров скруббера Вентури необходимо сначала найти гидравлическое сопротивление аппарата энергетическим методом.

Из исходных данных начинаем расчет с определения эффективности очистки газов ( $\mathcal{E}$ ) по формуле (3.1):

$$\mathcal{E} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}}, \quad (3.1)$$

где  $C_{\text{вх}}$  - концентрация пыли в исходном газе,  $\text{мг/м}^3$ ;

$C_{\text{вых}}$  - концентрация пыли на выходе из аппарата,  $\text{мг/м}^3$ .

Подставим исходные данные в формулу (3.1):

$$\mathcal{E} = \frac{1,2 - 0,035}{1,2} = 0,971$$

При высоких степенях очистки оценку эффективности работы аппарата удобнее выразить числом единиц переноса ( $N_q$ ) по формуле (3.2):

$$N_q = \ln \frac{1}{1 - \mathcal{E}}, \quad (3.2)$$

где  $\mathcal{E}$  - эффективности очистки газов от пыли.

Подставим исходные данные в формулу (3.2):

$$N_q = \ln\left(\frac{1}{1 - 0,971}\right) = 3,5$$

Далее находим коэффициент теплопереноса ( $K_T$ ) по формуле (3.3):

$$K_T^x = \frac{N_q}{B}, \quad (3.3)$$

где  $N_q$  - число единиц переноса.

Для рассматриваемого газа:

$$B = 6,5 \cdot 10^{-4};$$

$$x = 1,0529.$$

Подставим исходные данные в формулу (3.3):

$$K_T^{1,0529} = \frac{3,5}{6,5 \cdot 10^{-4}} = 5385$$

$$K_T = 3497 \text{ кДж/м}$$

Общее гидравлическое сопротивление аппарата ( $\Delta p$ ) рассчитывается по формуле (3.4):

$$\Delta p = K_T - P_{ж} \cdot m, \quad (3.4)$$

где  $K_T$  - коэффициент теплопереноса, кДж/м<sup>3</sup>;

$P_{ж}$  - напор жидкости, Па;

$m$  - удельный расход жидкости на орошение газа = 0,0012, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Подставим исходные данные в формулу (3.4):

$$\Delta p = 3497 - 310000 \cdot 0,0012 = 3125 \text{ Па}$$

Плотность газа на входе ( $\rho_{\text{вх}}$ ) в конфузور трубы Вентури при рабочих условиях рассчитывается по формуле (3.5):

$$\rho_{\text{вх}} = \rho_0 \frac{237 \cdot (101,3 - P_{\Gamma})}{(273 + T_1) \cdot 101,3}, \quad (3.5)$$

где  $\rho_0$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$T_1$  - температура воды, °С;

$P_{\Gamma}$  - напор газа, кПа.

Подставим исходные данные в формулу (3.5):

$$\rho_{\text{вх}} = 1,26 \frac{237 \cdot (101,3 - 2)}{(273 + 120) \cdot 101,3} = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Объемный секундный расход газа на входе ( $Q_{\text{ГВХ}}$ ) в трубу Вентури определяется по формуле (3.6):

$$Q_{\text{ГВХ}} = Q_{\Gamma} \frac{\rho_0}{\rho_{\text{вх}}}, \quad (3.6)$$

где  $Q_{\Gamma}$  - объем очищаемых газов, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho_0$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{вх}}$  - плотность газа на входе в конфузор, кг/м<sup>3</sup>.

Подставим исходные данные в формулу (3.6):

$$Q_{\text{ГВХ}} = \frac{25000 \cdot 1,26}{0,86 \cdot 3600} = 10,17 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход жидкости ( $M_{ж}$ ) на орошение газа за одну секунду вычисляется по формуле (3.7):

$$M_{ж} = Q_{гвх} \cdot m, \quad (3.7)$$

где  $Q_{гвх}$  - объемный секундный расход газа на входе в трубу,  $m^3/c$ ;

$m$  - удельный расход жидкости на орошение газа =  $0,0012, m^2/m^3$ .

Подставим исходные данные в формулу (3.7):

$$M_{ж} = 10,17 \cdot 0,0012 \cdot 10^3 = 12,2 \text{ кг/с}$$

Температура газов на выходе ( $T_2$ ) из диффузора трубы Вентури вычисляется по формуле (3.8):

$$T_2 = (0,133 - 0,041 \cdot m) \cdot T_1 + 35, \quad (3.8)$$

где  $T_1$  - температура воды,  $^{\circ}C$ .

Подставим исходные данные в формулу (3.8):

$$T_2 = (0,133 - 0,041 \cdot 0,0012 \cdot 10^3) \cdot 120 + 35 = 45 \text{ }^{\circ}C$$

Плотность газов на выходе ( $p_{вых}$ ) из диффузора трубы Вентури находится по формуле (3.9):

$$p_{вых} = p_0 \frac{237 \cdot (101,3 - P_r - \Delta p)}{(273 + T_2) \cdot 101,3}, \quad (3.9)$$

где  $P_r$  - напор газа, кПа;

$\Delta p$  - общее гидравлическое сопротивление, Па;

$T_2$  - температура газов на выходе из диффузора,  $^{\circ}C$ .

Подставим исходные данные в формулу (3.9):

$$p_{\text{ВЫХ}} = 1,26 \frac{237 \cdot (101,3 - 2 - 3,125)}{(273 + 45) \cdot 101,3} = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

Объемный секундный расход газа на выходе ( $Q_{\text{ГВЫХ}}$ ) из диффузора рассчитывается по формуле (3.10):

$$Q_{\text{ГВЫХ}} = Q_{\text{Г}} \frac{p_0}{p_{\text{ВЫХ}}}, \quad (3.10)$$

где  $Q_{\text{Г}}$  - объем очищаемых газов, м<sup>3</sup>/ч;

$p_0$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$p_{\text{ВЫХ}}$  - плотность газов на выходе из диффузора, кг/м<sup>3</sup>.

Подставим исходные данные в формулу (3.10):

$$Q_{\text{ГВЫХ}} = \frac{25000 \cdot 1,26}{0,89 \cdot 3600} = 9,83 \text{ м}^3/\text{с}$$

Массовый расход газа за одну секунду ( $M_{\text{Г}}$ ) рассчитывается по формуле (3.11):

$$M_{\text{Г}} = Q_{\text{ГВЫХ}} \cdot p_{\text{ВХ}}, \quad (3.11)$$

где  $Q_{\text{ГВЫХ}}$  - объемный секундный расход газа на выходе из диффузора, м<sup>3</sup>/с;

$p_{\text{ВХ}}$  - плотность газа на входе в конфузор, кг/м<sup>3</sup>.

Подставим исходные данные в формулу (3.11):

$$M_{\text{Г}} = 9,83 \cdot 0,86 = 8,46 \text{ кг/с}$$

Гидравлическое сопротивление каплеуловителя ( $\Delta p_k$ ) находится по формуле (3.12):

$$\Delta p_k = \xi_k \cdot \frac{\omega_k \cdot \rho_{\text{вых}}}{2}, \quad (3.12)$$

где  $\xi_k$  - коэффициент, принимаемый для прямоточных циклонов – каплеуловителей от 30 до 33;

$\rho_{\text{вых}}$  - плотность газов на выходе из диффузора, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega_k$  - скорость газа в каплеуловителе, для таких систем = 2,5 м/с.

Подставим исходные данные в формулу (3.12):

$$\Delta p_k = 32 \cdot \frac{2,5^2 \cdot 0,89}{2} = 89 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление ( $\Delta p_v$ ) трубы Вентури рассчитывается по формуле (3.13):

$$\Delta p_v = \Delta p - \Delta p_k, \quad (3.13)$$

где  $\Delta p$  - общее гидравлическое сопротивление, Па;

$\Delta p_k$  - гидравлическое сопротивление каплеуловителя, Па.

Подставим исходные данные в формулу (3.13):

$$\Delta p_v = 3125 - 89 = 3036 \text{ Па}$$

Коэффициент сопротивления ( $\xi_{\text{ж}}$ ), возникающего в трубе Вентури при подаче орошающей жидкости находится по формуле (3.14):

$$\xi_{\text{ж}} = 0,63 \cdot \xi_{\text{с}} \cdot \left( \frac{M_{\text{ж}}}{M_{\text{г}}} \cdot \frac{p_{\text{вых}}}{p_{\text{ж}}} \right)^{-0,3}, \quad (3.14)$$

где  $\xi_{\text{с}}$  - коэффициент сопротивления трубы круглого или прямоугольного сечения от 0,12 до 0,15;

$p_{\text{ж}}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$p_{\text{вых}}$  - плотность газов на выходе из диффузора, кг/м<sup>3</sup>;

$M_{\text{ж}}$  - расход жидкости на орошение газа за одну секунду, кг/с;

$M_{\text{г}}$  - массовый расход газа за одну секунду, кг/с.

Подставим исходные данные в формулу (3.14):

$$\xi_{\text{ж}} = 0,63 \cdot 0,13 \cdot \left( \frac{12,2}{8,46} \cdot \frac{0,89}{1000} \right)^{-0,3} = 0,6$$

Скорость газов ( $V$ ) в трубе Вентури, при которой достигается эффективная работа аппарата находится по формулу (3.15):

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{в}}}{\xi_{\text{с}} \cdot p_{\text{вых}} + \xi_{\text{ж}} \cdot p_{\text{ж}} \cdot m}}, \quad (3.15)$$

где  $\xi_{\text{ж}}$  - коэффициент сопротивления, возникающего в трубе Вентури при подаче орошающей жидкости;

$\xi_{\text{с}}$  - коэффициент сопротивления трубы круглого или прямоугольного сечения от 0,12 до 0,15;

$p_{\text{вых}}$  - плотность газов на выходе из диффузора, кг/м<sup>3</sup>;

$p_{\text{ж}}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta p_{\text{в}}$  - гидравлическое сопротивление, Па;

$m$  - удельный расход жидкости на орошение газа = 0,0012 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Подставим исходные данные в формулу (3.15):

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 3036}{0,13 \cdot 0,89 + 0,6 \cdot 1000 \cdot 0,0012}} = 85 \text{ м/с}$$

Диаметр горловины ( $D_r$ ) трубы Вентури рассчитывается по формуле (3.16):

$$D_r = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{\text{ГВЫХ}}}{V}}, \quad (3.16)$$

где  $Q_{\text{ГВЫХ}}$  - объемный секундный расход газа на выходе из диффузора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V$  - скорость газов в трубе Вентури, при которой достигается эффективная работа аппарата,  $\text{м/с}$ .

Подставим исходные данные в формулу (3.16):

$$D_r = 1,13 \sqrt{\frac{9,83}{85}} = 0,442 \text{ м}$$

Полученное значение диаметра горловины  $D_r$  округлим до ближайшего нормализованного значения  $D_r = 500$  мм. Из таблицы 15 определим тип скруббера Вентури - КПМ 5,0. По данному типу скруббера определим остальные размеры скруббера Вентури, отразим их в таблице 16.

Таблица 15 – Нормализованные размеры скруббера Вентури

Индекс	$D_r$ , мм
КПМ 2,5-00.00.000	250
КПМ 3,2-00.00.000	320
КПМ 4,0-00.00.000	400
КПМ 5,0-00.00.000	500
КПМ 6,3-00.00.000	630
КПМ 7,1-00.00.000	710
КПМ 8,0-00.00.000	800

Таблица 16 – Конструктивные значения скруббера Вентури

Наименование	Обозначение	Величина, мм
Диаметр горловины	$D_G$	500
Диаметр каплеуловителя	$D_K$	2000
Диаметр входного патрубка газа	$D_1$	900
Диаметр каплеуловителя (внешний)	$D_2$	2400
Диаметр конфузора	$D_3$	1480
Диаметр форсунки	$d_1$	100
Диаметр входного патрубка жидкости	$d_2$	50
Диаметр сопел орошения стенок каплеуловителя	$d_3$	100
Диаметр гидрозатвора	$d_4$	40
Высота всего скруббера	$H$	8624
Высота горловины скруббера	$H_G$	5140
Высота корпуса скруббера	$H_K$	7866
Длина от входного патрубка газа до форсунки	$h_1$	480
Длина от входного патрубка газа до входного патрубка воды	$h_2$	1240
Длина диффузора	$h_3$	2240
Длина от выходного патрубка до сопел орошения стенок каплеуловителя	$h_4$	1560
Ширина выходного патрубка	$A$	700
Длина выходного патрубка	$B$	1240
Длина всего аппарата	$M$	4628
Длина от входного патрубка жидкости до трубы-коагулятора	$K$	900
Длина от трубы-коагулятора до каплеуловителя	$L$	2220
Ширина каплеуловителя	$N$	1200

Рассчитанный скруббер Вентури полностью удовлетворяет технологическому процессу. Его схема представлена в Приложении А.

### 3.9 Тепловой расчет и материальный баланс скруббера Вентури

Необходимые параметры для скруббера и пыли взяты с соответствием с технологическим регламентом [34]. Расчет произведен с помощью методик [13, 21].

### 3.9.1 Тепловой расчет

1. Рассчитаем среднюю разность температур между газом и водой в скруббере по формуле (3.17):

$$\Delta T_{\text{cp}} = \frac{(T_1 - T_k) - (T_2 - T_n)}{2,31 \cdot \lg \frac{(T_1 - T_k)}{(T_2 - T_n)}}, \quad (3.17)$$

где  $T_1$  – температура газа на входе в скруббер;

$T_2$  – температура газа на выходе из скруббера;

$T_n = 20$  °С – начальная температура воды;

$T_k = 40$  °С – конечная температура воды принимается равной на 5 – 10 °С ниже температуры мокрого термометра.

Подставим исходные данные в формулу (3.17):

$$\Delta T_{\text{cp}} = \frac{(120 - 40) - (45 - 20)}{2,31 \cdot \lg \frac{(120 - 40)}{(45 - 20)}} = 47,1 \text{ °С}$$

2. Находим начальную и конечную энтальпии водяных паров, содержащихся в газах по формулам (3.18) и (3.19):

$$I_1 = 2480 + 1,96 \cdot T_1, \quad (3.18)$$

Подставим исходные данные в формулу (3.18):

$$I_1 = 2480 + 1,96 \cdot 120 = 2715,2 \text{ Дж/кг}$$

$$I_2 = 2480 + 1,96 \cdot T_2, \quad (3.19)$$

Подставим исходные данные в формулу (3.19):

$$I_2 = 2480 + 1,96 \cdot 45 = 2568,2 \text{ Дж/кг}$$

3. Определим количество тепла, отнимаемое от газов в скруббере по формуле (3.20):

$$Q = V_{oc} \cdot [c \cdot (T_1 - T_2) + y \cdot (I_1 - I_2)], \quad (3.20)$$

где  $y = 0,0207 \text{ кг/м}^3$  – содержание водяных паров в насыщенном влагой газе;

$c = 1,3 \text{ кДж/м}^3$  теплоемкость сухого газа;

$V_{oc}$  – объемный расход сухого газа при нормальных условиях,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Подставим исходные данные в формулу (3.20):

$$Q = 6,8 \cdot [1,3 \cdot (120 - 45) + 0,0207 \cdot (2715,2 - 2568,2)] = 683,7 \text{ Вт}$$

4. Объемный расход сухих газов при нормальных условиях найдем по формуле (3.21):

$$V_{oc} = \frac{\frac{V_o}{3600} \cdot 0,804}{(0,804 + y)}, \quad (3.21)$$

где  $0,804$  – удельный вес водяного пара.

Подставим исходные данные в формулу (3.21):

$$V_{oc} = \frac{\frac{25000}{3600} \cdot 0,804}{(0,804 + 0,0207)} = 6,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

5. Объемный коэффициент теплопередачи в скруббере по эмпирическим данным рассчитываем по формуле (3.22):

$$K_0 = \left( 116,5 + 525 \cdot \frac{M_{\text{ж}}}{M_{\text{г}}} \right) \cdot (1 + 0,001 \cdot T_{\text{ср}}), \quad (3.22)$$

где  $M_{\text{ж}}$  и  $M_{\text{г}}$  - массовые расходы жидкости и газа соответственно, кг/с.

Подставим исходные данные в формулу (3.22):

$$K_0 = \left( 116,5 + 525 \cdot \frac{20000}{22250} \right) \cdot (1 + 0,001 \cdot 47,1) = 616 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$$

### 3.9.2 Материальный баланс

Материальный баланс скруббера Вентури приведён ниже. Количество очищаемого газа – 25000 м<sup>3</sup>/ч; Температура газов на входе в скруббер  $t = 120$  °С; Начальная концентрация пыли 0,0012 г/м<sup>3</sup>;  $p_0 = 1,26$  кг/м<sup>3</sup>.

1. Рассчитаем массу газа на входе в скруббер по формуле (3.23):

$$M_z = V \cdot \rho_z \quad (3.23)$$

Подставим исходные данные в формулу (3.23):

$$M_z = 25000 \cdot 0,89 = 22250 \text{ кг/ч}$$

2. Масса воды на орошение рассчитывается по формуле (3.24):

$$M_g = V \cdot \rho_g \quad (3.24)$$

Подставим исходные данные в формулу (3.24):

$$M_g = 20 \cdot 1000 = 20000 \text{ кг/ч}$$

3. Определим массовый расход пыли по формуле (3.25):

$$G_n = V \cdot C, \quad (3.25)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющих веществ,  $\text{г/м}^3$ .

Подставим исходные данные в формулу (3.25):

$$G_n = 25000 \cdot 0,0012 = 30 \text{ кг/ч}$$

4. Находим массу веществ по формуле (3.26):

$$M_i = V \cdot C, \quad (3.26)$$

Подставим исходные данные в формулу (3.26):

$$M_{(SO_2)} = 25000 \cdot 0,00005 = 1,25 \text{ кг/ч}$$

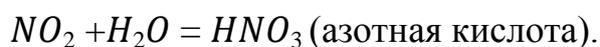
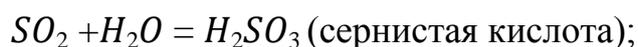
$$M_{(H_2S)} = 25000 \cdot 0,0000028 = 0,07 \text{ кг/ч}$$

$$M_{(NO_2)} = 25000 \cdot 0,00006 = 1,5 \text{ кг/ч}$$

$$M_{(NO)} = 25000 \cdot 0,0000028 = 0,1 \text{ кг/ч}$$

$$M_{(CO)} = 25000 \cdot 0,0001516 = 3,79 \text{ кг/ч}$$

5. В скруббере протекают две реакции:



6. Масса  $H_2SO_3$  в шламовых водах определяется по формуле (3.27):

$$M_{2i} = M \cdot \frac{82}{64}, \quad (3.27)$$

где 82 – молярная масса  $H_2SO_3$ , г/моль;

64 – молярная масса  $SO_2$ , г/моль.

Подставим исходные данные в формулу (3.27):

$$M_{(H_2SO_3)} = 1,25 \cdot \frac{82}{64} = 1,6 \text{ кг/ч}$$

7. Масса  $HNO_3$  в шламовых водах определяется по формуле (3.28):

$$M_{3i} = M \cdot \frac{63}{46}, \quad (3.28)$$

где 46 – молярная масса  $NO_2$ , г/моль;

63 – молярная масса  $HNO_3$ , г/моль.

Подставим исходные данные в формулу (3.28):

$$M_{(HNO_3)} = 1,5 \cdot \frac{63}{46} = 2,05 \text{ кг/ч}$$

8. Масса пыли в шламе газоочистки рассчитывается по формуле (3.29):

$$M_n = G_n \cdot 0,97, \quad (3.29)$$

где 0,97 – степень очистки, %.

Подставим исходные данные в формулу (3.29):

$$M_n = 30 \cdot 0,97 = 29,1 \text{ кг/ч}$$

9. Масса влажного газа на выходе из скруббера определяется по формуле (3.30):

$$M_{\text{вл.г}} = V \cdot \rho_{\text{г}} \quad (3.30)$$

Подставим исходные данные в формулу (3.30):

$$M_{\text{вл.г}} = 22250 \cdot 1,26 = 28035 \text{ кг/ч}$$

10. Масса воды в газе рассчитывается по формуле (3.31):

$$M_{(H_2O)} = M_{\text{вл.г}} \cdot W, \quad (3.31)$$

где  $W = 20,7 \%$ .

Подставим исходные данные в формулу (3.31):

$$M_{(H_2O)} = 28035 \cdot 0,207 = 5793,125 \text{ кг/ч}$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 17.

Таблица 17 – Материальный баланс скруббера Вентури

Приход				Расход			
№	Поток	Кг/ч	%	№	Поток	Кг/ч	%
1	Газы на очистку, в том числе:	22250	52,6	1	Сбрасываемые газы, в том числе:	28035	66,3
	1.1 Воздух	22213,34	52,58		1.1 Воздух	22237,82	52,63
	1.2 Пыль	30	0,07		1.2 Пыль	0,144	0,0003
	1.3 CO	3,79	0,009		1.3 CO	3,79	0,009
	1.4 SO <sub>2</sub>	1,25	0,003		1.4 NO	0,1	0,0002
	1.5 NO	0,1	0,0002		1.5 H <sub>2</sub> S	0,07	0,0002
	1.6 NO <sub>2</sub>	1,5	0,004		1.6 Вода	5793,125	13,71
	1.7 H <sub>2</sub> S	0,07	0,0002				

Продолжение таблицы 16

2	Вода	20000	47,3	2	Шлам газоочистки, в том числе:	14215	33,7
					2.1 Вода	14182,41	33,57
					2.2 Пыль	29,1	0,07
					2.3 HNO <sub>3</sub>	2,05	0,005
					2.4 H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1,6	0,004
	Всего	42250	100		Всего	42250	100

Полученные значения находятся в пределах допустимых погрешностей, что не превышает 1 %.

Все выбрасываемые в атмосферу газы после скруббера Вентури не превышают ПДК. Непосредственно очистка от монооксида азота не входит в основной комплекс мероприятий газоочистки, поскольку в свободной форме он не может существовать в воздухе, моментально окисляясь до диоксида NO<sub>2</sub>, захват и снижение выбросов которого проводится в скруббере Вентури.

Наиболее перспективным методом очистки запыленных и задымленных газоздушных сред от кислых компонентов, включая сероводород, сегодня является использование мокрых насадочных скрубберов. Задержание нежелательных примесей в данном типе оборудования происходит в межфазном кипящем псевдооживленном слое, образующемся на поверхности насадочных тел. Причем, даже использования в качестве орошающего реагента обычной технической воды, как правило, достаточно для фиксации таких показателей КПД комплексной дымоочистки.

В качестве способа снижения концентрации угарного газа на предприятии можно использовать окись хрома для превращения опасной окиси углерода (угарный газ) в менее вредную двуокись углерода (углекислый газ).

Шлам газоочистки содержит в себе 99,8 % воды, в следствии чего может использоваться в цикле повторно. Циркуляционная вода (шламовая)

представляет собой эмульсию, состоящую из 85 - 95% воды и 15% - взвешенные частицы. Взвесь имеет абразивы твёрдых частиц, а эмульсия – слабокислую среду. Кислая скрубберная вода изначально поступает в емкость для нейтрализации раствором щелочью, после чего с помощью насосов подается обратно в скруббер. Из-за непостоянного состава отхода бурения возможны залповые выбросы, которые могут превышать ПДК после очистки в скруббере. Для избежания этого предусмотрено реагентное хозяйство.

### 3.10 Расчет реагентного хозяйства

В качестве коагулянта в работе принят товарный очищенный сернокислый алюминий –  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ . Доза коагулянта для осветления и обесцвечивания воды принята 40 мг/л. Принят сухой способ хранения реагентов. Для хранения реагентов в сухом виде предусматривают закрытые помещения (склады) вблизи от растворных баков. При хранении сульфата алюминия навалом высота слоя принимается равной 2 метра, а при наличии соответствующей механизации допускается увеличение высоты слоя до 2,5 и 3,5 метра.

1) Площадь склада на 30-и суточный запас коагулянта рассчитывается по формуле (3.32):

$$F_{\text{скл}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{к}} \cdot T \cdot \alpha}{10000 \cdot \rho_{\text{с}} \cdot G_{\text{o}} \cdot h_{\text{к}}}, \quad (3.32)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – производительность, м<sup>3</sup>/сут;

$D_{\text{к}}$  – доза коагулянта, мг/л;

$T$  – продолжительность хранения реагента, сут;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий площади проходов на складе, 1,15;

$\rho_{\text{с}}$  – содержание активного безводного продукта в реагенте, % (содержание активной части в очищенном, сернокислом алюминии 40 %);

$G_0$  – объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом, (для сернистого алюминия составляет 1,1 - 1,3 т/м<sup>3</sup>);

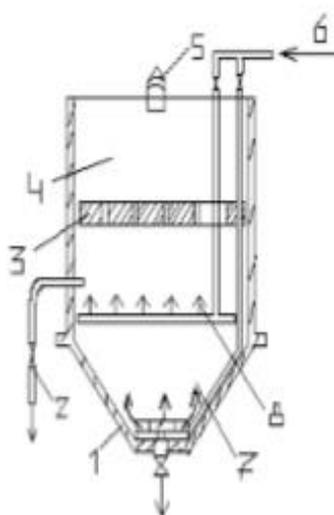
$h_k$  – допустимая высота слоя коагулянта на складе, 2 м.

Подставим данные в формулу (3.32):

$$F_{\text{скл}} = \frac{10000 \cdot 40 \cdot 30 \cdot 1,15}{10000 \cdot 40 \cdot 1,2 \cdot 2} = 14,4 \text{ м}^2$$

Размер склада для хранения коагулянта в плане принят 3×5 метров.

Для растворения сухого коагулянта используют растворные баки, в которых готовят раствор коагулянта с концентрацией 10 - 17 %. Согласно СП31.13330.2012 приготовление и дозирование реагентов следует предусматривать в виде растворов или суспензий. Количество дозаторов следует принимать в зависимости от числа точек ввода и производительности дозатора, но не менее двух (один резервный). Конструкция бака для растворения коагулянта с подводом сжатого воздуха приведена на рисунке 11.



- 1 – железобетонный резервуар; 2 – отвод раствора коагулянта;  
3 – колосниковая решётка; 4 – куски коагулянта; 5 – подача воды;  
6 – подача воздуха; 7, 8 – верхняя и нижняя воздухораспределительная система

Рисунок 11 – Бак для растворения коагулянта с подводом сжатого воздуха

2) Емкость растворных баков определена по формуле (3.33):

$$W_p = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot n \cdot D_{\text{к}}}{10000 \cdot V_p \cdot \gamma}, \quad (3.33)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  – производительность (часовой расход воды) 14,04 м<sup>3</sup>/ч;

$D_{\text{к}}$  – доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, г/м<sup>3</sup>;

$n$  – время, на которое заготавливается раствор коагулянта, 8 ч;

$V_p$  – концентрация раствора коагулянта в растворном баке (до 20 % для очищенного коагулянта);

$\gamma$  – объемный вес раствора коагулянта, 1 т/м<sup>3</sup>.

Подставим данные в формулу (3.33):

$$W_p = \frac{14,04 \cdot 8 \cdot 40}{10000 \cdot 20 \cdot 1} = 0,022 \text{ м}^3$$

Согласно СП31.13330.2012 концентрацию раствора коагулянта в растворных баках, считая по чистому и безводному продукту, а также условия по приготовлению их растворов следует принимать по рекомендации производителя.

Согласно СП31.13330.2012 количество растворных баков следует принимать с учетом объема разовой поставки, способов доставки и разгрузки коагулянта, его вида, а также времени его растворения и должно быть не менее двух.

Принято 2 растворных бака по 0,011 м<sup>3</sup> каждый.

Растворные баки приняты квадратными в плане, со стороной 0,2 м.

Высота бака – 0,3 м.

Высота слоя раствора – 20 см.

Растворные баки в нижней части с наклонными стенками под углом 15°.

Для опорожнения баков и сброса осадка предусматриваются трубопроводы диаметром не менее 150 мм.

Из растворных баков раствор коагулянта перекачивается в расходные баки, где разбавляются водой до требуемой концентрации.

3) Емкость расходного бака определена по формуле (3.34):

$$W = \frac{W_p \cdot B_p}{B}, \quad (3.34)$$

где  $W_p$  – емкость растворного бака, м<sup>3</sup>;

$B_p$  – концентрация раствора коагулянта в растворном баке, 20 %;

$B$  – концентрация раствора коагулянта в расходном баке, 10 %.

Подставим данные в формулу (3.34):

$$W = \frac{0,022 \cdot 20}{10} = 0,044 \text{ м}^3$$

Принято 2 бака по 0,022 м<sup>3</sup> каждый.

Согласно СП31.13330.2012 забор раствора коагулянта из растворных и расходных баков следует предусматривать с верхнего уровня. Внутренняя поверхность баков должна быть защищена кислотостойкими материалами. При применении в качестве коагулянта сухого хлорного железа в верхней части растворного бака следует предусматривать колосниковую решетку. Баки должны размещаться в изолированном помещении (боксе) с вытяжной вентиляцией. Для транспортирования раствора коагулянта следует применять кислотостойкие материалы и оборудование. Конструкции реагентопроводов должны обеспечивать возможность их быстрой прочистки и промывки.

Для растворения коагулянта и перемешивания его в баках предусматривается подача сжатого воздуха с интенсивностью: 4 л/(с·м<sup>2</sup>) –

для растворения;  $2 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  – для перемешивания при разбавлении до требуемой концентрации в расходных баках.

4) Расход воздуха для растворных баков рассчитывается по формуле (3.35):

$$q_{1\text{воз}} = q_1 \cdot F_1 \cdot n_1, \quad (3.35)$$

где  $q_1$  – интенсивность подачи сжатого воздуха,  $4 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ;

$F_1$  – площадь одного бака,  $(0,2 \times 0,2) = 0,04 \text{ м}^2$ ;

$n_1$  – число баков, 2 шт.

Подставим данные в формулу (3.35):

$$q_{1\text{возд}} = 4 \cdot 0,04 \cdot 2 = 0,32 \text{ л/с}$$

5) Расход воздуха для расходных баков рассчитывается по формуле (3.36):

$$q_{2\text{воз}} = q_2 \cdot F_2 \cdot n_2, \quad (3.36)$$

где  $q_2$  – интенсивность подачи сжатого воздуха,  $2 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ;

$F_2$  – площадь одного бака,  $(0,25 \times 0,25) = 0,0625 \text{ м}^2$ ;

$n_2$  – число баков, 2 шт.

Подставим данные в формулу (3.36):

$$q_{2\text{возд}} = 2 \cdot 0,0625 \cdot 2 = 0,25 \text{ л/с}$$

6) Общий расход воздуха вычисляется по формуле (3.37)

$$q_{\text{воз}} = q_{1\text{воз}} + q_{2\text{воз}} \quad (3.37)$$

Таким образом, общий расход воздуха по формуле (3.37) составит:

$$q_{\text{возд}} = 0,32 + 0,25 = 0,57 \text{ л/с}$$

По полученному результату подобрана воздуходувка ВР-2.2 Стриборг ССМ, со следующими параметрами: производительность  $W = 0,77 \text{ м}^3/\text{мин}$ , габариты  $(85 \times 70 \times 105)$ , мощность электродвигателя 4 кВт, давление нагнетания (абсолютное номинальное) 40 кПа).

Приняты 1 рабочая и 1 резервная воздуходувки.

Дозирование раствора коагулянта рекомендуется производить насосами-дозаторами. Количество дозаторов принимается по количеству секций смесителей плюс резервные.

7) Расход реагента определяется по формуле (3.38):

$$q_{\text{доз}} = \frac{q \cdot D_{\text{к}}}{10000 \cdot C \cdot \gamma}, \quad (3.38)$$

где  $q$  – производительность,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$D_{\text{к}}$  - доза коагулянта, мг/л;

$C$  - крепость дозируемого реагента, %;

$\gamma$  - удельный вес раствора коагулянта, равный  $1 \text{ т}/\text{м}^3$ .

Подставим данные в формулу (3.38):

$$q_{\text{доз}} = \frac{5000 \cdot 40}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Принимаем к установке 1 рабочий насос-дозатор и 1 резервный типа НД630/10.

Коагулянт подается в скруббер через сопло Вентури и способствует увеличению эффективности очистки.

### 3.11 Оформление результатов работы

В ходе выполнения работы были:

1) Проанализирована технология переработки отходов бурения в строительный материал термическим методом, как наиболее перспективный.

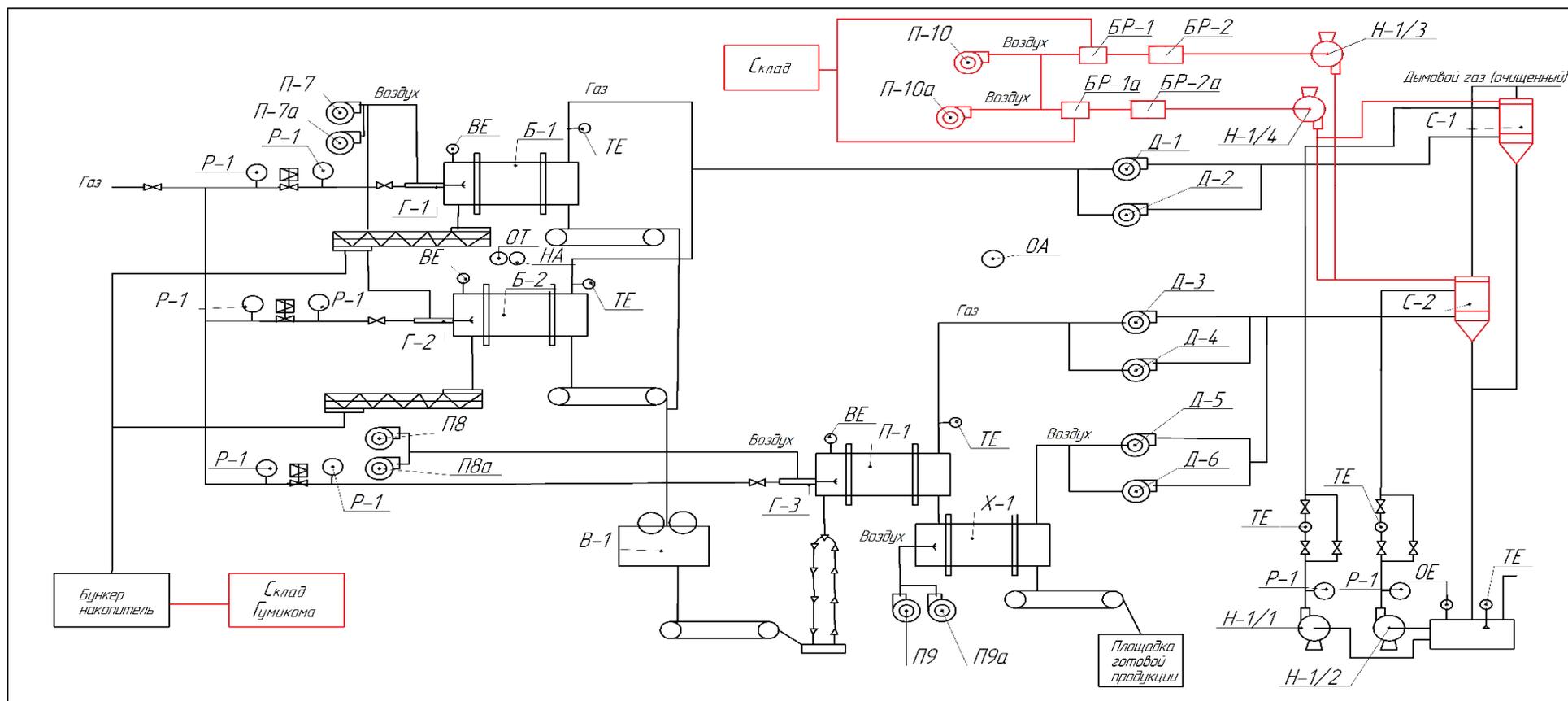
2) Рассмотрены характеристики исходного сырья, материалов, энергоресурсов, проанализированы отходы метода и рассмотрены варианты использования строительных материалов, образованных на основе отходов бурения.

3) Проанализирован препарат «ГУМИКОМ», для увеличения количества сырья, подлежащего переработке.

4) Предложен в качестве замены форсуночного скруббера скруббер Вентури. При этом эффективности очистки увеличилась на 30 %. Был проведен тепловой расчет (объемный коэффициент теплопередачи в скруббере равен  $616 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ) и рассчитан материальный баланс.

5) Для сохранения необходимой эффективности очистки при залповых выбросах было рассчитано реагентное хозяйство, состоящее из склада коагулянта, двух растворных баков, двух расходных баков, двух воздуходувок и двух насосов для подачи, включая резервные.

6) Изменения в технологической схеме представлены на рисунке 12.



Г 1,2,3 – Горелка газовая; Б 1,2 – Барабан сушильный; П-1 – Печь вращающаяся; В-1 – Аппарат массообразователь МПК-200;  
 Х-1 – Холодильник барабанный; Д 1-6 – Дымосос; С 1,2 – Аппарат мокрой очистки отходящих газов;  
 Н 1/1,2,3,4 – Насос центробежный; П 7-10, П 7а-10а – Приточные установки; ТЕ – Термоэлектрические преобразователи;  
 Р1 – Манометры; ОЕ – рН-метры; ОА – Сигнализаторы; БР-1,1а – бак растворный; БР-2,2а – бак расходный

Рисунок 12 – Измененная технологическая схема переработки буровых шлам

## Заключение

Актуальной проблемой в наше время остается переработка нефтесодержащих отходов, в том числе переработка отходов бурения. Она требует анализа текущих методов и технологий, а также разработку новых, способных минимизировать отходы.

В ходе выполнения бакалаврской работы были выполнены следующие задачи:

4) Проанализирована существующая технология бурения нефтяных скважин.

5) Проанализированы объемы накопления бурового отхода. В стране ежегодно образуется от 4 до 7 млн. тонн нефтешламов.

6) Проанализированы доступные технологии утилизации и переработки отходов бурения.

7) Проведен анализ качественного состава отхода бурения в лабораторных условиях, в котором так же была выяснена способность препарата «ГУМИКОМ» снижать токсичность, что является важным при переработке отходов бурения в строительный материал. Смертность дафний за 48 часов при добавлении гуматов составила 0 %.

8) Предложены три варианта оптимизации технологии переработки отходов бурения в строительный материал:

- Замена форсуночного скруббера на скруббер Вентури, для увеличения эффективности очистки. В результате эффективность очистки увеличилась на 30 %. Были рассмотрены преимущества замены аппарата, проведен патентный поиск доступных технологий, рассчитан аппарат, проведен тепловой расчет (объемный коэффициент теплопередачи в скруббере равен  $616 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ) и рассчитан материальный баланс скруббера Вентури.

- Для поддержания необходимой эффективности очистки при залповых выбросах было рассчитано реагентное хозяйство, состоящее из склада

коагулянта, двух растворных баков, двух расходных баков, двух воздуходувок и двух насосов для подачи, включая резервные.

- Увеличение количества сырья, подлежащего переработке, при помощи использования материала «ГУМИКОМ». Использование данного материала позволяет снизить класс опасности отхода с 3 на 4 или 5 в зависимости от состава отхода бурения, что было доказано в ходе проведения лабораторного анализа отхода бурения. Рассмотрен состав препарата и его принцип действия.

Результаты бакалаврской работы были представлены на студенческой научно-практической междисциплинарной конференции «Молодёжь. Наука. Общество».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Anne Morillon (Total Fina Elf), Jean-François Vidalie (Total Fina Elf), Udi Syahnudi Hamzah (MPS-Pertamina), S. Suripno (Total Fina Elf Indonesie), Eddy K. Hadinoto (Total Fina Elf Indonesie), 2002. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.2118/73931-MS> (дата обращения: 30.04.2020).
2. Badrul Islam. Petroleum sludge treatment and disposal: A review / I. Badrul // Int. J. Chem. Sci. 2015. V. 13(4). pp. 3-14.
3. Canadian journal of chemistry Monthly ISSN: 0008-4042E-ISSN: 1480-3291 Canadian science publishing, NRC research press, 65 Auriga DR, Suite 203, Ottawa, Canada, ON, K2E 7W6, pp. 14.
4. Olufemi Adebayo Johnson, Augustine Chioma Affam. Petroleum sludge treatment and disposal: A review / O. A Johnson, A. C. Affam // Environ. Eng. Res. 2018. V. 24 (2). pp. 191-201.
5. Ta-Lin Chen (Chinese Petroleum Corp.), Sunlong Lin (Chinese Petroleum Corp.), Zsay-shing Lin (National Cheng Kung U.) An Innovative Utilization of Drilling Wastes as Building Materials, 2007. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.2118/106913-MS> (дата обращения: 30.04.2020).
6. Абиев Р. Ш., Альмяшева О. В., Гусаров В. В., Изотова С. Г. Патент РФ № 2 261 139 С1, опубл. 09.27.2005. [Электронный ресурс]: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2261139C1\\_20050927](https://yandex.ru/patents/doc/RU2261139C1_20050927) (дата обращения: 29.02.2020).
7. Андреев А. Ф., Дунаев В. Ф., Зубарева В. Д. Основы проектного анализа в нефтяной и газовой промышленности. М.: Олита, 2014. [Электронный ресурс]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001797693> (дата обращения: 29.02.2020).
8. Балдачевский А. Ю., Живая Г. И. Охрана окружающей среды при обращении с отходами при строительстве скважин на Еты-Пуровском месторождении. «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»: Электронный сборник статей по материалам XVII студенческой

международной научно-практической конференции. — Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014 — № 2. [Электронный ресурс]: [http://sibac.info/archive/technic/2\(17\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/2(17).pdf) (дата обращения: 30.02.2020)

9. Беляков А. Ю. Оценка токсичности буровых шламов и экологофункциональные особенности выделенных из них микроорганизмов, Саратов, 2014. [Электронный ресурс]: [https://www.sgu.ru/sites/default/files/dissertation/2014/09/04/belyakov\\_a.\\_yu.\\_diss.pdf](https://www.sgu.ru/sites/default/files/dissertation/2014/09/04/belyakov_a._yu._diss.pdf) (дата обращения: 30.02.2020)

10. Буравчук Н.И. (Южный ФУ), Ельцов И.Н. (ИНГГ СО РАН) и др. Утилизация отходов – проблемы, пути решения. Москва, 2015 – 27 с.

11. Вадецкий Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин. М.: Academia, 2015– 175 с.

12. Васильев А. В., Тупицына О. В. Экологическое воздействие буровых шламов и подходы к их переработке. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 16, № 5, 2014. [Электронный ресурс]: [http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014\\_5\\_308\\_313.pdf](http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014_5_308_313.pdf) (дата обращения: 30.02.2020)

13. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления. Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб: Издательство «Лань», 2016 – 304 с.

14. Гавриленков А. М., Рудыка Е. А., Батурина Е. В. Патент РФ № 2 685 345 С1, опубл. 17.04.2019 – 8 с.

15. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления СанПин 2.1.7.1322-03. М.: СПб: Деан, 2019 – 316 с.

16. Гричев Ю.А. Очистка газов. Часть I: Конспект лекций - Днепропетровск: НМетАУ, 2015 - 51 с.

17. Дубинецкий В. В. Буровой шлам как источник сырья для производства строительной керамики пластического формования, Оренбург. Инженерный вестник Дона, №4 2015 – 12 с.

18. Епихин А. В. Введение в инженерную деятельность «БУРЕНИЕ СКВАЖИН», Томск, 2016 – 93 с.

19. Жабриков С. Ю. ИММ-технология — не только экологически эффективный, но и экономически привлекательный метод утилизации отходов бурения // Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XVI-XVII междунар. науч.-практ. конф. № 9-10(16). – Новосибирск: СибАК, 2014. [Электронный ресурс]: <https://sibac.info/conf/science/xvi/39404> (дата обращения: 30.02.2020)

20. Записка по результатам исследований в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ на 2014 год, Москва, 2015 – 15 с.

21. Исянов Л.М., Васильева Е.А., Антонов И.В., Крашенинникова И.А. Основы проектирования пылеулавливающих установок для очистки вентиляционных выбросов. Учебное пособие - 2-е изд., перераб. и дополн. ВШТЭ СПбГУПТД - СПб., 2016 - 50 с.

22. Коваленко А. П. Технология переработки буровых шламов по-русски. Конференция «Ломоносов 2015» – 2 с.

23. Коршунова Т. Ю. Нефтешламы: состояние проблемы в Российской Федерации и методы снижения их отрицательного воздействия на окружающую среду. Экобиотехнология. – 2019, Т. 2. – № 1. – 75-85 с.

24. Назаров А. В., Плотникова Е. Г., Егорова Д. О., Токарев И. П., Куми В. В., Макаренко А. А. Патент РФ № 2 563 660 С1, опубл. 20.09.2015 – 11 с.

25. Нечаев А. С. Разработка технологии утилизации отходов бурения на основе углесодержащего сорбента-деструктора, 2015 – 17 с.

26. Норман Дж. Хайн Геология, разведка, бурение и добыча нефти. Олимп-Бизнес, 2015 – 752 с.

27. Переработка отходов бурения в автономном режиме с применением установки фильтр-пресс. Нижневартовск, 2015 г.

28. Петровский Э.А., Соловьёв Е.А., Коленчуков О.А. Современные технологии переработки нефтешламов. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018 № 4 – 9 с.

29. Пыстина Н. Б., Баранов А. В., Будников Б. О., Куприна Е. Э., Народицкис А., Зинкевич И. Н., Бабийчук А. И. Перспективы развития технологий утилизации буровых отходов в нефтегазодобывающем комплексе, 2017 – 7 с.

30. Рахимов Б. Б., Цуканов М. Н. Источники образования нефтесодержащих отходов // Молодой ученый, 2014 — №21 – 222-224 с. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/archive/80/14243/> (дата обращения: 30.04.2020).

31. Рядинский В. Ю., Денeko Ю. В. Патент РФ № 2303011, С04В16/08, 18/04, 28/04, E01С3/04, опубл. 20.08.2013 – 33 с. [Электронный ресурс]: <https://findpatent.ru/patent/249/2490224.html> (дата обращения: 30.04.2020).

32. Соколов Л. И. Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов. Монография, 2-е изд. испр. и доп., - М: Инфра-Инженерия, 2017 – 160 с.

33. Соромотин А. В. Патент РФ №2503635, С04В11/26, 28/04, В09В3/00, опубл.10.01.2014 г – 11 с. [Электронный ресурс]: <http://www.freepatent.ru/patents/2503635> (дата обращения: 30.04.2020).

34. Технологический регламент по производству строительного материала путем переработки отходов бурения, Самара-2015 – 45 с.

35. Тимофеев Э. А., Курамшина Н. Г. Переработка буровых шламов в продукцию различного назначения, Уфа-2016 – 4 с.

36. Тимошин, А. Ф., Николаев, А. П., Бердников, А. Г. Способ утилизации нефтешламов на основе анализа промышленной безопасности технологических процессов. Москва: Международный научно-исследовательский журнал, – 2015, № 11 (42) Часть 2. - 103-107 с.

37. Хуббатов А. А., Гайдаров А. М., Норов А. Д., Гайдаров М. М. – Р. К вопросу об устойчивости глинистых пород. «Территория нефтегаз» – № 5.

2014 – 22 - 33 с. [Электронный ресурс]: <http://neftegas.info/upload/uf/9df/tng62014.pdf> (дата обращения: 30.04.2020).

38. Хуснутдинов, И. Ш. Методы утилизации нефтяных шламов. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2015, № 10. – 3-20 с.

39. Цветнов А. В., Митин А. К. Эффективность скруббера Вентури с регулируемой горловиной для аспирации цехов по производству минеральных удобрений. Экология и промышленность России, 2017. Т. 21. № 8 – 4 с.

40. Циппер А. А., Горелов В. В., Басов В. Н., Иларионов С. А., Басов А. В. Патент РФ № RU2014141312 С1, опубл. 27.02.2016 г – 86 - 94 с.

41. Чертес К. Л., Тупицына О. В., Мартыненко Е. Г., Пыстин В. Н., Гиладев Г. Г., Быков Д. Е. Требования, предъявляемые к отходам бурения и грунтовым строительным материалам на их основе. Самарский государственный технический университет СамГТУ, 2017 – 8 с.

42. Чупин А. В. Патент РФ № 2593289 С1, опубл. 10.08.2016 г – 9 с.

43. Шпербер, Д. Р. Разработка ресурсосберегающих технологий переработки нефтешлама: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Краснодар. : Кубанский государственный технологический университет, 2015 – 145 с.

44. Янин, И. М. Проблема обезвреживания нефтешламов. Булатовские чтения. – 2017, Т.4. – 252-254 с.

45. Яранцева С. М. Изучение технологий утилизации бурового шлама, 2014 – 2 с. [Электронный ресурс]: [http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/31901/1/conference\\_tpu-2016C11\\_V2\\_p283-284.pdf](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/31901/1/conference_tpu-2016C11_V2_p283-284.pdf) (дата обращения: 30.04.2020).



Формат Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						Изм.
Перв. примен.						
				<i>Документация</i>		
	A4		<i>20.ВКР.01.18.03.02.00В0</i>	<i>Скруббер Вентури</i>		
				<i>Вид общий</i>		
				<i>Детали</i>		
Справ. №						
		1		<i>Труба Вентури</i>	1	
		2		<i>Патрубок входной</i>	1	
		3		<i>Форсунка</i>	1	
		4		<i>Водная камера</i>	1	
		5		<i>Каплеуловитель</i>	1	
Подп. и дата		6		<i>Воздухоотводящая улитка</i>	1	
		7		<i>Гидрозатвор</i>	1	
Инв. № подл.	<i>20.ВКР.01.18.03.02.00В0</i>					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Инв. № подл.	Разраб.	<i>Седлецкая В.В.</i>				
	Проб.	<i>Шевченко Ю.Н.</i>				
Инв. № подл.	Н.контр.					
	Утв.					
<i>Скруббер Вентури</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	
<i>Вид общий</i>					<i>Листов</i>	
<i>ТГУ, ИХиЗ</i>					<i>1</i>	
<i>г.р. ЭРТб-1601а</i>						
<i>Копировал</i>				<i>Формат А4</i>		