

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)

18.03.02 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 технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ

Студент

Е.О. Антипова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Мельникова

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Тема работы: Оптимизация технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ.

Деятельность любого нефтеперерабатывающего и нефтедобывающего предприятия неизбежно связана с техногенным воздействием на окружающую среду. Проблема утилизации нефтесодержащих отходов, на сегодняшний день является одной из актуальных.

Целью бакалаврской работы является оптимизация технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ.

В соответствии с намеченной целью были поставлены следующие задачи:

- провести анализ воздействия нефтешлама на окружающую среду;
- предложить оптимизацию технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ;
- провести оценку экологической эффективности оптимизации технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ.

В литературном обзоре рассмотрены патенты и статьи по способам и технологиям переработки и утилизации нефтесодержащих отходов.

В процессе поиска технических решений, был предложен вариант оптимизации переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000 ЖДТ.

Выпускная квалифицированная работа состоит из 63 страниц, 16 таблиц, 16 рисунков, использовано 32 источника.

## **Annotation**

The title of the graduation work is «Optimization of the technological process of processing oil-containing waste at the standard TDU-2000 ZHDT plant».

The graduation project consists of an explanatory note, an introduction, including 16 figures, 16 tables, and the list of 32 references including 2 foreign sources.

We learned what oil sludge is and what it consists of, studied various types of oil sludge, and analyzed the methods of processing oil-containing waste and its negative impact on the environment. The existing waste disposal technology was analyzed and its disadvantages were listed.

In the experimental part, the component composition of the oil sludge was investigated. And also the emissions of pollutants into the atmosphere from the whit are calculated. A variant of optimizing the waste disposal technology was proposed.

It can be concluded that the problem of oil waste disposal is important and reducing the negative impact on the environment is the main task.

## Содержание

Введение.....	5
1 Литературный обзор .....	7
1.1 Характеристика нефтешламов .....	7
1.2 Воздействие нефтешламов на окружающую среду .....	12
1.3 Размещение нефтешламовых накопителей .....	13
1.4 Методы переработки нефтешламов .....	15
1.5 Оборудования, применяемые для термической утилизации нефтешламов .....	20
2 Анализ существующей технологии термической утилизации нефтешламов .....	23
2.1 Технологический процесс переработки нефтесодержащих отходов .	23
2.2 Расчет материального баланса камеры сжигания	33
3 Оптимизация технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000 ЖДТ .....	38
4 Экологическое обоснование предлагаемого решения по оптимизации установки .....	41
4.1 Расчет скруббера .....	41
4.2 Оценка негативного воздействия на окружающую среду .....	46
Заключение .....	50
Список используемой литературы и список используемых источников.....	51
Приложение А Расчет рассеивания выбросов .....	56
Приложение Б Расчет рассеивания выбросов после установки скруббера	59
Приложение В Чертеж скруббера Вентури .....	62

## Введение

Деятельность любого нефтеперерабатывающего и нефтедобывающего предприятия неизбежно связана с техногенным воздействием на окружающую среду. Проблема утилизации нефтесодержащих отходов, нефтезагрязненных грунтов на сегодняшний день является актуальной и принимает более масштабный характер в связи с ужесточением законодательства в области экологии – увеличением платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Нефтяная промышленность по уровню воздействия на окружающую среду занимает одно из первых мест среди ведущих отраслей ввиду образования большого количества гетерогенных отходов. Одним из них является нефтяной шлам (нефтешлам) – коллоидная система из высокомолекулярных соединений нефти, минеральных частиц различного состава и пластовой воды. Это самый крупнотоннажный отход нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, отличающийся сложностью химического состава и находящийся в процессе постоянной трансформации.

По статистике на нефтегазовых месторождениях на каждую тысячу тонн сырой нефти образуется от одной до пяти тонн нефтешлама. Более того, по разным оценкам доля нефтешлама в России может достигать 5-8 % от объема годовой добычи. Учитывая то, что использование и утилизация нефтешламов составляет не более 10 %, данная проблема приобретает масштабный характер.

Необходимость утилизации нефтешламов обусловлена рядом причин:

- нефтяной шлам приводит к загрязнению литосферы, воздушного и водного бассейнов и представляют угрозу здоровью населения;
- шламонакопители пожароопасны;
- амбары занимают значительные площади, в виду чего нефтяные

отходы часто сжигают вместе их образования без применения специального оборудования;

- отходы содержат ценное углеводородное сырье.

Целью бакалаврской работы является оптимизация технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ.

В соответствии с намеченной целью были поставлены следующие задачи:

- провести анализ воздействия нефтешлама на окружающую среду;
- предложить оптимизацию технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ;
- провести оценку экологической эффективности оптимизации технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ.

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Характеристика нефтешламов

«Нефтешламы имеют разнообразный состав, который может отличаться в зависимости от условий переработки сырья, технологических схем и оборудования. В большинстве случаев нефтешламы – это сложные физико-химические смеси, в составе которых присутствуют нефтепродукты, механические примеси, состоящие в свою очередь из глины, окиси металлов, песка и воды, соотношение которых колеблется в широких пределах»[17].

В зависимости от способа образования нефтешламы различают грунтовые, резервуарные, придонные, более подробно изображено на рисунке 1:

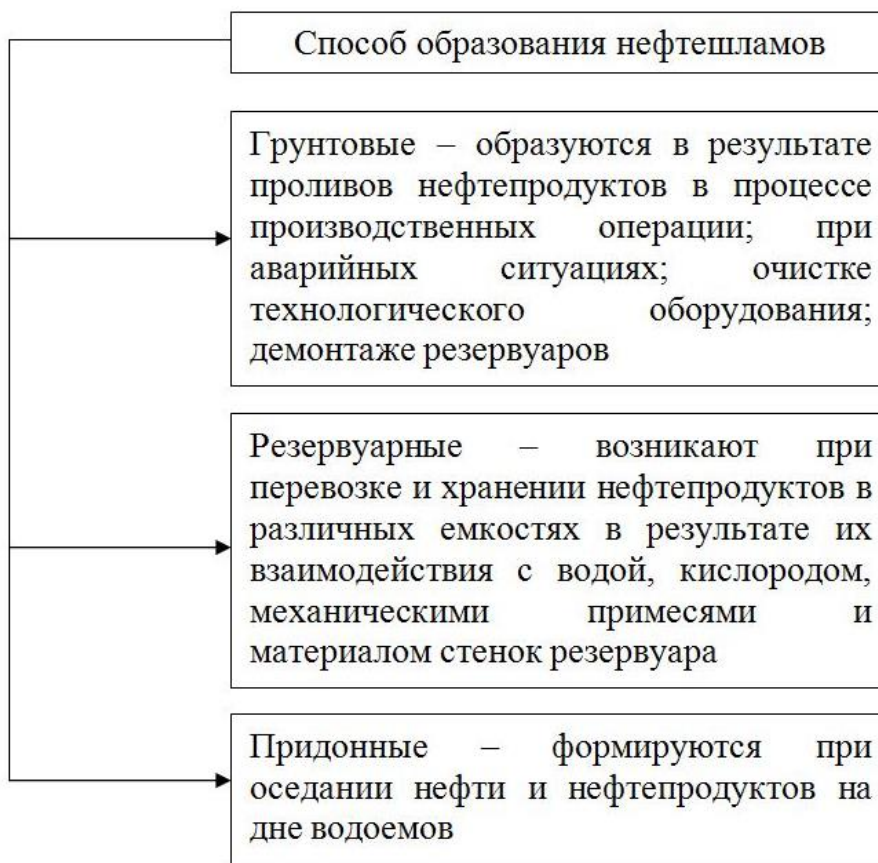


Рисунок 1 – Классификация нефтешламов по способу образования [3]

«Согласно ФККО (Федеральному классификационному каталогу отходов) нефтесодержащие отходы в основном относятся к токсичным и умеренно-опасным производственным отходам 2, 3 и 4 классов опасности» [25].

Отходы нефтешламов по агрегатному состоянию разделяют на жидкие и твердые (рисунок 2).

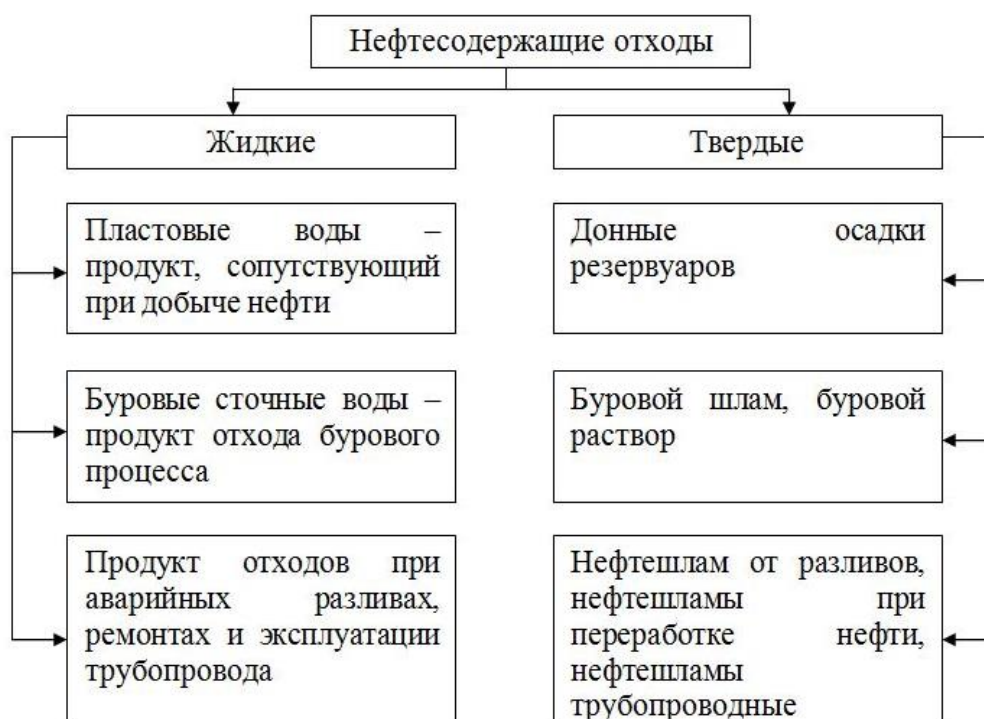


Рисунок 2 – Агрегатное состояние нефтепромышленных отходов [4]

Качественный состав и объемы образования различных нефтесодержащих отходов в РФ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные источники нефтесодержащих отходов

Наименование нефтесодержащих отходов	Состав нефтесодержащего отхода	Объем образования, млн. т/год
--------------------------------------	--------------------------------	-------------------------------



1	2	3
Нефтешламы из отстойников	Нефтепродукты – 20-30	Всего в России – 3 млн. т/год,

Продолжение таблицы 1

1	2	3
нефтеперерабатывающих заводов, ж/д предприятий, нефтебаз и ремонтных заводов	%, вода – 20-30 %, механические примеси – 40-50 %	«из них: на нефтеперерабатывающие заводы – 1,4 млн. т/год, на нефтебазы – 0,3 млн. т/год, на федеральные железные дороги – 1,3 млн. т/год»[1].
Загрязненный нефтепродуктами грунт территорий ж/д предприятий, нефтебаз и ремонтных заводов	«Нефтепродукты – 0,1-5 г/кг, влажность – 40-50 % от общей массы»[23].	«Железные дороги – 330 млн. т/год, нефтебазы – 80 млн. т/год, нефтеперерабатывающие заводы – 100 млн. т/год»[5].
Угольный шлам при добыче угля	Углерод – 10-30%, зольность – 70-90%	5,0 млн. т/год
Отработанные масла и смазки, бумажные фильтры машин и механизмов	«Нефтепродукты – 90 %, влага – 8 %, металлические и минеральные включения – 2 %»[20].	«Железные дороги – 0,06 млн. т/год; по России в целом – 0,4 млн. т/год»[7].

Существует пять основных категорий нефтешлама исходя из их происхождения, указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Категории нефтесодержащих отходов исходя из их происхождения

Категория нефтесодержащих отходов	Происхождение отходов и их разделение по группам
I – отходы безреагентной обработки нефтесодержащих сточных вод	Нефтесодержащие осадки из очистных сооружений
	Жидкие нефтеотходы из очистных сооружений
	Шламы из прудов шламонакопителей НПЗ
	Верхний слой из прудов-шламонакопителей НПЗ
II – отходы реагентной обработки нефтесодержащих сточных вод	«Жидкие нефтеотходы из кустовых очистных сооружений и очистных сооружений крупных промпредприятий»[16].
III – отходы ЛВЖ и продуктов на их основе	«Растворители и промывные жидкости (бензин-калоша, толуол и др.)»[18].
	Отходы лаков, нитрокрасок, эмалей и пр
IV – отходы трудноразделяемых	«Эмульсии, концентраты станочных эмульсий типа

нефтесодержащих и др. органических жидкостей и паст	СП-3, ИПХ-45Э, ЭТ-1 и т. Д»[12].
	Продукты обработки СПАВ

Продолжение таблицы 2

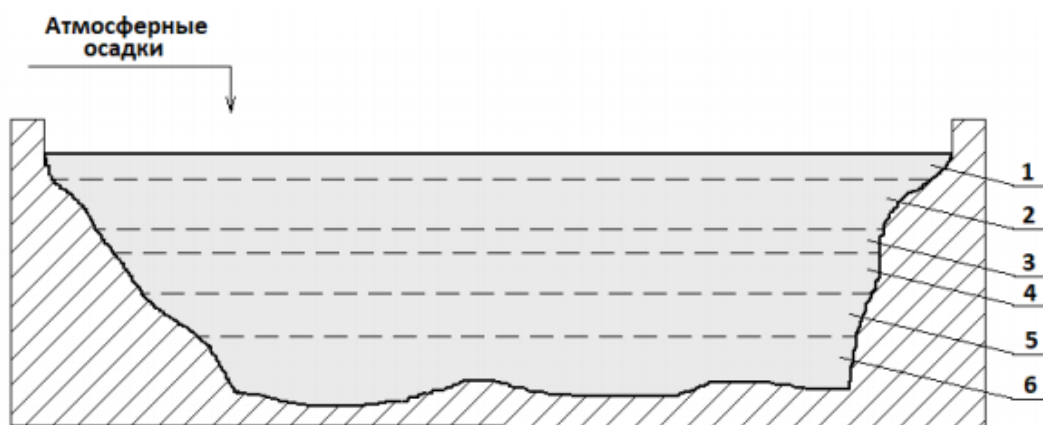
Категория нефтесодержащих отходов	Происхождение отходов и их разделение по группам
V – прочие жидкие и полужидкие нефтесодержащие и т.п. отходы	«Не принимаемые в регенерацию масла, продукты зачистки нефтяных и мазутных резервуаров Жировые отходы, кубовые остатки и др»[10].
	Кислые гудроны и прочее

Классификация нефтешламов по составу в зависимости источника образования представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация нефтешламов в зависимости от источника образования

Состав, %	Замазученный грунт	Донный шлам	Водонефтяная эмульсия	Ловушечная нефть	Амбарный верхний слой
Механические Примеси	40-80	10-40	1-15	0,5	0,5-1,5
Нефтепродукты	10	15-35	40-80	60-80	90-95
Асфальтены	-	7	1-10	1-15	9,5
Смолы	-	20	10-15	15-45	-
Парафины	-	3	1-5	1-10	3
Вода	До 20	До 60	До 70	До 15	1,5-5

«При предприятиях нефтяной отрасли специально отведены объекты и места, загрязненные нефтешламом, такие как нефтешламовые амбары и пруды отстойники. При длительном хранении резервуарные нефтешламы разделяются на несколько слоев (рисунок 3) с характерными для каждого из них свойствами» [19].



1 – нефтемазутный слой, 2 – водный слой, 3 – свежешламовый черный слой, 4 – эмульсионно-шламовый слой, 5 – суспензионно-шламовый слой, 6 – битумно-шламовый слой

Рисунок 3 – Слои пруда отстойника [26]

«Нефтемазутный слой (ловушечная нефть) состоит практически из мазута, и его толщина составляет от 3-5 до 20-30 см. Такой слой отправляется в технологический цикл НПЗ на переработку, поскольку практически на 97-99 % является чистым нефтепродуктом. Водный слой, состоит из воды толщиной порядка 50-150 см, в объёме которого происходит оседание суспензионно-углеводородных агрегатов и всплытие эмульсионных и капельных углеводородов» [28].

«Свежешламовый чёрный слой, толщиной порядка 20-50 см, преимущественно состоящий из мазутных углеводородов, увлечённых к оседанию твёрдыми механическими примесями» [32].

«Эмульсионно-шламовый слой, толщиной порядка 30-100 см, в котором углеводороды находятся в сложном суспензионно-эмульсионном агрегатном состоянии, причём механические примеси преимущественно микронного размера» [32].

«Суспензионно-шламовый слой, толщиной порядка 80-150 см, характеризующийся содержанием мехпримесей размером более десятка

микрон; углеводороды находятся в основном в адсорбированном состоянии.

Битуминозно-шламовый слой, толщиной порядка 30-60 см, состоящий практически из спрессованной смеси тяжёлых углеводородов и механических примесей» [31].

«Представленная характеристика слоев является довольно условной, граница зон размыта и не всегда имеет четкие переходы от одного вида к другому. Условно слои нефтешламов разделяют на верхнюю- нефтяную, среднюю, которая включает в себя нефтепродукты, механические примеси и воду и нижнюю, в составе которого тяжелые нефтепродукты, смолы, асфальтены, мех. примеси и вода. Именно для среднего слоя, который составляет 2/3 отстойников прудов, необходима разработка методов утилизации» [29].

«Исследования нефтешламов с разных регионов свидетельствуют о достаточно широком разбросе показателей их качества. Примерный состав слоев нефтешлама приведен в таблице 4» [30].

Таблица 4 – Примерный состав слоев нефтешлама различных регионов

Состав, %	Верхний слой	Средний слой	Нижний слой Донный шлам
Мех. примеси	10-15	40-70	15-50
Нефтепродукты	30-40	10-15	10-15
Асфальтены	Менее 5	5-10	20-45
Смолы	-	5-10	15-25
Парафины	-	Менее 5	5-10
Вода	остальное		

## 1.2 Воздействие нефтешламов на окружающую среду

«Одним из основных источников загрязнения окружающей среды являются шламовые амбары, так как значительная их часть своевременно не ликвидируется» [8].

Негативное воздействие на атмосферу проявляется в результате испарения и переноса легких фракций нефти и нефтепродуктов с поверхности нефтешламовых амбаров. В атмосферу также поступают углеводороды, сажа, оксиды углерода, азота, серы.

«Воздействие на почву нефтесодержащих отходов возникает в случае переполнения амбаров, эрозионных процессах дна и стенок нефтешламовых амбаров, в результате чего происходит распространение нефтешлама в грунтовые воды и поверхностные стоки.

«Последствиями распространения нефтесодержащих отходов в грунтовые воды и почву являются:

- смена растительного покрова, снижение или полная его ликвидация;
- накопление в растениях токсичных углеводородов;
- физическое нарушение почвенно-растительного покрова, природных ландшафтов зоны аэрации;
- нарушение температурного режима морозно-мерзлотных почв (ММП);
- нарушение жизнедеятельности микроорганизмов в районе нефтешламовых разливов и изменение условий жизни вплоть до исчезновения отдельных видов животных и растений» [8].

Таким образом, нефтешламы оказывают негативное воздействие на окружающую природную среду, поэтому необходимо строго контролировать содержание нефтепродуктов в природе. При размещении нефтеотходов в шламовых амбарах необходимо разрабатывать технологии по их обезвреживанию.

### **1.3 Размещение нефтешламовых накопителей**

«В Самарской области существует около 40 объектов размещения углеводородсодержащих отходов: шламовые амбары, пруды дополнительного отстоя, илонакопители и шламонакопители. Эти объекты

были устроены еще при разработке нефтяных месторождений и в период строительства нефтеперерабатывающих заводов (Куйбышевский НПЗ, Новокуйбышевский НПЗ, Сызранский НПЗ). Объем накопленных углеводородсодержащих отходов оценочно достигает примерно 400 тысяч тонн» [9].

«При попадании нефтешламов в почву происходят глубокие необратимые изменения физических, физико-химических и микробиологических свойств, что приводит к потере загрязненными почвами плодородия и отторжению площадей из сельскохозяйственного использования. Срок восстановления, саморекультивации почв, загрязненных нефтью, составляет от 2 до 15 лет» [9].

Рассмотрим расположение нефтешламовых хранилищ на территории Самарской области, приведенное на рисунке 4.

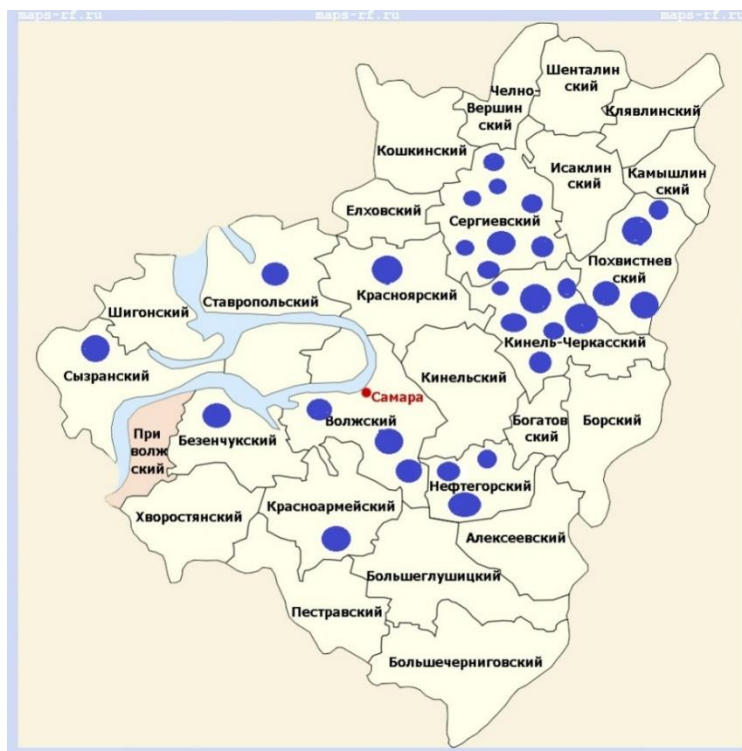


Рисунок 4 – Расположение нефтешламовых накопителей на территории Самарской области [27]

Основная масса накопителей сосредоточена в Сергиевском, Похвистневском и Кинель-Черкасском районах.

«Объекты размещения нефтесодержащих отходов занимают 10-15 га. Данные территории выведены из хозяйственного оборота, и характеризуются экологической, пожарной и санитарно-гигиенической опасностью» [9].

#### 1.4 Методы переработки нефтешламов

В настоящее время существует пять основных методов переработки нефтешлама (рисунок 5):

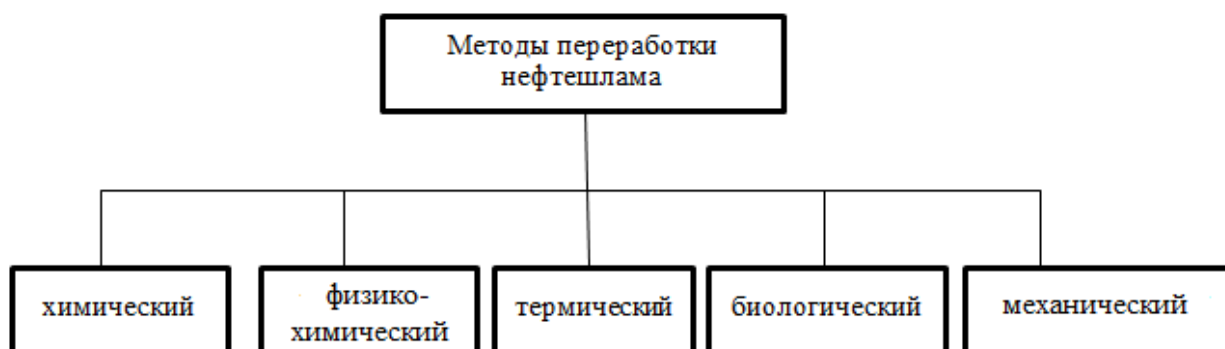


Рисунок 5 – Основные методы переработки нефтешлама

Для более полного описания представим методы, указанные на рисунке 4, в таблице 5.

Таблица 5 – Методы переработки нефтешлама

Методы переработки	Разновидность метода	Сущность метода
1	2	3
Термический	Сжигание	Самым распространенным методом утилизации нефтесодержащих отходов является сжигание. Так как содержание в отходах нефтепродуктов колеблется в пределах 20-25 %, то тепло образованное в процессе сжигания, представляет интерес. В качестве оборудования используются барабанные и

Продолжение таблицы 5

1	2	3
		<p>многоподовые печи, печи с «кипящим» слоем. Время сжигания зависит от характера сжигаемого отхода</p>
Термический	Пиролиз	<p>«Пиролиз – это процесс сжигания отходов без доступа кислорода, в результате которого разлагаются высокомолекулярные соединения на низкомолекулярные соединения, на газообразную и жидкую фракции. Известно три типа пиролиза, характеризующие температуру процесса: низкотемпературный, температура которого составляет не более 450 – 550 °С; – среднетемпературный (среднетемпературное коксование), температура до 800 °С; – высокотемпературный (коксование), температура 900 – 1050 °С. Чем больше температура пиролиза, тем больше выход продукта, которые содержат газ, в результате чего уменьшаются жидкие. Задачей низкотемпературного пиролиза является образование первичной смолы, являющаяся источником разных химических продуктов и жидкого топлива. Задача высокотемпературного пиролиза заключается в получении высококачественных горючих газов. Полученный пиролизный кокс (твердый остаток) используют в качестве сорбента при очистке сточных и питьевых вод, а также как заменитель синтетических и природных углеродсодержащих материалов и т.д» [14].</p>
Термический	Газификация	<p>«Газификация состоит из обрабатывания углеродсодержащего вещества при температуре 600 – 1100 °С диоксидом углерода, кислородом (воздухом) или водяным паром. В результате образуется равновесная смесь исходных и вновь образованных газов (оксид углерода, водород). Смесь синтез газа и генераторного газа, содержащая оксид углерода можно использовать в качестве газообразного топлива</p>
Механический		<p>Механический метод включает в себя: гравитационное отстаивание, разделение в центробежном поле, разделение фильтрованием, экстракция. Основным достоинством является возможность уменьшения количества отходов и повторное использование части отделившейся воды, нефти (нефтепродуктов)</p>
Химический	Обработка негашеной известью	<p>Известным способом химического обезвреживания нефтесодержащих отходов является обработка негашеной известью, которая предварительно обработана каким-либо поверхностно-активным веществом, например, стеариновой кислотой. В результате получают гидрофобный порошок, в сухом</p>



		состоянии, который используют в дальнейшем в качестве стройматериала при строительстве дорог, а также для других целей.
Химический	Применение	Действие препарата состоит из смешения

Продолжение таблицы 5

1	2	3
	препарата «Эконафт»	нефтезагрязненной земли или нефтемаслоотходов с препаратом Эконафт в соотношении 1:1 или 1:2 в результате чего оксид щелочноземельного металла в комплексе с водой образует гидроксид. Препарат равномерно адсорбирует нефтепродукты с образованием морозоустойчивого, гидрофобногостойкого при хранении вещества, которое состоит из мелких известковых гранул с заключёнными в них частицами обезвреженных нефтемаслоотходов» [15].
Химический	Применение «Порошка минерального «ПУН»»	В результате обработки порошком образуется продукт, который представляет собой гидрофобный, капсулированный, морозостойкий, практически не растворимый в воде, непроницаемый порошок. Такую смесь в дальнейшем можно применить для приготовления асфальтобетонных смесей.
Физико-химический	Электро-магнитные методы	«Использование сверхвысокочастотных полей способствует быстрому и равномерному прогреванию грунта, поле чего вследствие диссоциации карбонатов, дегидратации, окисления, десорбции органические соединения обезвреживаются. К электромагнитным методам относят также обезвреживание отходов с помощью лазерного и ультрафиолетового (УФ) излучения. УФ активизирую ароматические молекулы и приводят к диссоциации молекулы, в дальнейшем образующие активные комплексы и радикалы, а также к быстрой полимеризации и окислению» [20].
Физико-химический	Способ разделения нефтяных отходов	«Способ заключается в подогревании и разбавлении водой шлама. Далее смешивается в экстракторе шлам с растворителем. В качестве растворителя используются бензол, толуол, бензин и другие углеводороды. Растворитель отводится в трубчатый плёночный испаритель, снабжённый отстойником, а экстрагированный масляный шлам подогревается для удаления остатков растворителя в газовую фазу остатки и обезвоживания компрессией пара. Для удаления остатков масла из дистиллята используют лопастное устройство, вода возвращается в процесс, шлам обратно в хранилище» [21].
Физико-химический	Использование ленточных пресс-фильтров, трехфазных центрифуг,	Высоковязкий нефтешлам при температуре от 20 до 40 °С смешивается с обводнённым диспергатором для снижения температуры. Под воздействием диспергатора нефтешлам превращается в дисперсную маловязкую систему за счет межфазного натяжения на границе с нефтью, а также частицы мехпримесей переводятся в

	флокулянтов и деэмульгаторов	воду из нефтяной фазы. При неподвижном отстаивании до 30 минут маловязкий обводненный нефтешлам разделяется на верхнюю часть, которая состоит из эмульсионного слоя нефти в воде, данную часть
--	------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Продолжение таблицы 5

1	2	3
		отправляют в трехфазную центрифугу и нижнюю, состоящую из взвешенных, а также частично осевших мехпримесей, которые поступают на ленточный пресс-фильтр.
Биологический метод	Применение препаратов	В настоящее время на основе выделенных нефтеокисляющих микроорганизмов разработаны различные биопрепараты. В состав этих препаратов входят активные нефтеокисляющие штаммы, значительно улучшающие экологическую обстановку, особенно при ликвидации аварий на нефтепроводах. При аварийных загрязнениях целесообразно введение культуры микроорганизмов. Существуют препараты необходимые для биологической очистки как почвы, так и воды, загрязнённых нефтью. В составе препарата присутствуют липофильные компоненты, эмульгирующие нефть, приводящие к последующему процессу деструкции.

Следует выделить некоторые особенности данных методов, которые являются ограничивающими в использовании этих методов.

При биологическом методе биоразложение осуществляется микроорганизмами, для жизнедеятельности которых необходимо соблюдать оптимальные условия, при которых температура среды выше 0°C, минимальная концентрация тяжелых металлов. Данный метод характеризуется длительностью процесса, высокой стоимостью реагентов, для осуществления процесса необходим отвод значительных земельных участков для обустройства полигонов для обезвреживания нефтесодержащих отходов, что являются недостатками такого метода.

Основными недостатками механического метода является низкая эффективность разделения, большой объем образуемых остатков, необходимость в специальном оборудовании, неполнота отделения нефтепродуктов от образуемых осадков и сточных вод; область применения ограничена.

Несмотря на простоту использования химического метода, данный способ имеет ряд ограничений, заключенных в:

- дороговизне метода, связанной с большим объемом применяемых связующих материалов;
- возможности использования технологии лишь при температурах 5 °С и более;
- недостаточной изученности свойств конечного продукта и сохранения этих свойств в течение длительного времени.

Термический способ имеет недостаток, выражающийся в выделении вредных веществ, однако это не является критичным, поскольку современные оборудования оснащены блоками очистки отходящих газов.

«Термический метод позволяет снизить объемы нефтешлама, уменьшить степень его опасности путем разрушения опасных веществ. Образующиеся при этом вторичные отходы относятся к 4 классу опасности и подлежат вывозу на полигоны захоронения. Объем вторичных отходов по сравнению с первоначальным уменьшается до 10 раз» [2].

Данный способ является одним из эффективных и широко используемых ввиду практичности использования.

## 1.5 Оборудования, применяемые для термической утилизации нефтешламов

Для более удобного рассмотрения оборудования, применяемого при термической утилизации основные критерии сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Мобильные установки, используемые для термической утилизации нефтешламов

Наименование установки	Процесс утилизации	Производительность	На входе	На выходе	Преимущества использования
Инсинератор ИН-50	Сжигание в подовой печи	1000-5000 кг/час	Нефтешлам, содержание влажности которого не превышает 40 %	Зола от сжигания	Утилизация нефтешлама на месте образования, встроенная система газоочистки
УТД-2	Пиролиз	800-1500 кг/час	Содержание нефтепродуктов, не превышающие 25 %	Зольный остаток, пиролизный газ	Совершенная автоматизированная система управления, низкая энергоемкость
Форган	Пиролиз	600-800 кг/час	Нефтешлам, содержание влажности которого составляет не превышает 30 %	Жидкое печное топливо, газ 10-12 %, технический грунт	Возможность получения продуктов и дополнительных источников энергии
Форган-М	Пиролиз	6000-8000 кг/час	Нефтешлам, содержание влажности которого составляет не превышает 30 %	Жидкое печное топливо, газ 10-12 %, технический грунт	Возможность получения продуктов и дополнительных источников энергии

Продолжение таблицы 6

Наименование установки	Процесс утилизации	Производительность	На входе	На выходе	Преимущества использования
Установка Фактор-500	Сжигание барабанной печи в	500-1500 кг/час	Нефтешлам, содержание механических примесей которого не более 40 %. Влажность нефтешлама- меньше 15 %	Зола от сжигания	Эффективная система очистки отходящих газов, более высокое качество сжигания по сравнению с открытым сжиганием
Установка ТДУ-2000 ЖДТ	Сжигание барабанной печи в	6000 кг/час	Нефтешлам, содержание механических примесей которого до 70 %; содержание нефтепродуктов 10 % Влажность нефтешлама-не более 15 %	Зола от сжигания	Эффективная система очистки отходящих газов, более высокое качество сжигания по сравнению с открытым сжиганием

Исходя из состава среднего слоя нефтешлама прудов-отстойников, с содержанием механических примесей – 40-70 %, нефтепродуктов – 10-15 % оптимальным оборудованием будет являться установка ТДУ-2000 ЖДТ, на входе которой нефтешлам содержит механические примеси – до 70 %, нефтепродукты – 10 %, воды – 15 %.

Вывод по разделу:

В разделе рассмотрели основные источники нефтесодержащих отходов, характеристику и классификацию нефтешламов, слои прудов – отстойников и размещение нефтешламовых накопителей. Также рассмотрены методы переработки нефтешламов и выбран термический метод, который позволяет снизить объемы нефтешлама, уменьшить степень его опасности путем разрушения опасных веществ. Образующиеся при этом вторичные отходы относятся к 4 классу опасности и подлежат вывозу на полигоны захоронения. Объем вторичных отходов по сравнению с первоначальным уменьшается до 10 раз.

Данный способ является одним из эффективных и широко используемых ввиду практичности использования.

Проанализировали воздействие нефтешламов на окружающую среду и методы переработки нефтешламов. Были проанализированы оборудования, используемые для термической утилизации нефтешламов.

## **2 Анализ технологии термической утилизации нефтешламов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ**

### **2.1 Технологический процесс переработки нефтесодержащих отходов**

Установка предназначена для термической утилизации 4600 видов отходов, в том числе нефтесодержащих отходов.

Установка изображена на рисунке 6.



Рисунок 6 – ТДУ-2000ЖДТ

ТДУ-2000 ЖДТ позволяет производить переработку отходов непосредственно на месте проведения аварийных работ, условия эксплуатации, хранения и транспортирования приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Условия эксплуатации, хранения, транспортирования оборудования

Наименование показателей	Значение
Климатическое исполнение	УХЛ 1 – для эксплуатации на открытом воздухе в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом ( $t_{\text{воздуха}}$ от 5 до 40 °С)
Условия хранения и транспортирования в зависимости от воздействия климатических факторов внешней среды	7 (Ж1) – открытые площадки в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в условно чистой атмосфере ( $t_{\text{воздуха}}$ от минус 50°С до плюс 50 °С).

Сырье, поступающее на вход в оборудование должно соответствовать следующим параметрам, приведённым в таблице 8.

Таблица 8 – Допустимые характеристики сырья

Наименование параметра	Значение
Предельное содержание нефтепродуктов, %	10
Влажность, не более %	15
Содержание твердой фазы, не менее %	70
Максимальный размер отдельных элементов утилизируемых отходов, не более, мм	70
Легковоспламеняющиеся, токсичные, агрессивные вещества	Не допускаются

«В результате переработки отходов в выгрузном бункере образуется вторичный твердый сыпучий отход 4-5 класса опасности – зола от термической обработки. Первоначально допускается складирование обезвреженного материала у места выгрузки, на ровном, гидроизолированном основании. В соответствии с СанПиНом 2.1.7.1322-03 поверхность хранящихся отходов должна быть защищена от воздействия атмосферных осадков, поэтому обезвреженный материал выгружается в специально оборудованный склад» [24].

Общий вид установки (вид справа) представлен на рисунке 7.





Рисунок 7 – Общий вид установки (вид справа)

Общий вид установки (вид слева) представлен на рисунке 8:

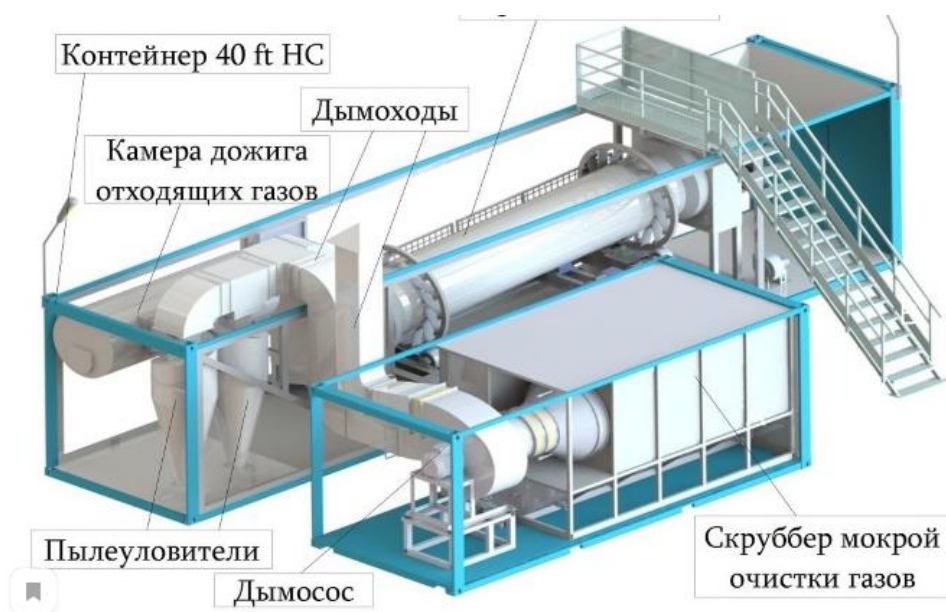


Рисунок 8 – Общий вид ТДУ-2000 ЖДТ (вид слева)

Технические характеристики установки описаны в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики установки

Наименование параметра	Значение
Производительность, кг/ч	6000
Габариты (базовой установки)	Контейнер 40ft HC+ 20ft
Вес	20 тонн
Потребляемая мощность, кВт	35
Объем топливного бака, л	800

«Шнековая подача (рисунок 9) представляет собой конусообразную воронку, на дне которой находится шнековый безвальный транспортер большого диаметра (380 мм). Он позволяет захватывать и дозированно подавать в камеру сгорания любые насыпные материалы с фракционным составом до 10 мм и разовыми включениями до 75 мм. Шнековый транспортер оборудован мощным приводом с плавной регулировкой для контроля скорости подачи шлама в камеру сгорания» [24].



Рисунок 9 – Шнековая подача

Технические характеристики загрузки приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики загрузки

Характеристика	Значение
Потребляемая мощность, кВт	1,2
Производительность, загрузок/ч, макс	24
Объем загрузки, л, макс	насыпной – 90, в мешках – 120

«С помощью лопастей, которые закреплены во внутренней части камеры сжигания смесь тщательно перемешивают. Камера сжигания (рисунок 10), представляющая собой барабан подобно вращающейся трубе, которая опирается на четыре ролика. Привод барабана производится за счет мотор-редуктора при помощи зубчатой передачи» [24].



Рисунок 10 – Камера сжигания отходов

«Внутри камеры шлам обжигается при помощи горелки, которая работает на дизельном топливе или другом виде, с системой принудительной подачи дополнительного воздуха.

Горелка дизельного типа представлена на рисунке 11. Расход топлива таких горелок: Дизель 50-100 кг/час» [24].



Рисунок 11 – Горелка дизельная

При условии воздействия высоких температур и усиленной подачи кислорода, шлак осуществляет движение в зону выгрузки золы благодаря небольшому наклону барабана.

Производительность процесса сжигания шлака зависит от нескольких условий (рисунок 12):

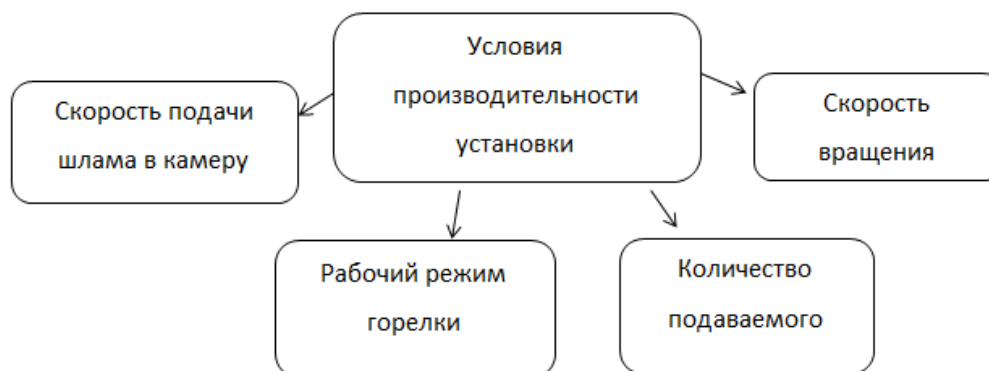
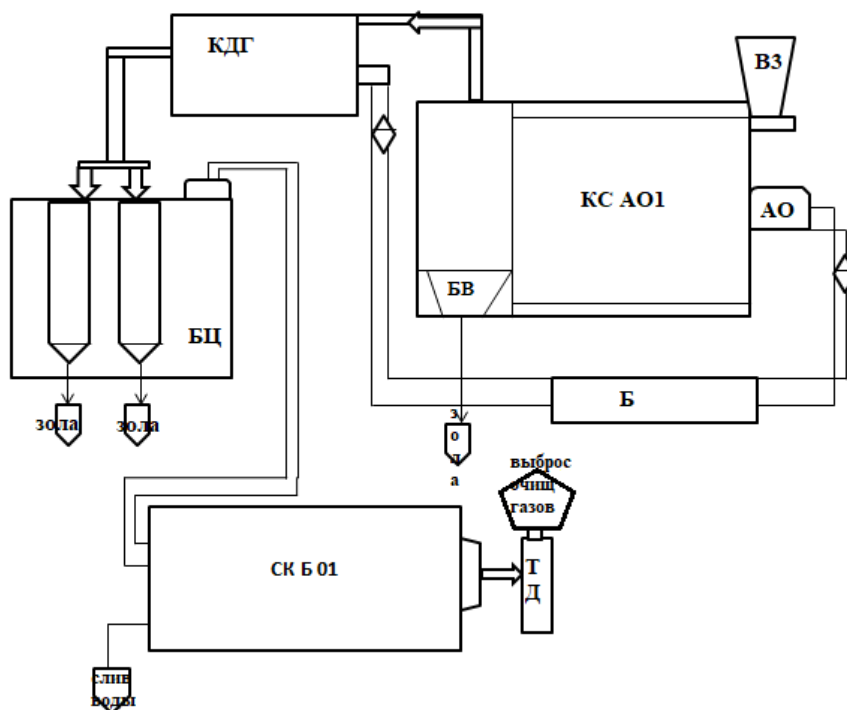


Рисунок 12 – Условия производительности установки

«Предназначенный к утилизации шлам подается ковшовым погрузчиком или любым другим способом в приемную емкость ТДУ-2000, откуда встроенным в дно воронки шнеком дозировано вводится в камеру сгорания. Далее осуществляется обжиг шлама, отходы горения выгружаются через выгрузной люк. Выхлопные газы, выбрасываемые установкой для очистки, направляются в зону вихревой камеры и пылеуловителей где осуществляется принудительный дожиг. Далее поток газов следуют в скруббер мокрой очистки, где частицы тяжелых металлов захватываются жидкостью и удаляет их из зоны скруббера в виде шлама» [24].

Схема технологического процесса изображена на рисунке 13.



ВЗ – бункер загрузки, А01 – горелка газ-дизель камеры сгорания, Б – бак топливный дизель, КС А01 – камера сгорания, БВ – бункер выгрузки, КДГ – камера дожига газов, БЦ – блок циклонов, СК Б01 – скруббер мокрой очистки, ТД – труба дымовая

Рисунок 13 – Технологическая схема ТДУ-2000ЖДТ [24]

Однако, несмотря на все положительные стороны установки ТДУ-2000ЖДТ, все же имеется недостаток в виду выбросов загрязняющих

веществ в атмосферу, связанный с недостаточной эффективностью системы очистки отходящих газов.

Экспериментальные исследования компонентного состава нефтешлама

1) Определение влажности.

Взвесили навеску нефтешлама ( $m_1 = 30,456$  г) и поместили его в бюкс, поставили его в сушильный шкаф, нагретый до  $105$  °С и выдержали при вышеуказанной температуре в течение 5 часов. После чего поместили бюкс с нефтешламом в эксикатор на 30 минут и взвесили на технических весах.

Вычислили влажность анализируемой пробы нефтешлама по формуле 1:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

Получили:

$$W = \frac{(30,456 - 25,9)}{30,456} \cdot 100\% = 14\%$$

2) Определение зольности нефтешлама.

Взвесили в стакан вместимостью 600 см<sup>3</sup> на технических весах 100 г анализируемой пробы. Добавили в пробу мерным цилиндром 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Отфильтровали через фильтр «Белая лента» полученный раствор. 100 см<sup>3</sup> фильтрата перенесли в фарфоровую чашку ( $m_1 = 70,8240$  г) и поставили на электроплитку для выпаривания. После этого поместили чашку с сухим остатком в сушильный шкаф, нагретый до  $105$  °С. Выдержали в сушильном шкафу при вышеуказанной температуре 5 часов.

Чашку с сухим остатком поместили на 30 минут в муфельную печь, нагретую до температуры  $600$  °С. После чего прокаленную фарфоровую чашку перенесли в эксикатор и охлаждали в течение 1 часа. Взвесили на аналитических весах ( $m_2 = 70,8322$  г).

Массу золы определили по формуле 2:

$$Z = \frac{(m_2 - m_1)}{V_{\text{пробы}}} \quad (2)$$

где  $m_2$  – масса выпарительной чашки с прокаленным остатком, г;

$m_1$  – масса пустой выпарительной чашки, г;

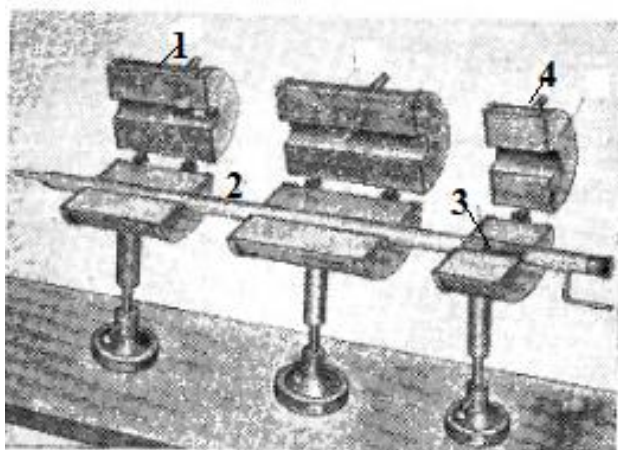
$V_{\text{пробы}}$  – объем фильтрата пробы, взятый для анализа, см<sup>3</sup>.

Получили:

$$Z = \frac{(70,8322 - 63,637) \cdot 100}{100} = 4,9\%$$

### 3) Определение углерода, водорода, серы в составе нефтешлама.

Экспериментируемый нефтешлам перенесли в термостойкий стакан и оставили сушиться в сушильном шкафу при  $t=100-150^{\circ}\text{C}$  до исчезновения влаги. Высушенную навеску нефтешлама массой 15 мкг перенесли в кварцевую пробирку при помощи микрошпателя. Пробирку помещают в прямую трубку с отводом для сожжения на расстоянии 120 мм от электрической печи для нагревания так, чтобы закрытый конец пробирки был обращен в сторону пробки (рисунок 14).



1 – электрическая печь на  $900^{\circ}\text{C}$  для нагревания, 2 – трубка для сожжения, 3 – пробирка с навеской, 4 – электрическая печь для нагревания зоны разложения

Рисунок 14 – Расположение пробирки, применяемой для сожжения с пиролизом в прямой трубке с отводом

Закрыли трубку резиновой пробкой, присоединили поглотительные аппараты, проверили проходимость кислорода в трубке с нужной скоростью и начали процесс сжигания.

Подставили печь под ту часть пробирки, где находится открытый конец пробирки, и продвигали ее постепенно вдоль пробирки т.е против тока кислорода так, чтобы нефтешлам сгорал в самой пробирке, а не сгорал за его пределами.

После того как произвели сжигание, контрольную навеску взвешиваем и определяем количество углерода и водорода по формулам 3 и 4:

$$x_C = K_{CO_2} \cdot 100 \cdot \frac{a - n_{CO_2}}{g} \quad (3)$$

где а – привес CO<sub>2</sub>, мг;

б – привес H<sub>2</sub>O, мг;

n<sub>CO<sub>2</sub></sub> – поправка (n<sub>CO<sub>2</sub></sub>=0,044);

g – масса навески, мг.

$$x_H = K_{H_2O} \cdot 100 \cdot \frac{b - n_{H_2O}}{g} \quad (4)$$

где n<sub>H<sub>2</sub>O</sub> – поправка (n<sub>H<sub>2</sub>O</sub>=0,090).

Получили:

$$K_{CO_2} = \frac{M_C}{M_{CO_2}} = \frac{12,01}{44,01} = 0,2729$$

$$K_{CO_2} = \frac{M_C}{M_{CO_2}} = \frac{12,01}{44,01} = 0,2729$$

$$x_C = 0,2729 \cdot 100 \cdot \frac{13,784 - 0,044}{15} = 48 \%$$



$$x_H = 0,1119 \cdot 100 \cdot \frac{16,14 - 0,090}{15} = 25 \%$$

$$x_S = K_{SO_4} \cdot \frac{c \cdot 100}{g} \quad (5)$$

где  $c$  – привес серы, мг;

$g$  – масса навески, мг.

Получили:

$$K_{SO_4} = \frac{32,064}{96,064} = 17,28$$

$$x_S = 17,28 \frac{0,017 \cdot 100}{15} = 2 \%$$

## 2.2 Расчет материального баланса камеры сжигания

Рассмотрим схему материальных потоков (рисунок 15):

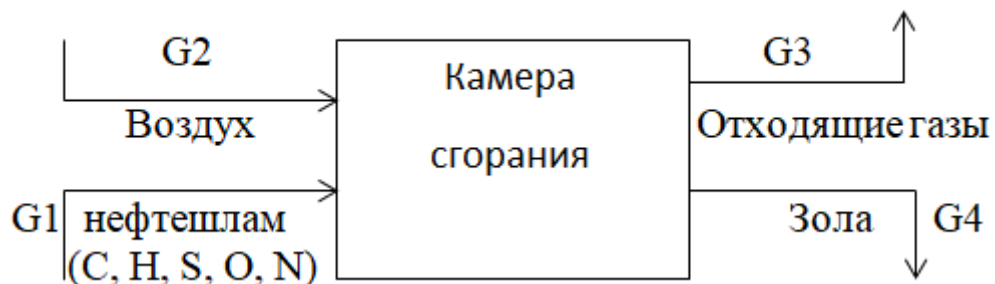


Рисунок 15 – Схема материальных потоков

В общем виде уравнение –  $G_1 + G_2 = G_3 + G_4 + G_{потерь}$  (примем  $G_{потерь} = 0$ ,  $[G_i] = [кг]$ ) тогда уравнение примет вид:  $G_1 + G_2 = G_3 + G_4$ .

1) За  $G_1$  примем производительность установки, равная 6000 кг/ч.

2) Определим  $G_2$  по формуле 6:

$$G_2 = V_B \cdot \rho_B \quad (6)$$

где  $V_B$  – объем поступившего воздуха,  $\text{м}^3/\text{кг}$  (формула 7);

$\rho_B$  – плотность воздуха  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$V_B = V'_B \cdot G_1 \quad (7)$$

где  $V'_B$  – суммарный объем поступившего воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$  (формула 8):

$$V'_B = 0,269 \left( \frac{C}{3} + \frac{H}{100} + \frac{S - O}{8} \right) \quad (8)$$

где 0,269 – объем воздуха, необходимого для сжигания смеси, а также значение переводящее проценты в доли ( $\frac{26,9 \text{ м}^3/\text{кг}}{100\%}$ );

C, H, S, O, N – весовое содержание соответствующих элементов в составе нефтешлама, % масс;

W – влажность нефтешлама, %.

Получаем:

$$V'_B = 0,269 \left( \frac{48}{7} + 25 + \frac{3 - 2}{8} \right) = 8,5 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_B = 8,5 \text{ м}^3/\text{кг} \cdot 6000 \text{ кг/час} = 51215 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$G_2 = 51215 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 1,204 \text{ кг}/\text{м}^3 = 67308 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

3) Определим  $G_3$  по формуле 9:

$$G_3 = G_1 \cdot Z \quad (9)$$

где Z – зольность нефтешлама, масс %.

Получаем:

$$G_3 = 6000 \text{ кг/час} \cdot 0,049 = 294 \text{ кг/ч}$$

4) Найдем удельные объемы отходящих газов по формулам 10, 11, 12 и 13:

$$V_{CO_2} = 1,86 \cdot \frac{C}{100} \quad (10)$$

где 1,86 – объем углекислого газа образовавшегося в результате сгорания 1 м<sup>3</sup> смеси;

C – весовое содержание углерода в составе нефтешлама, % масс.

$$V_{CO_2} = 1,86 \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \frac{48}{100} = 0,8 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{H_2O} = 11,2 \cdot \frac{H}{100} + 1,24 \frac{W}{100} \quad (11)$$

где – 11,2 объем паров воды образовавшихся в результате сгорания 1 м<sup>3</sup> смеси;

1,24 – безразмерный коэффициент;

H – весовое содержание водорода в составе нефтешлама, % масс;

W – влажность нефтешлама, %.

$$V_{H_2O} = 11,2 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \cdot \frac{25}{100} + 1,24 \frac{14}{100} = 1,54 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{N_2} = \frac{1}{100} \left[ 7C + 21 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2,6 \cdot S + 0,8N \right] \quad (12)$$

где 7 – объем углерода, образовавшегося в результате сгорания 1 м<sup>3</sup> смеси;

21 – объем водорода, образовавшегося в результате сгорания 1 м<sup>3</sup> смеси;

2,6 – объем серы, образовавшейся в результате сгорания 1 м<sup>3</sup> смеси;

0,8 – объем азота, образовавшегося в результате сгорания 1 м<sup>3</sup> смеси;

O – весовое содержание кислорода в составе нефтешлама, % масс;

N – весовое содержание азота в составе нефтешлама, % масс.

$$V_{N_2} = \frac{1}{100} \left[ \frac{7 \text{ м}^3}{\text{кг}} \cdot 48 + \frac{21 \text{ м}^3}{\text{кг} \left( 25 - \frac{3}{8} \right)} + \frac{2,6 \text{ м}^3}{\text{кг}} \cdot 2 + 0,8 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot 1 \right] = 8,59 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$V_{SO_2} = 0,7 \cdot \frac{S}{100} \quad (13)$$

где, 0,7 – объем серы, образовавшейся в результате сгорания 1 м<sup>3</sup> смеси;

S – весовое содержание серы в составе нефтешлама, % масс.

$$V_{SO_2} = 0,7 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot \frac{2}{100} = 0,014 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Найдем массы отходящих газов по формуле 14:

$$G' = V \cdot \rho \cdot G_1 \quad (14)$$

где V – удельные объемы отходящих газов, м<sup>3</sup>/кг;

$\rho$  – плотность отходящих газов, при t = 900, кг/м<sup>3</sup>.

$$G'_{CO_2} = 0,8 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot 1,73 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot 6000 \text{ кг} / \text{час} = 8304 \text{ кг} / \text{ч}$$

$$G'_{H_2O} = 1,54 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot 1,12 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot 6000 \text{ кг} / \text{час} = 10348 \text{ кг} / \text{ч}$$

$$G'_{N_2} = 8,59 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot 1,05 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot 6000 \text{ кг} / \text{час} = 54117 \text{ кг} / \text{ч}$$

$$G'_{SO_2} = 0,014 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot 2,926 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot 6000 \text{ кг} / \text{час} = 245 \text{ кг} / \text{ч}$$

Получаем:

$$G_4 = 8304 \frac{\text{кг}}{\text{час}} + 10348 \frac{\text{кг}}{\text{час}} + 54117 \frac{\text{кг}}{\text{час}} + 245 \frac{\text{кг}}{\text{час}} = 73014 \text{ кг/ч}$$

Сведем расчеты материального баланса в таблицу 11:

Таблица 11 – Таблица материального баланса

	Приход		Расход	
	кг/ч	%	кг/ч	%
Объем поступившего воздуха	61663	91,6	-	-
Объем отходящих газов	-	-	73014	99,6
Объем нефтешлама(C, H, S, O,N)	6000	8,4	-	-
Объем золы	-	-	294	0,4
$G_{\text{потерь}}$	-	-	0	0
$\Sigma$	67308	100	73308	100

Вывод по разделу:

В разделе был рассмотрен технологический процесс переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ- 2000 ЖДТ, рассчитан материальный баланс камеры сжигания установки и представлены экспериментальные исследования компонентного состава нефтешлама.

### 3 Оптимизация технологического процесса переработки нефте содержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000-ЖДТ

В целях оптимизации технологического процесса необходима замена установленного полого скруббера в системе очистки отходящих газов на более эффективное оборудование. Такое решение позволит нам увеличить экологическую эффективность.

Произведем патентный поиск скрубберов, анализ представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Анализ патентного поиска скрубберов

Название и номер патента	Сущность патента
RU 2 664 878 C1 Скруббер с подвижной насадкой	«Базовым принципом пылеосаждения и газоочистки, по которому функционирует скруббер с подвижной шаровой насадкой, является использование т.н. кипящего псевдооживленного межфазного слоя, образующегося на насадках – телах небольшого размера и большой удельной площади» [15]. Оборудование применяется для очистки воздуха от туманов кислотного и щелочного происхождения и мелких пылевых частиц. Скруббер включает в себя следующие технические характеристики: -Высокое гидравлическое сопротивление 1200 Па. -Способность улавливания частиц диаметром 3 мкм с эффективностью 90%. -Мощность скруббера 3600 м <sup>3</sup> / час.
SU 254325 A1 Мокрый центробежный скруббер	«Скруббер работает следующим образом. Запыленный воздух, проходя через тангенциальный патрубок встречает распыляемую форсункой воду и частично увлажняется. Затем воздух поступает в зону горизонтальных трубок – зону высокого турбулентного режима, где происходит дальнейшее увлажнение пыли укрупнение частиц и капель. Войдя в корпус скруббера, воздух, вода и пыль попадают в зону высоких центробежных скоростей, где происходит отделение воздуха от пыли и капель воды. Под действием центробежной силы и осевой ее составляющей вода с поглощенной пылью образует на стенках скруббера пленку, поднимающуюся вверх

	по спирали. При входе в сепаратор водяная пленка с поглощенной пылью благодаря воздействию » [13].
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------

Продолжение таблицы 12

Название и номер патента	Сущность патента
SU 254325 A1 Мокрый центробежный скруббер	<p>«Скруббер работает следующим образом. Запыленный воздух, проходя через тангенциальный патрубок встречает распыляемую форсункой воду и частично увлажняется. Затем воздух поступает в зону горизонтальных трубок- зону высокого турбулентного режима, где происходит дальнейшее увлажнение пыли укрупнение частиц и капель.</p> <p>Войдя в корпус скруббера, воздух, вода и пыль попадают в зону высоких центробежных скоростей, где происходит отделение воздуха от пыли и капель воды.</p> <p>Под действием центробежной силы и осевой ее составляющей вода с поглощенной пылью образует на стенках скруббера пленку, поднимающуюся вверх по спирали. При входе в сепаратор водяная пленка с поглощенной пылью благодаря воздействию центробежных и гравитационных сил проваливается под конус. Воздух теряет центробежную скорость, капли воды по стенке сепаратора также стекают под конус» [13].</p> <p>Техническими характеристиками скруббера являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Способность улавливания частиц диаметром 1 мкм.</li> <li>-Эффективность очистки составляет 80%.</li> <li>-Гидравлическое сопротивление 900 Па.</li> <li>- Мощность скруббера 3000 м<sup>3</sup>/ час.</li> </ul>
RU 2 624 111 C1 Скруббер Вентури с мелкодисперсным орошением	<p>«Работа скрубберов Вентури основана на дроблении воды турбулентным газовым потоком, захвате каплями воды частиц пыли, последующей их коагуляции и осаждении в каплеуловителе инерционного типа. При введении жидкости в газовый поток дробление крупных капель на более мелкие за счет энергии турбулентного потока происходит, когда внешние силы, действующие на каплю, преодолевают силы поверхностного натяжения основным</p> <p>Эффективность очистки газов повышается за счет того что, в конфузоре размещено оросительное устройство, состоящее из трубопровода для подачи воды, выполненного в виде двух взаимно перпендикулярных участков, один из которых размещен осесимметрично конфузору, а на его конце, обращенном в сторону горловины закреплена форсунка системы орошения » [14].</p> <p>Основные технические характеристики скруббера Вентури:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Эффективность очистки составляет более 90%.</li> <li>-Гидравлическое сопротивление 1000 Па.</li> <li>- Мощность скруббера 4600 м<sup>3</sup>/ час.</li> <li>-Способность улавливания частиц диаметром 0,1 мкм.</li> </ul>

Исходя из анализа патентного поиска скрубберов наиболее

подходящим для технологического процесса является скруббер Вентури, который превосходит по всем техническим характеристикам.

Сравним скруббер уже используемой в технологическом процессе и скруббер, предлагаемый для улучшения эффективности очистки отходящих газов (таблица 13).

Таблица 13 – Технические характеристики уже используемого и предлагаемого скрубберов

Технические характеристики	Полый скруббер СП 600-3-01	Скруббер Вентури МС-ВТИ-2800
Производительность	3000 м <sup>3</sup> / час	4600 м <sup>3</sup> / час
Гидравлическое сопротивление	400 Па	1000 Па
Способность улавливания частиц	Способность улавливания частиц диаметром 5мкм	Способность улавливания частиц диаметром 0,1 мкм.
Эффективность очистки	60-70%	более 90%

Таким образом, предлагаемый скруббер Вентури по техническим характеристикам превосходит уже используемой полый скруббер во много раз. Использование предлагаемого скруббера обеспечит улучшение эффективности очистки отходящих газов.

Вывод по разделу:

В данном разделе был проанализирован патентный поиск скрубберов, и их основные характеристики. Провели сравнение технических характеристик уже используемого и предлагаемого скрубберов, исходя из которого был выбран скруббер Вентури, превосходящий уже используемой полый скруббер.



## 4 Экологическое обоснование предлагаемого решения по оптимизации установки

### 4.1 Расчет скруббера

Для расчета скруббера Вентури будем использовать количество газа, полученное в ходе расчета материального баланса  $V_0 = 73,014 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а также требуемую эффективность пылеуловителя  $\eta = 90 \%$ . Исходя из этого из методики «Основы инженерных расчетов» [21] выпишем технические характеристики:

- влагосодержание газа  $f = 30 \text{ г}/\text{м}^3$ ;
- температура газа, поступающего в газоочистку  $t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- барометрическое давление  $p_{\text{бар}} = 101\,325 \text{ Па}$ ;
- температура воды, подаваемой в аппараты  $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Выполним расчет скруббера Вентури:

1) Число единиц переноса (формула 15):

$$N_{\eta} = \ln [1/(1 - \eta)] \quad (15)$$

где  $\eta$  – требуемая эффективность пылеуловителя

Рассчитаем число единиц переноса по формуле 15:

$$N_{\eta} = \ln [1/(1 - 0,9)] = 2,3$$

2) Удельная энергия (формула 16):

$$K_T = \frac{N_{\eta}}{A} \quad (16)$$

при условии  $A = 6,49 \cdot 10^{-5}$

Определим удельную энергию по формуле 16:

$$K_T = \frac{2,3}{6,49 \cdot 10^{-5}} = 35439 \text{ Па}$$

3) Количество газа, поступающего в трубы Вентури при рабочих условиях (формула 17):

$$V_1 = \frac{V_0}{3600} \cdot \frac{101325(273 + t)}{273(101325 - P)} \quad (17)$$

Определим количество газа, поступающего в трубы Вентури при рабочих условия по формуле 17:

$$V_1 = \frac{73,014}{3600} \cdot \frac{101325(273 + 200)}{273(101325 - 3000)} = 0,0362 \text{ м}^3/\text{с}$$

4) Общий расход воды на трубы Вентури (формула 18):

$$V_B = m \cdot V_1 \quad (18)$$

где  $m$  – удельный расход воды, равный  $1 \text{ л}/\text{м}^3$ .

Определим общий расход воды на трубы Вентури по формуле 18:

$$V_B = 1 \cdot 0,0362 = 0,0362 \text{ м}^3/\text{с}$$

5) Гидравлическое сопротивление скруббера Вентури (формула 19):

$$\Delta p = K_T - p_B \cdot m \quad (19)$$

где давление воды  $p_B$  равно  $300 \text{ Па}$ .

Определим гидравлическое сопротивление скруббера Вентури по формуле 19:

$$\Delta p = 35439 - 300 \cdot 1 = 35139 \text{ Па}$$

6) Плотность газа при нормальных условиях на входе в трубу Вентури (формула 20):

$$\rho_0 = 1/100 \cdot (\rho_{0_1} \cdot a_1 + \rho_{0_2} \cdot a_2 + \dots + \rho_{0_n} \cdot a_n) \quad (20)$$

где  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – содержание компонента газа в смеси, % (объем);

$\rho_{0_1}, \rho_{0_2}, \dots, \rho_{0_n}$  – плотности компонентов газа при нормальных условиях.

Определим плотность газа при нормальных условиях на входе в трубу Вентури по формуле 20:

$$\rho_0 = \frac{1}{100} \cdot (28,94 \cdot 1,963 + 64 \cdot 1,12 + 87 \cdot 1,25 + 0,48 \cdot 2,926) = 2,38 \text{ кг/м}^3$$

7) Температура газа на выходе из трубы Вентури (формула 21):

$$t = (0,133 - 0,041 \cdot m) \cdot t_1 + 35 \quad (21)$$

где  $m$  – удельный расход воды, равный  $1 \text{ л/м}^3$ .

Определим температуру газа на выходе из трубы Вентури по формуле 21:

$$t = (0,133 - 0,041 \cdot 1) \cdot 30 + 35 = 37,76^\circ\text{C}$$

8) Влажность газа на выходе из труб Вентури (формула 22):

$$x_1 = f_1 / \rho_0 \quad (22)$$

Определим влагосодержание газа на выходе из труб Вентури по формуле 22:

$$x_1 = 30/2,38 = 12,60 \text{ кг/м}^3$$

9) Коэффициент влагосодержания на выходе из трубы Вентури (формула 23):

$$f_2 = x_2 \cdot \rho_0 \quad (23)$$

Определим коэффициент влагосодержания на выходе из трубы Вентури по формуле 23:

$$f_2 = 2,38 \cdot 0,100 = 0,476$$

10) Плотность газа при рабочих условиях на выходе из скруббера Вентури (формула 24):

$$\rho_2 = \frac{(\rho_0 + f_2) \cdot 273(p_{\text{бар}} - p - \Delta p)}{(1 + f_2/0,804) \cdot 101325 \cdot (273 + t_2)} \quad (24)$$

Определим плотность газа при рабочих условиях на выходе из скруббера Вентури по формуле 24:

$$\rho_2 = \frac{(2,38 + 0,476) \cdot 273(101325 - 3000 - 35139)}{(1 + 0,476/0,804) \cdot 101325 \cdot (273 + 30)} = 49265 \text{ кг/м}^3$$

11) Количество газа на выходе из трубы Вентури (формула 25):

$$V_2 = (V_0/3600) \cdot (\rho_0/f_2) \quad (25)$$

Определим количество газа на выходе из трубы Вентури по формуле 25:

$$V_2 = \left(\frac{73,014}{3600}\right) \cdot \left(\frac{2,38}{49265}\right) = 9,79 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$$

12) Размеры инерционного пыле- и каплеуловителя (бункера) (формула 26):

$$D_6 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_2}{u_6}} \quad (26)$$

где  $u_6$  – скорость в поперечном сечении бункера, равна 2,5 м/с.

Определим размеры инерционного пыле- и каплеуловителя по формуле 26:

$$D_6 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{9,79 \cdot 10^{-2}}{2,5}} = 2,23 \text{ м}$$

Полученное значение диаметра  $D_6$  по таблице 14 округляется до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона D.

Таблица 14 – Технические характеристики скруббера типа МС-ВТИ

Тип	Диаметр аппарата, м	Полная высота корпуса, м	Длина трубы распылителя, м	Номинальная производительность, тыс. м <sup>3</sup> /ч	Расход воды на орошение корпуса, т/ч	Масса аппарата, т
МС-ВТИ-2800	2,8	9,66	2,95	90	4,4	7
МС-ВТИ-3000	3,0	10,32	3,27	108	4,7	8
МС-ВТИ-3200	3,2	10,98	3,51	125	5,0	9,1
МС-ВТИ-3600	3,6	12,29	3,74	160	5,7	11,5

МС-ВТИ-4000	4,0	13,61	4,13	200	6,3	14,2
МС-ВТИ-4500	4,5	15,25	4,69	250	7,0	18,0

Исходя из приведенных выше технических характеристик выберем скруббер с наиболее подходящим к нашим расчетам (по диаметру). Таким скруббером является скруббер типа МС-ВТИ-2800.

#### **4.2 Оценка негативного воздействия на окружающую среду**

Рассмотрим выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от установки ТДУ-2000 ЖДТ.

Источниками выбросов являются:

- источник 0001, организованный (вытяжная труба скруббера);
- источник 0002, организованный (емкость для хранения дизельного топлива);
- источник 6001, неорганизованный (склад временного хранения обезвреженного материала).

Исходя из ИТС 9-2015 «Обезвреживание отходов термическим способом» были обнаружены следующие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу:

- углерод (сажа);
- сера диоксид;
- углерод(оксид);
- бензапирен.

Произвели расчет приземных концентраций и расчёт рассеивания в программе УПРЗА «Эколог» версия 4.60 реализующей методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, утвержденной Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273.

При определении нормативов выбросов применены методы расчета рассеивания выбросов загрязняющих веществ, которые являются основным

средством нормирования выбросов. Исходными данными для расчета являются количественные величины выбросов и параметры источников выбросов, приведенные в таблице параметры выбросов при следующих начальных условиях:

- в расчет рассеивания приняты все источники загрязнения атмосферы при максимальной загрузке оборудования;

- за критерий оценки степени воздействия на воздушный бассейн приняты значения максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ, принятые для жилых зон, равные  $1,0 \text{ ПДК}_{\text{мри}}$ ;

- для расчета рассеивания загрязняющих веществ на промплощадке был задан расчетный прямоугольник со следующими параметрами: площадка размером  $6400 \times 6400$  метров, охватывающей территорию санитарно-защитной зоны (СЗЗ) нефтешламового амбара УКПН-2, а также прилегающую жилую зону.

При расчете рассеивания было учтено суммирующее биологическое действие поступающих в воздушный бассейн вредных веществ.

Значения метеорологических параметров, определяющих условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, были выбраны исходя местоположения установки (Кинель-Черкасском районе, Самарской области вблизи г. Отрадный).

Были выбраны контрольные точки, расположенные на границе санитарно-защитной зоны предприятия «Самара- Нефтегаз» - нефтешламового амбара УКПН-2 и в прилегающих жилых зонах, отмеченных оранжевым цветом на рисунке 16.

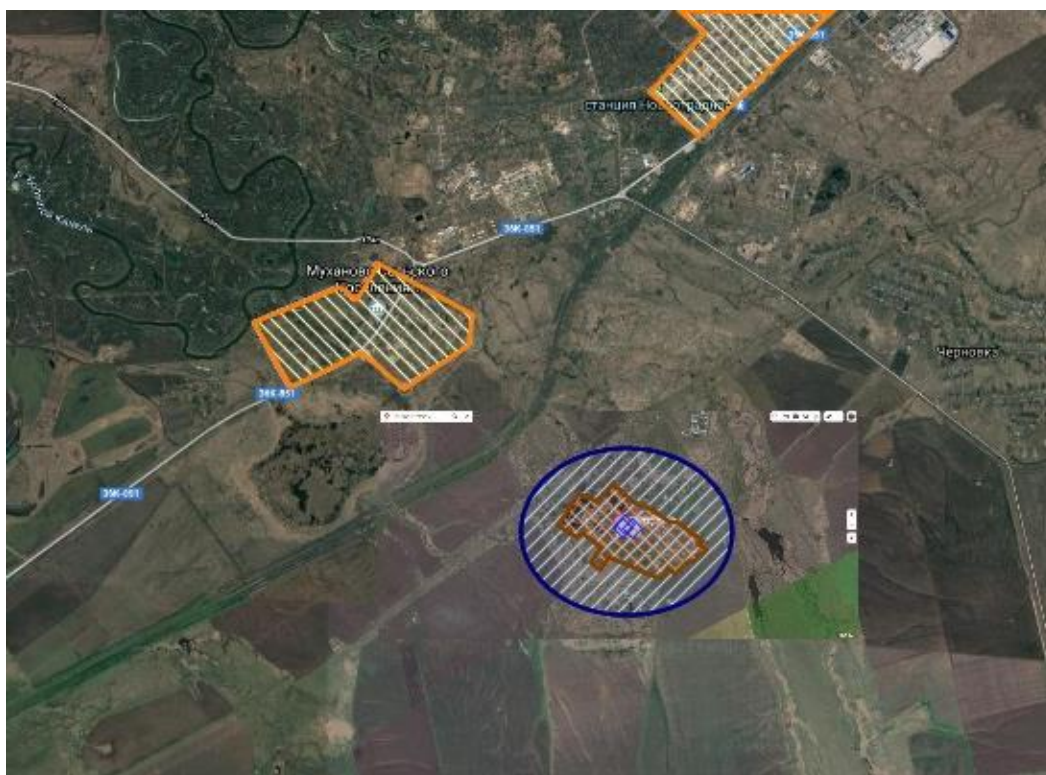


Рисунок 16 – Расположение установки ТДУ-2000 ЖДТ и прилегающих жилых зон

Рассмотрим результаты расчёта рассеивания выбросов до замены скруббера, которые приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты расчёта рассеивания

Наименование вещества	Выбросы, г/с	$C_m/ПДК$
1	2	3
Азота диоксид	0,0045951	0,04
Углерод (Сажа)	0,1511767	1,55
Сера диоксид	0,5012375	1,54
Углерод оксид	5,0015620	1,54
Бензапирен	0,0011772	0
Формальдегид	0,0023580	0,1
Пыль неорганическая 70-20 % SiO <sub>2</sub>	0,0018829	0,18

Исходя из результата расчета рассеивания выбросов загрязняющих веществ превышенные выбросы наблюдаются у следующих веществ:



- углерод;
- сера диоксид;
- углерод оксид.

Рассмотрим результаты расчета рассеивания выбросов после замены скруббера, приведенные в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты расчета рассеивания выбросов после замены скруббера

Наименование вещества	Выбросы, г/с	$C_m/ПДК$
Азота диоксид	0,0009190	0,01
Углерод (Сажа)	0,0302353	0,31
Сера диоксид	0,1002475	0,32
Углерод оксид	1,0003124	0,31
Бензапирен	0,0002358	0
Формальдегид	0,0000472	0
Пыль неорганическая 70-20 % SiO <sub>2</sub>	0,00003756	0,04

Исходя из результатов расчета рассеивания выбросов после замены скруббера выбросы загрязняющих веществ значительно снизились, отношение выбросов к ПДК стало меньше одного. Что свидетельствует о том, что предлагаемый скруббер Вентури наиболее эффективен, чем уже применяющийся полый скруббер.

Вывод по разделу:

В данном разделе был проведен расчёт предлагаемого скруббера Вентури. Проведен анализ негативного воздействия на окружающую среду до и после оптимизации технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ- 2000 ЖДТ.

## Заключение

Переработка нефтесодержащих отходов на сегодняшний день является одной из актуальных проблем, требующая системного подхода и анализа существующих способов и технологий, а также создание более новых, модернизированных методов, несущих ресурсосберегающие технологии.

Основным предметом рассмотрения в работе стал технологический процесс переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ-2000 ЖДТ, предназначенная для утилизации более 4600 видов отходов и позволяющая производить переработку отходов непосредственно на месте проведения аварийных работ.

В данной работе были выполнены следующие задачи:

- проведен анализ воздействия нефтешлама на окружающую среду;
- была предложена оптимизация технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ- 2000 ЖДТ;
- проведена оценка экологической эффективности оптимизации технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на типовой установке ТДУ- 2000 ЖДТ.

Предложенным вариантом оптимизации технологического процесса переработки нефтесодержащих отходов на установке ТДУ-2000 ЖДТ стала замена уже использующегося полого скруббера на скруббер Вентури.

В работе рассчитан материальный баланс камеры сжигания установки ТДУ-2000 ЖДТ, в результате чего вычислили объем отходящих газов и рассчитали скруббер Вентури.

В результате расчётов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферу до и после оптимизации технологического процесса, было выявлено снижение выбросов, что свидетельствует об эффективности использования скруббера Вентури.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Афанасьев С. В., Кравцова М. В., Паис М. А., Носарев Н. С. Анализ методов переработки нефтешламов. Проблемы и решения // Сборник и материалы Второй всероссийской научно-практической конференции «Инновации и «зеленые» технологии». 2019. С. 17-23.

2. Винокуров В.А. Способ переработки нефтяных отходов [Электронный ресурс] : — URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2606385C1\\_20170110](https://yandex.ru/patents/doc/RU2606385C1_20170110) (дата обращения 12.05.2020).

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

4. Гронь В. А., Коростевенко В. В., Шахраи С. Г., Капличенко Н. М., Галаико А. В. Проблема образования, переработки и утилизации нефтешламов // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 159-162.

4. Давыдова Л. С. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: учебное пособие; под ред. В. И. Тагасова. – М. : Изд-во РУДН. 2004. 263 с.

5. Дикинис А. В. Аспекты выбора технологий обезвреживания и утилизации опасных отходов / А. В. Дикинис, А.В. Илларионов, Д. В. Шилов // Экология и промышленность России. 2017. № 11. С. 52-55.

6. ИТС НДТ Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов). – 2015 [Электронный ресурс] : — URL: <https://strojdvor.ru/kanalizaciya/otstojnik-obsie-svedenia/> (дата обращения 17.05.2020).

7. Калинина Е. В. Анализ методов обезвреживания нефтесодержащих отходов / Е. В. Калинина, А. Г. Кочкина // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. 2015. Т.1. С. 85-99.

8. Нефтешламы: состояние проблемы в российской федерации и методы снижения их отрицательного воздействия на окружающую среду [Электронный ресурс] : — URL: <http://ecobiotech-journal.ru/2019/pdf/ecbtch1901075.pdf> (дата обращения 17.05.2020).

9. Коршунова Т. Ю. Нефтешламы: состояние проблемы в Российской Федерации и методы снижения их отрицательного воздействия на окружающую среду / Т. Ю. Коршунова, О. Н. Логинов // Экобиотехнология. 2019. Т. 2. № 1. С. 75-85.

10. Коршунова Т. Ю., Логинов О. Н. Нефтешламы: состояние проблемы в российской федерации и методы снижения их отрицательного воздействия на окружающую среду [Электронный ресурс] : — URL: <http://ecobiotech-journal.ru/2019/pdf/ecbtch1901075.pdf> (дата обращения 15.05.2020).

11. Курченко А. Б. Установка для переработки нефтяных шламов [Электронный ресурс] : — URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU16461U1\\_20010110](https://yandex.ru/patents/doc/RU16461U1_20010110) (дата обращения 12.05.2020).

12. Пащевская Н. В. Негативное влияние нефтепродуктов на окружающую природную среду и способы ее защиты // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2016. № 1 (25). С. 82-88.

13. Патент № SU 254325 A1 РФ. Мокрый центробежный скруббер // Величко В. П.

14. Патент № RU 2541019 C1 РФ. Скруббер Вентури с мелкодисперсным орошением// Бондарев В. В.

15. Патент RU 2664878 C1 РФ. Скруббер с подвижной насадкой // Кочетов О. С (РФ).

16. Обезвреживание нефтешламов термомеханическим методом [Электронный ресурс] : — URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/obezvozhivanie-nefteshlamov-termomehanicheskim-metodom/viewer> (дата обращения 12.05.2020).

17. Проблема образования, переработки и утилизации нефтешламов [Электронный ресурс] : — URL: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=32904> (дата обращения 15.05.2021).

18. Решетов П.А., Павлов В.Т. Способ переработки нефтесодержащих шламов [Электронный ресурс] : — URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2193578C2\\_20021127](https://yandex.ru/patents/doc/RU2193578C2_20021127) (дата обращения 12.05.2020).

19. Соколов Л. И. Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов / Л. И. Соколов. – М. : Инфра-Инженерия. 2017. 143 с.

20. Соловьянов А.А. Переработка нефтешламов с использованием химических и биологических методов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 5. С. 30-39.

21. Седнин В. А., О. Ф. Краецкая. Методические указания «Основы инженерных расчетов» // Экология промышленных теплотехнологий. 2018. С. 14-19

22. Способ переработки нефтяного шлама [Электронный ресурс] : - URL: [https://yandex.ru/patents/doc/SU426109A1\\_19740430](https://yandex.ru/patents/doc/SU426109A1_19740430) (дата обращения 12.12.2020).

23. Ташлыкова А. Н., Бузырева Н.В., Васина М. В. Обезвреживание нефтесодержащих отходов термическим методом // Исследования и разработки молодых ученых. 2017. С. 133-138. [Электронный ресурс] : — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30603658> (дата обращения 10.05.2020).

24. Технический регламент Мобильные термодеструкционные установки ТДУ Фактор-2000 (ТДУ-2000) [Электронный ресурс] : — URL : <http://www.dekanter.ru/en/detail.php?id=53> (дата обращения 15.05.2020).

25. Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО 2017) утвержден Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 N 242 (взамен ФККО 2016). Действует с 24 июня 2017. (в ред. Приказов Росприроднадзора от

20.07.2017 N 359, от 28.11.2017 N 566, от 02.11.2018 N 451) (вт.ч. с изменениями вст. В силу 08.12.2018) [Электронный ресурс] : — URL: <http://kod-fkko.ru/> (дата обращения 12.05.2021).

26. Хайрудинов И. Р. Способ переработки нефтяных отходов [Электронный ресурс] : URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2176660C1\\_20011210](https://yandex.ru/patents/doc/RU2176660C1_20011210) (дата обращения 12.05.2020).

27. Янин И. М. Проблема обезвреживания нефтешламов /И. М. Янин, Н. Л. Маркелова // Булатовские чтения. 2017. Т. 4. С. 252-254.

28. Composition and properties of petroleum sludge produced at the refineries [Электронный ресурс] : — URL: [http://science2016.lp.edu.ua/sites/default/files/Full\\_text\\_of\\_%20papers/full\\_text\\_57.pdf](http://science2016.lp.edu.ua/sites/default/files/Full_text_of_%20papers/full_text_57.pdf) (дата обращения 15.05.2021).

29. Modern Methods of Processing and Utilization of Oil Sludge [Электронный ресурс] : — URL: [http://www.intellectualarchive.com/Journal\\_Files/IAJ\\_2020\\_01\\_008.pdf](http://www.intellectualarchive.com/Journal_Files/IAJ_2020_01_008.pdf) (дата обращения 15.05.2021).

30. SenkevichI, Grigorov B. A Technological Processing of Oil Waste [Электронный ресурс] : — URL: [https://www.researchgate.net/publication/305820211\\_Technological\\_Processing\\_of\\_Oil\\_Waste](https://www.researchgate.net/publication/305820211_Technological_Processing_of_Oil_Waste) (дата обращения 12.05.2021)

31. Promising method of oil waste disposal [Электронный ресурс] : — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promising-method-of-oil-waste-disposal> (дата обращения 15.05.2021).

32. Technology and equipment for processing of oil and solid oil waste and liquid oily waste recycling [Электронный ресурс] : — URL: [http://edu.tltsu.ru/sites/sites\\_content/site1238/html/media72609/14Gordeev.pdf](http://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site1238/html/media72609/14Gordeev.pdf) (дата обращения 05.05.2021)

## Приложение А

### Расчет рассеивания выбросов

Таблица К. 1- Расчет рассеивания выбросов

Учет при расч.	№ ист.	Наименование источника	Вар.	Тип	Высота ист. (м)	Диаметр устья (м)	Объем ГВС (куб.м/с)	Скорость ГВС (м/с)	Плотность ГВС, (кг/куб.м)	Темп. ГВС (°С)	Ширина источ. (м)	Отклонение выброса, град		Коэф. рел.	Координаты			
												Угол	Направл.		X1 (м)	Y1 (м)	X2 (м)	Y2 (м)
№ пл.: 0, № цеха: 0																		
%	1	0001	1	1	6	0,28	0,25	4,00	1,29	200,00	0,00	-	-	1	1825,00	-4087,50		
Лето																		
Зима																		
Код в-ва	Наименование вещества					Выброс, (г/с)	Выброс, (т/г)	F	См/ПДК		Xm	Um	См/ПДК		Xm	Um		
0328	Углерод (Сажа)					0,1500000	0,000000	1	1,54		46,79	1,26	1,43		48,87	1,33		
0330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)					0,5000000	0,000000	1	1,54		46,79	1,26	1,43		48,87	1,33		
0337	Углерод оксид					5,0000000	0,000000	1	1,54		46,79	1,26	1,43		48,87	1,33		
0703	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)					0,0000010	0,000000	1	0,00		46,79	1,26	0,00		48,87	1,33		
%	2	0002	1	1	6	0,28	0,25	4,00	1,29	200,00	0,00	-	-	1	-364,50	-3868,50		
Лето																		
Зима																		
Код в-ва	Наименование вещества					Выброс, (г/с)	Выброс, (т/г)	F	См/ПДК		Xm	Um	См/ПДК		Xm	Um		
0301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)					0,0045951	0,000000	1	0,04		47,05	1,27	0,03		49,14	1,34		
0328	Углерод (Сажа)					0,0011767	0,000000	1	0,01		47,05	1,27	0,01		49,14	1,34		
0330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)					0,0012375	0,000000	1	0,00		47,05	1,27	0,00		49,14	1,34		
0337	Углерод оксид					0,0015620	0,000000	1	0,00		47,05	1,27	0,00		49,14	1,34		
0703	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)					0,0011767	0,000000	1	0,00		47,05	1,27	0,00		49,14	1,34		
1325	Формальдегид					0,0002358	0,000000	1	0,01		47,05	1,27	0,01		49,14	1,34		
%	3	6001	1	1	2	1,78	0,25	0,10	1,29	20,00	0,00	-	-	1	73,50	-3211,50		
Лето																		
Зима																		
Код в-ва	Наименование вещества					Выброс, (г/с)	Выброс, (т/г)	F	См/ПДК		Xm	Um	См/ПДК		Xm	Um		
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO2					0,0018829	0,000000	1	0,18		11,40	0,50	0,22		11,45	1,01		

## Продолжение Приложения А

Таблица К. 2 - Расчет рассеивания выбросов по веществам

### Вещество: 0301 Азота диоксид (Азот (IV) оксид)

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	2	1	0,0045951	1	0,04	47,05	1,27	0,03	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,0045951</b>		<b>0,04</b>			<b>0,03</b>		

### Вещество: 0328 Углерод (Сажа)

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	1	1	0,1500000	1	1,54	46,79	1,26	1,43	48,87	1,33
0	0	2	1	0,0011767	1	0,01	47,05	1,27	0,01	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,1511767</b>		<b>1,55</b>			<b>1,44</b>		

### Вещество: 0330 Сера диоксид (Ангидрид сернистый)

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	1	1	0,5000000	1	1,54	46,79	1,26	1,43	48,87	1,33
0	0	2	1	0,0012375	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,5012375</b>		<b>1,54</b>			<b>1,43</b>		

### Вещество: 0337 Углерод оксид

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	1	1	5,0000000	1	1,54	46,79	1,26	1,43	48,87	1,33
0	0	2	1	0,0015620	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>5,0015620</b>		<b>1,54</b>			<b>1,43</b>		

### Вещество: 0703 Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	1	1	0,0000010	1	0,00	46,79	1,26	0,00	48,87	1,33
0	0	2	1	0,0011767	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,0011777</b>		<b>0,00</b>			<b>0,00</b>		

### Вещество: 1325 Формальдегид

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um



## Продолжение Приложения А

### Продолжение таблицы К.2

0	0	2	1	0,0002358	1	0,01	47,05	1,27	0,01	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,0002358</b>		<b>0,01</b>			<b>0,01</b>		

#### Вещество: 2908 Пыль неорганическая: 70-20% SiO<sub>2</sub>

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Хм	Um	См/ПДК	Хм	Um
0	0	3	1	0,0018829	1	0,18	11,40	0,50	0,22	11,45	1,01
<b>Итого:</b>				<b>0,0018829</b>		<b>0,18</b>			<b>0,22</b>		

# Приложение Б

## Расчет рассеивания после установки скруббера

Таблица К. 3- Расчет рассеивания выбросов

Учет при расч.	№ ист.	Наименование источника	Вар.	Тип	Высота ист. (м)	Диаметр устья (м)	Объем ГВС (куб.м/с)	Скорость ГВС (м/с)	Плотность ГВС, (кг/куб.м)	Темп. ГВС (°С)	Ширина источ. (м)	Отклонение выброса, град		Коэф. рел.	Координаты			
												Угол	Направл.		X1 (м)	Y1 (м)	X2 (м)	Y2 (м)
№ пл.: 0, № цеха: 0																		
%	1	0001	1	1	6	0,28	0,25	4,00	1,29	200,00	0,00	-	-	1	1825,00	-4087,50		
										Лето			Зима					
Код в-ва	Наименование вещества					Выброс, (т/с)	Выброс, (т/г)	F	См/ПДК		Xm	Um	См/ПДК		Xm	Um		
0328	Углерод (Сажа)					0,0300000	0,0000000	1	0,31	46,79	1,26	0,29	48,87	1,33				
0330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)					0,1000000	0,0000000	1	0,31	46,79	1,26	0,29	48,87	1,33				
0337	Углерод оксид					1,0000000	0,0000000	1	0,31	46,79	1,26	0,29	48,87	1,33				
0703	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)					0,0000005	0,0000000	1	0,00	46,79	1,26	0,00	48,87	1,33				
%	2	0002	1	1	6	0,28	0,25	4,00	1,29	200,00	0,00	-	-	1	-364,50	-3868,50		
										Лето			Зима					
Код в-ва	Наименование вещества					Выброс, (т/с)	Выброс, (т/г)	F	См/ПДК		Xm	Um	См/ПДК		Xm	Um		
0301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)					0,0009190	0,0000000	1	0,01	47,05	1,27	0,01	49,14	1,34				
0328	Углерод (Сажа)					0,0002353	0,0000000	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34				
0330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)					0,0002475	0,0000000	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34				
0337	Углерод оксид					0,0003124	0,0000000	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34				
0703	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)					0,0002353	0,0000000	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34				
1325	Формальдегид					0,0000472	0,0000000	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34				
%	3	6001	1	1	2	1,78	0,25	0,10	1,29	20,00	0,00	-	-	1	73,50	-3211,50		
										Лето			Зима					
Код в-ва	Наименование вещества					Выброс, (т/с)	Выброс, (т/г)	F	См/ПДК		Xm	Um	См/ПДК		Xm	Um		
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO2					0,0003766	0,0000000	1	0,04	11,40	0,50	0,04	11,45	1,01				

## Продолжение Приложения Б

### Таблица К. 4 - Расчет рассеивания выбросов по веществам

#### Вещество: 0301 Азота диоксид (Азот (IV) оксид)

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	2	1	0,0009190	1	0,01	47,05	1,27	0,01	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,0009190</b>		<b>0,01</b>			<b>0,01</b>		

#### Вещество: 0328 Углерод (Сажа)

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	1	1	0,0300000	1	0,31	46,79	1,26	0,29	48,87	1,33
0	0	2	1	0,0002353	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,0302353</b>		<b>0,31</b>			<b>0,29</b>		

#### Вещество: 0330 Сера диоксид (Ангидрид сернистый)

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	1	1	0,1000000	1	0,31	46,79	1,26	0,29	48,87	1,33
0	0	2	1	0,0002475	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,1002475</b>		<b>0,31</b>			<b>0,29</b>		

#### Вещество: 0337 Углерод оксид

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	1	1	1,0000000	1	0,31	46,79	1,26	0,29	48,87	1,33
0	0	2	1	0,0003124	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>1,0003124</b>		<b>0,31</b>			<b>0,29</b>		

#### Вещество: 0703 Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	1	1	0,0000005	1	0,00	46,79	1,26	0,00	48,87	1,33
0	0	2	1	0,0002353	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,0002358</b>		<b>0,00</b>			<b>0,00</b>		

#### Вещество: 1325 Формальдегид

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um

## Продолжение Приложения Б

### Продолжение таблицы К.4

0	0	2	1	0,0000472	1	0,00	47,05	1,27	0,00	49,14	1,34
<b>Итого:</b>				<b>0,0000472</b>		<b>0,00</b>			<b>0,00</b>		

#### Вещество: 2908 Пыль неорганическая: 70-20% SiO<sub>2</sub>

№ пл.	№ цех.	№ ист.	Тип	Выброс (г/с)	F	Лето			Зима		
						См/ПДК	Xm	Um	См/ПДК	Xm	Um
0	0	3	1	0,0003766	1	0,04	11,40	0,50	0,04	11,45	1,01
<b>Итого:</b>				<b>0,0003766</b>		<b>0,04</b>			<b>0,04</b>		

## Приложение В

### Чертеж скруббера Вентури

Слобод. □□	Перев. поимен.																																																																								
Минв. □□□□□□	Подп. и дата																																																																								
Взам. инв. □□□□□□	Минв. □□□□□□	Подп. и дата	Минв. □□□□□□	Подп. и дата	Минв. □□□□□□	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">Зона</th> <th style="width: 10%;">Поз. обозначение</th> <th style="width: 50%;">Наименование</th> <th style="width: 10%;">Кол.</th> <th style="width: 15%;">Примечание</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Карпус</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Труба - распылитель</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Форсунка</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Зона	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		1	Карпус	1			2	Труба - распылитель	1			3	Форсунка	6																																												
Зона	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание																																																																					
	1	Карпус	1																																																																						
	2	Труба - распылитель	1																																																																						
	3	Форсунка	6																																																																						
Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Изм.</th> <th style="width: 10%;">Лист</th> <th style="width: 15%;">С.Докум.</th> <th style="width: 10%;">Подп.</th> <th style="width: 10%;">Дата</th> <th style="width: 45%;">Скоростной пылеуловитель МС-ВТИ-2800 Чертеж общего вида</th> <th style="width: 10%;">Лист</th> <th style="width: 10%;">Масса</th> <th style="width: 10%;">Масштаб</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">1:100</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Разработ. Антипова Е.О.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Пров. Чариков Ю.В.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Изм.	Лист	С.Докум.	Подп.	Дата	Скоростной пылеуловитель МС-ВТИ-2800 Чертеж общего вида	Лист	Масса	Масштаб									1:100			Разработ. Антипова Е.О.									Пров. Чариков Ю.В.									Т.контр.									Н.контр.									Утв.						
Изм.	Лист	С.Докум.	Подп.	Дата	Скоростной пылеуловитель МС-ВТИ-2800 Чертеж общего вида	Лист	Масса	Масштаб																																																																	
								1:100																																																																	
		Разработ. Антипова Е.О.																																																																							
		Пров. Чариков Ю.В.																																																																							
		Т.контр.																																																																							
		Н.контр.																																																																							
		Утв.																																																																							
Минв. □□□□□□	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Лист</th> <th style="width: 10%;">Листов</th> <th style="width: 80%;">1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">ТГУ, ИХиЭ, зр. ЭРТб-1701а</td> </tr> </tbody> </table>					Лист	Листов	1			ТГУ, ИХиЭ, зр. ЭРТб-1701а																																																									
Лист	Листов	1																																																																							
		ТГУ, ИХиЭ, зр. ЭРТб-1701а																																																																							
Копировал						Формат А4																																																																			

Рисунок В 1. – Чертеж общего вида скрубера Вентури