

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 технологии получения органо-минеральных удобрений из осадков  
сточных вод

Обучающийся

А.В. Бозин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

К.п.н., доцент, Кравцова М.В.

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

## Аннотация

Выпускную квалификационную работу выполнил: Бозин А.В.

Тема выпускной квалификационной работы: «Оптимизация технологии получения органоминеральных удобрений из осадков сточных вод»

Руководитель: Кравцова М.В.

Целью работы является разработка технологии получения органоминеральных удобрений из осадков сточных вод.

Выпускная квалификационная работа изложена на 67 листах, включает 23 таблиц, 14 рисунков, список из 36 используемых источников. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх разделов, заключения и списка используемых источников.

В первом разделе проведены анализ проблемы образования осадков сточных вод и методы их утилизации.

Во втором разделе приведен анализ осадков сточных вод на соответствие заявленным требованиям для использования его в качестве сырья для получения органоминерального удобрения.

В третьем разделе осуществлен выбор подобрана установка для пиролиза.

В заключении приведены основные выводы о проделанной работе.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Optimization of technology for obtaining organic fertilizer from sewage sludge».

The graduation work consists of an introduction, three parts, a conclusion, tables, list of references including foreign sources.

The key issue of the work is optimization the processes of obtaining organic fertilizer from sewage sludge by selecting the optimal equipment.

The aim of the work is to develop a technology for obtaining organic fertilizer from sewage sludge.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are analysis of wastewater research methods as standards; justification of the need to use a mixture of wastewater as food; technical solution for obtaining organic fertilizer based on a mixture of wastewater; selection of equipment for a given technological process; calculation of the material balance and the economic part of the technological process.

Finally, we present a paper on the successful experience of processing sewage sludge into organic fertilizers.

In conclusion we'd like to stress this work is aimed at solving the problems of sewage sludge recycling by processing them into organomineral fertilizers, i.e. their secondary use.

Nevertheless, more experimental data are required.

## Содержание

Введение.....	6
1 Теоретический анализ проблемы использования отходов осадка сточных вод в качестве органоминерального удобрения .....	8
1.1 Анализ образования отходов осадка сточных вод .....	8
1.2 Использование отходов осадка сточных вод в качестве удобрения	11
1.3 Требования к отходу осадка сточных вод для его дальнейшего использования в качестве сырья для производства органоминерального удобрения .....	14
1.5 Патентный поиск в области методов переработки отхода осадка сточных вод в органоминеральные удобрения .....	19
2 Разработка способа переработки отхода осадка сточных вод в органоминеральные удобрения .....	25
2.1 Экспериментальные исследования отхода осадка сточных вод .....	25
3 Моделирование процесса пиролиза осадков сточных вод .....	31
3.1 Описание физической модели процесса пиролиза осадков сточных вод в лабораторных условиях .....	31
3.2 Химический анализ модельной смеси пробы осадка сточных вод .	34
3.3 Разработка способов улучшения стабильности показателей отработанного активного ила для соответствия критериям ГОСТ Р 54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод» .....	36
3.4 Установка переработки осадков сточных вод при получении вторичного сырья .....	39
3.5 Выбор оборудования для оптимизации технологического процесса .....	42

3.6 Расчеты технологической линии производства органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод .....	50
Заключение .....	61
Список используемой литературы и используемых источников .....	63

## Введение

В настоящее время образуется большое количество сточных вод и, как следствие, образуется большое количество осадков сточных вод после их переработки. Размещение отходов сточных вод производится на иловых полях, которые отчуждают огромные территории. В мире образуется приблизительно 83 млн тонн в год осадков сточных вод (ОСВ), с учетом влажности общая масса мировых осадков составляет приблизительно 4,15 млрд. тонн, из которых 100 миллионов тонн образуются в России. В условиях повышения требований к рациональному использованию природных ресурсов возникает необходимость их эффективного использования или утилизации. На территории городского округа Тольятти находятся несколько объектов (биологических очистных сооружений), на которых образуется осадки сточных вод, размещение которых осуществляется на иловых полях, что негативно влияет в целом на окружающую среду и снижает возможность рационального использования природных ресурсов, в частности земельного ресурса.

В результате биологической очистки сточных вод, основанной на питании микроорганизмов органическими веществами (белками, углеводами, органическими веществами и т.п.), которые находятся в сточных водах, образуется приблизительно 15,8 тонн в сутки отхода осадка сточных вод.

«Осадки образуются непрерывно и относятся к крупнотоннажным отходам. Длительное накопление на территории очистных сооружений и сооружениях водоподготовки сточных вод практически невозможно, так как может привести к нарушению технологического режима работы сооружений и оказать неблагоприятное влияние на окружающую среду в связи развития микробиологических элементов» [2].

Осадки сточных вод представляют собой сотни тысяч тонн органических отходов, содержащие в себе минеральные и органические вещества, которые были выведены в процессе очистки сточных вод, а это

означает, что отходы осадков сточных вод можно использовать в качестве сырья для производства органоминеральных удобрений.

Объект исследования: способы получения органоминерального удобрения из отходов осадка сточных вод.

Предмет исследования: отход осадка сточных вод с очистных сооружений промышленных предприятий.

Цель: получение органоминерального удобрения из отходов осадка сточных вод.

Задачи:

- провести анализ методов получения удобрения из отхода осадка сточных вод;
- провести анализ качественного состава отхода осадка сточных вод очистных сооружений промышленных предприятий для дальнейшего использования их в качестве сырья для производства органоминерального удобрения;
- предложить техническое решение по получению органоминерального удобрения на основе отхода осадка сточных вод.

# 1 Теоретический анализ проблемы использования отходов осадка сточных вод в качестве органоминерального удобрения

## 1.1 Анализ образования отходов осадка сточных вод

### 1.1.1 Образование отходов осадка сточных вод

Осадки сточных вод являются водными суспензиями минеральных и органических веществ различного состава и происхождения, которые получают из сточных вод в процессе их механической, биологической или физико-химической очистки с концентрацией твердой фазы от 0,5 до 10%. В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки первичные и вторичные. Классификация осадков сточных вод представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация осадков сточных вод [1]

«Группы	Типы осадков	Сооружения и оборудование, отделяющее осадки
1	2	3
«Первичные - грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле.		
1	Грубые	Решетки, сита
2	Тяжёлые	Песколовки
3	Плавающие	Жировики, отстойники
4	Сырые, выделенные из сточной воды в результате механической очистки	Отстойники первичные, осветлители»
«Вторичные – примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессах биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образуют твердую фазу.		
5	Сырые, выделенные из сточной воды после биологической или физико-химической очистки	Отстойники вторичные, флотаторы
6	Сброженные, прошедшие обработку в анаэробных перегнивателях, метантенках, и осадки стабилизированные в аэробных стабилизаторах	Септики, двухъярусные отстойники, осветлители перегниватели, метантенки, аэробные стабилизаторы



Продолжение таблицы 1

1	2	3
7	Уплотненные, подвергнутые сгущению до предела текучести (до влажности 90 – 85 %)	Уплотнители: гравитационные, флотационные, сепараторы
8	Обезвоженные, подвергнутые сгущению до влажности 80 – 40 %	Иловые площадки, вакуумфильтры, фильтр-прессы, центрифуги и др
9	Сухие, подвергнутые термической сушке до влажности 5 – 40 %	Сушилки: барабанные, вальцовые, с кипящим слоем, со встречными струями»

К самым опасным компонентам осадков сточных вод стоит отнести химические элементы и патогенную микрофлору. К загрязнителям химической природы стоит отнести кислоты и щелочи, а также тяжелые металлы.

«Сооружения механической очистки включают в себя решетки, песколовки и первичные отстойники. Решетки предназначены для задержания крупных загрязнений, преимущественно органического происхождения – бумага, волокнистые вещества, кухонные отбросы и др. Песколовки служат для улавливания примесей минерального происхождения, главным образом песка и стекла. Попадание минеральных примесей в отстойники и другие сооружения затрудняет удаление и обработку основной массы образующихся осадков. Слипание органических примесей с минеральными затрудняет передвижение осадка к выпускным отверстиям, а, следовательно, и его удаление» [6]. «Первичные отстойники нужны для задержания плавающих примесей, в составе которых присутствуют отходы растительного и животного происхождения. Из себя они представляют студенистую вязкую массу с очень высокой долей влажности. Образующиеся осадки легко гниют и хорошо удерживают воду. Таким образом, после механической очистки на последующую обработку идут сточные воды без крупных примесей в своем составе. Песок, отобранный на песколовках, имеет влажность 60 % и подается на песковые площадки для просушки. Как правило, в песколовках задерживается только 65 % всего количества песка, содержащегося в сточных

водах» [28]. Осадок, полученный в первичных отстойниках, затем подается на дальнейшую обработку. Схема того, как образуются осадки сточных вод представлена на рисунке 1.

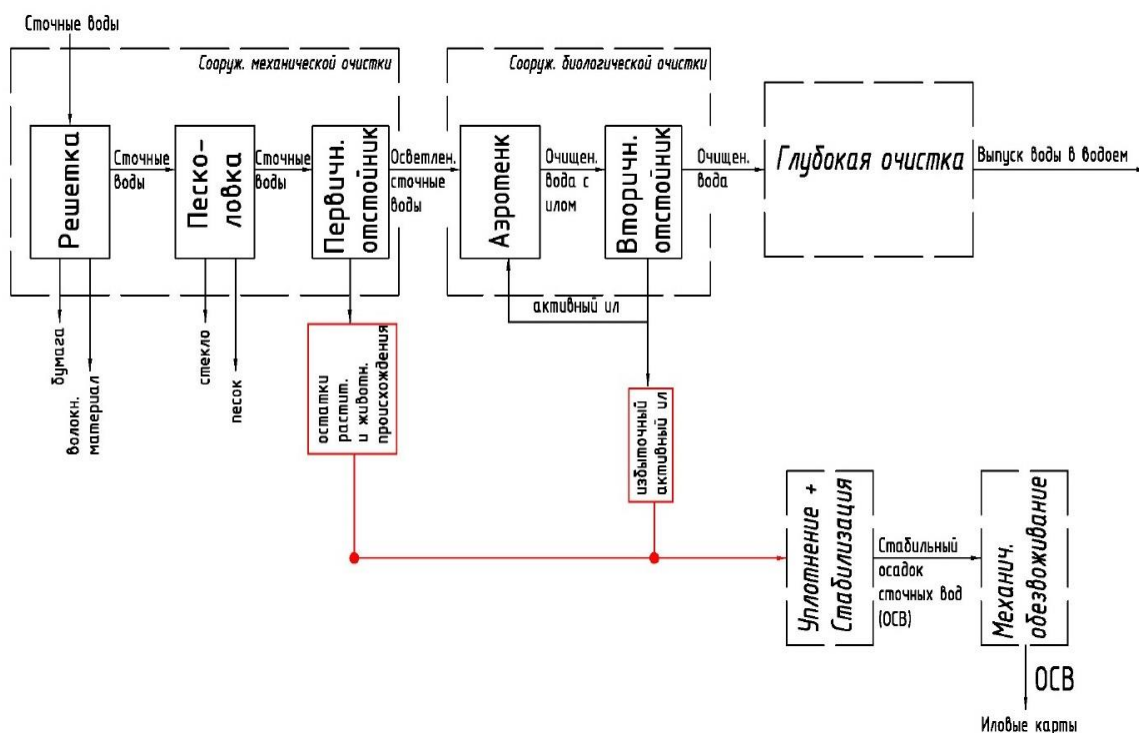


Рисунок 1 – Схема очистки сточных вод и образования осадков сточных вод

«Биологическая очистка сточных вод начинается в аэротенках, где активный ил играет важную роль в системе очистки. Далее сточные воды поступают на вторичные отстойники, где происходит отстаивание и удаление избыточного отработанного ила. Часть избыточного ила поступает обратно в аэротенки, а другая часть поступает в уплотнитель, от куда поступает в резервуар сырого осадка, после чего уплотненный ил и сырой осадок поступает в метантенки, где в течении 20 - 22 часов под температурой 30 - 36 градусов, происходит обработка осадка. Откуда одна часть осадка с помощью насосов откачивается на иловые поля, а другая часть осадка поступает на обезвоживание, с последующей фильтрации, которая в дальнейшем попадает на иловые полигоны» [19].

## **1.2 Использование отходов осадка сточных вод в качестве удобрения**

«Отходы осадка сточных вод содержат значительно много всяких биогенных веществ — азот, фосфор, калий. Наряду с органическим веществом и микроэлементами они определяют удобрительную ценность различных видов отходов осадка сточных вод» [7].

«Отход осадка сточных вод обладает высоким ценным удобрительным потенциалом. Он известен как богатый источник питательных веществ: сухих веществ; белка, азота, фосфора, калия. Кроме того, он включает в себя большое количество органических веществ, что может способствовать биодоступности макро – и микроэлементов и улучшению структуры почвы. Осадок сточных вод обычно включает патогенные микроорганизмы и токсичные соединения, различается по своему химическому составу и физическим свойствам, важно найти локальное решение проблемы его утилизации» [8].

Для повышения содержания органических веществ в отходе осадка сточных вод используются добавки. Например, в Ботаническом саду КубГАУ был заложен вегетационный опыт в сосудах с количеством почвы 6 кг. Изучение отхода осадка сточных вод проводилось в следующих вариантах: 1) почва (контроль), 2) почва + 360 г отхода осадка сточных вод (из расчета 60 т/га), 3) почва + 360 г отхода осадка сточных вод + 120 г фосфогипса (20 т/га), 4) почва + 360 г отхода осадка сточных вод + 120 г фосфогипса + 12 г опилок (2 т/га). Повторность опыта 10 - кратная. В каждый сосуд высевали по семь семян озимой пшеницы на глубину 5 см; после всходов оставляли по три растения. Применение осадков сточных вод и фосфогипса заметно сказалось на агрохимических показателях почвы в вегетационных опытах как первого года исследования, так и в последствии [3].

Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Агрохимические показатели почвы, 2010 – 2011 гг. [3]

«Вариант	Органическое вещество, %		N <sub>общ</sub> , %		NO <sub>3</sub> , мг/кг		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг		рН	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
«Контроль	3,13	3,02	0,14	0,24	18,00	19,24	185,10	196,59	7,14	7,10
ООСВ	4,53	3,99	0,19	0,35	26,45	24,80	208,47	252,35	7,05	7,01
ООСВ + ФГ	4,67	4,22	0,20	0,38	41,45	34,60	314,72	327,02	7,01	6,98
ООСВ + ФГ + опилки	4,87	4,34	0,20	0,39	44,75	35,40	322,57	314,57	7,04	7,01»

В результате отчётливо видно, что отход осадка сточных вод заметно повышает содержание органики от 3,13 до 4,53%, а добавление фосфогипса и опилок еще сильнее повышают данный показатель, поэтому можно с уверенностью сказать о благоприятном влиянии смеси отхода осадка сточных вод, опилок и фосфогипса на содержание органики. Следовательно, повышение органического вещества оказывает благоприятное влияние на почвенный покров, и значительно способствует накоплению нитратного азота, а также подвижного фосфора. Показатели рН почвы соответствуют нейтральной среде. Результаты исследования различных авторов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание химических элементов в почвенных образцах [3]

«Вариант	Ca, %		Si, %		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , %	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
«Контроль	0,44	0,32	1,64	1,69	0,06	0,06
ООСВ	1,02	0,88	1,66	3,07	0,07	0,06
ООСВ + ФГ	1,30	1,12	1,76	3,62	0,20	0,28
ООСВ + ФГ + опилки	1,56	1,36	2,39	3,37	0,11	0,09»

«Массовая доля влаги в зерне озимой пшеницы в норме. Особое внимание следует обратить на содержание клейковины. Например, при внесении отхода осадка сточных вод содержание клейковины увеличивается на 4,7% по сравнению с контролем, а совместное применение отхода осадка

сточных вод с фосфогипсом увеличивает этот показатель до 5,7%. Еще более высокий уровень содержания клейковины отмечается при использовании тройной смеси: отхода осадка сточных вод, фосфогипса и опилок; разница с контролем здесь достигает 8,7%» [8].

«На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что компосты, включающие отход осадка сточных вод, фосфогипс и опилки как первоначально, так и впоследствии оказывают влияние на физические и химические свойства почв, морфологические особенности развития растений озимой пшеницы и существенно улучшают качество ее зерна» [3].

«Исследования применения отхода осадка сточных вод в качестве удобрения также были рассмотрены в статье «Изменение морфологических и биохимических показателей сои при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения авторы Иваченко Л.Е., К.А., Ковалев Н.Н. «Опыт проводили в трех вариантах:

- в почву вносился отход осадка сточных вод с иловых полей;
- в почву вносился отход осадка сточных вод цеха механического обезвоживания;
- в почву вносился компост на основе отхода осадка сточных вод с иловых полей.

В качестве контроля использовали почву без внесения отхода осадка сточных вод. Сам же отход вносился под сою в период предпосевной подготовки почвы в количестве 20, 40 и 60 кг на поле площадью 10 м<sup>2</sup>» [8].

«Перед закладкой опыта химический состав осадков сточных вод, подготовленный по разным технологиям, указанным выше, был исследован на содержание тяжелых металлов методом инверсионной вольтамперометрии. Превышений ПДК по содержанию исследуемых микроэлементов, как для отхода осадка сточных вод, так и для почв опытного участка, не выявлено. Установлено, что отходы с иловых полей содержат наибольшее количество цинка, а компост на основе отхода осадка сточных вод с иловых полей значительно обогащен свинцом, кадмием и медью» [7].

«Таким образом, можно сделать вывод, что использование отхода осадка сточных вод в качестве удобрения увеличивает урожайность. В основном это сказывается на количестве и массе плодов, наибольший прирост которых дает отход осадка сточных вод с иловых полей в концентрации 40 кг на 10 м<sup>2</sup> и отход осадка сточных вод из цеха механического обезвоживания в концентрации 60 кг на 10 м<sup>2</sup>. Использование отхода осадка сточных вод в качестве удобрения значительно повышает активность основных ферментов. Можно сделать вывод, что изменение биохимических характеристик ферментов сои является показателем степени стрессорного воздействия, которое характеризует достаточно высокую адаптивность данного сорта условиям выращивания» [7].

«Значительное повышение урожайности и отсутствие негативного влияния на хозяйственно - ценные признаки, позволяют рекомендовать отход осадка сточных вод в качестве удобрения» [7].

### **1.3 Требования к отходу осадка сточных вод для его дальнейшего использования в качестве сырья для производства органоминерального удобрения**

«Органоминеральные удобрения представляют собой смесь органического компонента с минеральными элементами. Причем органика в данном случае выполняет роль основы.

Органическая форма в таких удобрениях достигает 40 – 60%, и производят их в формах:

- гранулированные – наиболее распространенные, так как характеризуются хорошей сыпучестью, удобны для хранения и механизированного внесения;
- жидкие – представляют собой питательные концентрированные вытяжки, которые перед применением разбавляются водой и используются

для опрыскивания по листу или внесения в корневую зону с капельным поливом» [9].

«Наряду с питательными веществами, в составе отхода осадка сточных вод промышленных предприятий могут содержаться в токсичных количествах такие вещества как тяжелые металлы, органические соединения, патогенная флора, яйца гельминтов. Всё это следует учитывать при использовании отхода осадка сточных вод в качестве удобрения.

Условиями для применения отхода осадка сточных вод в качестве удобрения являются обеззараживание, предельно допустимое содержание потенциально опасных элементов и веществ, пригодность по физическим свойствам» [8].

Прежде чем использовать отход осадка сточных вод в качестве органического удобрения, необходимо установить соответствие требованиям нормативных документов, а именно соответствие требованиям ГОСТа Р 54651 – 2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод, технические условия» [5], а также необходимо соблюдать требования ГОСТа Р 17.4.3.07 – 2001 «Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» [4], требования которого исключают использование осадков, содержащих токсичные вещества I и II классов опасности.

С целью упорядочения использования отхода осадков сточных вод для удобрения почв в 1995 г. были разработаны и утверждены Минсельхозпродом РФ «Требования к качеству сточных вод и их осадков, используемых для орошения и удобрения», на основании которых в 1997 г. были утверждены Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения» (СанПиН 2.1.7.573 - 96) [20].

Таким образом, отход осадка сточных вод можно использовать в том случае, если придерживаться условий:

– «предприятие соблюдения требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001, ФЗ от 27.12. 2002 г. № 184 – ФЗ «О техническом регулировании»» [24] и другие нормативные документы.

– предприятие указывает в документах, что осадок используется в качестве товара.

Отходы осадка сточных вод могут применяться как органические или комплексные органические удобрения, если они соответствуют требованиям (нормативам), приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Агрохимические показатели осадков [4]

Наименование показателя	Норма	Метод определения
1	2	3
«Массовая доля органических веществ, % на сухое вещество, не менее	20	ГОСТ 26213-91
Реакция среды (рН)	6,0 - 8,0	ГОСТ 26483-85 (ред. от 12.09.2018)
Массовая доля общего азота (N), % на сухое вещество, не менее	0,6	ГОСТ 26715-85 (ред. от 12.09.2018)
Массовая доля общего фосфора (PO), % на сухое вещество, не менее	1,5	ГОСТ 26717-85 (ред. от 12.09.2018)»

Получается, что отходы осадка сточных вод, которые имеют значение реакции среды (рН-вытяжки) более 8,0, могут применяться на кислых почвах.

По содержанию тяжелых металлов и мышьяка осадки при сельскохозяйственном применении делятся на две группы (таблица 5) на основе результатов химического анализа по методам в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009; если содержание хотя бы одного элемента превышает его допустимый уровень для группы I, то осадки относят к группе II.



Таблица 5 – Допустимое содержание валовых форм тяжёлых металлов и мышьяка в осадках [4]

Наименование металла	Концентрация, мг/кг сухого вещества, не более, для осадков группы	
	I	II
«Свинец (Pb)	250	500
Кадмий (Cd)	15	30
Никель (Ni)	200	400
Хром (Cr)	500	1000
Цинк (Zn)	1750	3500
Медь (Cu)	750	1500
Ртуть (Hg)	7,5	15
Мышьяк (As)	10	20»

«Осадки группы I вносят под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зеленных и земляники. Осадки группы II вносят под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры. Осадки групп I и II применяют в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации нарушенных почв и полигонов твердых бытовых отходов. Внесение осадка в качестве удобрения запрещается, если предельно допустимая концентрация любого из нормируемых загрязнений в почве превышает 0,8» [4].

По санитарно-бактериологическим и паразитологическим показателям отходы осадка сточных вод должны соответствовать требованиям таблицы 6.

Таблица 6 – Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков [4]

Наименование показателя	Норма для осадков группы		Методика определения
	I	II	
«Бактерии группы кишечной палочки, клеток/г осадка фактической влажности»	100	1000	МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая оценка почвы населенных мест
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/г	Отсутствует	Отсутствие	
Яйца геогельминтов и цисты кишечных патогенных простейших, экз./кг осадка фактической влажности, не более	Отсутствие	Отсутствие	МУК 4.2.796-99 Методы санитарно-паразитологических исследований окружающей среды МЗ РФ 2000 г.» [4]

«Отход осадка сточных вод должен обладать удобрительной ценностью. Для установления удобрительной ценности в каждой партии отходов определяются рН, содержание сухого вещества, органического (беззольного) вещества, общего азота (N), минерального азота (N-NO и N-NH), общего фосфора (PO), общего калия (КО), общего кальция (СаО)» [22].

## 1.5 Патентный поиск в области методов переработки отхода осадка сточных вод в органоминеральные удобрения

Проведен патентный поиск по теме исследования. Результаты поиска указаны в таблице 7.

Таблица 7 – Патентный поиск способов переработки отхода осадка сточных вод, используемый для производства органоминеральных удобрений

Патент	Основные характеристики	Итоговый продукт	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
«Патент № 2 712 664 С1 «Способ переработки осадков сточных вод на органоминеральные удобрения»» [18]	В патенте предлагается способ получения органоминерального удобрения из осадков сточных вод, которые предварительно кондиционируют органическими флокулянтами в дозе 4 – 9 мг/л. Полученный кек обрабатывают и одновременно обеззараживают за счет повышения температуры до 80°C. Обезвоживание осадка осуществляют на фильтр-прессах. Затем обезвоженный осадок подсушивают до влажности 50 % и смешивают с навозом в качестве органического компонента в объемном соотношении 0,5:0,5 при периодическом перемешивании полученной смеси.	Комплексное органоминеральное удобрение	Способ позволяет получить удобрение с содержанием органического вещества – 75%.	Данный способ имеет многостадийный и достаточно сложный процесс, а также он довольно сложный и требует больших энергетических и материальных затрат.

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
<p>«Патент № RU 2 220 923 С1 «Способ переработки избыточного активного ила, содержащего тяжелые металлы»» [13]</p>	<p>«Обезвреживание активного ила и стабилизированных осадков при очистке сточных вод в промышленных предприятий и коммунальных хозяйств, и утилизацию их в сельском хозяйств. В активный ил и стабилизированный осадок первичных отстойников вводят 10 – 25 кг/м<sup>3</sup> кальцийсодержащего материала и перемешивают аэрацией в течение 1 – 4 ч. После этого фазы разделяют и выделяют тяжелые металлы, кальций содержащий материал подают порциями в течение 30 мин от начала аэрации. После аэрации смесь подвергают обработке ультрафиолетовым излучением в течение 10 – 60 с.» [13].</p>	<p>Органоминеральное удобрение</p>	<p>Данный способ позволяет существенно уменьшать объемы твердых фаз илов и «осадков сточных вод, а также создает возможности экономными методами обеспечить условия для последующей утилизации осадков сточных вод в качестве органоминерального удобрения» [13].</p>	<p>В данном патенте предлагается способ, в результате которого на фазе отстаивания возможны появления соединений II или III класса опасности из-за содержания в них тяжёлых металлов.</p>
<p>«Патент № RU 2 463 280 С1 «Способ получения органоминеральных удобрений из твердофазных Техногенных образований на основе</p>	<p>«Способ получения органоминеральных удобрений из твердофазных образований на основе осадков сточных вод, который предполагает нейтрализацию щелочным экстрагентом.</p>	<p>Органоминеральное удобрение</p>	<p>Данный способ позволяет значительно усовершенствовать процесс утилизации осадков сточных вод путем их переработки с получением твердых и жидких</p>	<p>В данном способе применяется щелочной раствор, который не является экологичным в связи с высокой летучестью</p>

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
осадков сточных вод»» [14]	После кислотной обработки получают твердые органоминеральные удобрения, удалив тяжелые металлы, после щелочной обработки - жидкие органоминеральные удобрения в виде водорастворимых гуматов, после сушки - твердые органоминеральные удобрения, а осадок после щелочной обработки направляют потребителю» [14].		органоминеральных удобрений.	его компонентов. Так же требуются очень значительные площади для размещения оборудования.
«Патент № RU 2 039 726 С1 «Способ получения органоминерального удобрения»» [12]	В представленном патенте предлагается способ производства органоминерального удобрения, который предполагает обработку осадка сточных вод, затем фильтрацию и нейтрализацию щелочью. Способ отличается тем, что обработку осадков сточных вод ведут раствором азотной кислоты концентрацией 1,00 – 1,25 моль/ дм <sup>3</sup> , а смешение ведут при 50 – 70 °С в течение 10 – 20 мин.	Органоминеральное удобрение	В предложенном способе повышенная температура позволяет получать скоагулированный осадок, который значительно легче фильтровать, а также в дальнейшем улучшает процесс удаления тяжелых металлов.	Нейтрализация осуществляется щелочными агентами (KOH, NH <sub>4</sub> OH, CaCO <sub>3</sub> ), которые не являются экологически чистыми.
«Патент № RU 2 704 292 С1 «Минеральное удобрение»» [16]	«Минеральное удобрение, получаемое путем смешения следующих ингредиентов на 1 кг смеси:	Органоминеральное удобрение	В данном способе не требуется хранение и отлеживание осадка.	В данном способе применяется энергозатратная

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
	зола от сжигания осадка сточных вод 600 г, аммиачная селитра (карбамид) 147 г, двойной суперфосфат 118 г, калий хлористый 135 г. Изобретение позволяет увеличить объем производства минерального удобрения» [16].		Также проводится полное обеззараживание ила, (удаляются патогенные микроорганизмы).	установка сжигания ила.
«Патент № RU 2 588 646 С1 «Способ и устройство для получения органических удобрений из осадков сточных вод»» [15]	«Способ получения органического удобрения из осадков сточных вод включает термофильную фазу обработки осадков сточных вод и фазу созревания готового продукта, причем при термофильной фазе осуществляют пастеризацию осадков сточных вод путем их принудительной термической обработки в камере нагрева и выдерживания при полученной после чего в полученную массу добавляют биоактивный компонент, осуществляют тщательное перемешивание и оставляют полученную массу для созревания готового продукта, причем в качестве биоактивного компонента используют ранее изготовленное созревшее удобрение, а удобрение в процессе созревания	Органоминеральное удобрение	Данный способ позволяет значительно сократить срок получения органического удобрения из осадков сточных вод.	Для данного способа требуется довольно дорогое оборудование.

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
	<p>подогревают преимущественно теплом воздуха, предварительно использованного для пастеризации осадков» [15].</p>			
<p>«Патент № 2 708 985 С1 «Способ получения натурального органоминерального удобрения на основе фосфоритной муки»» [17]</p>	<p>Способ включает получение удобрения путем смешения фосфоритной муки с гуминовыми веществами, взятыми в количестве 2 ÷ 9 % масс. с последующей сушкой смеси при 85 ÷ 105°С.</p>	<p>Органоминеральное удобрение</p>	<p>Данный способ является практически безотходным и экологически чистым и безопасным.</p>	<p>В данном способе используется дорогостоящее оборудование.</p>

Выводы по первому разделу:

– в результате анализа образования отхода осадка сточных вод было выявлено, что отход обладает высоким удобрительным потенциалом. Отход осадка сточных вод известен как богатый источник питательных веществ: белка, азота, фосфора, калия. Кроме того, он включает в себя большое количество органических веществ, что может способствовать биодоступности макро – и микроэлементов и улучшению структуры почвы. Подтверждена теоретическая возможность использования отхода осадка сточных вод для получения органоминерального удобрения;

– проведен анализ требований к отходу осадка сточных вод для его дальнейшего использования в качестве сырья для производства органоминерального удобрения;

– в результате патентного поиска в области методов переработки отхода осадка сточных вод в органоминеральные удобрения были рассмотрены способы получения органоминерального удобрения из отхода осадка сточных вод.



## 2 Разработка способа переработки отхода осадка сточных вод в органоминеральные удобрения

### 2.1 Экспериментальные исследования отхода осадка сточных вод

#### 2.1.1 Анализ пробы отхода осадка сточных вод

Выполнен качественный анализ отхода осадка сточных вод на соответствие показателей ГОСТ Р 54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод». Определение данных показателей производилось согласно методикам, приведенным в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень используемых методик [5]

«Группа показателей	Показатели	Методика
Агрохимические	рН	ГОСТ 27979-88 Удобрения органические. Методы определения рН
	Влажность	ГОСТ 26713-85 Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка
	Органическое вещество	ГОСТ 27980-88 Удобрения органические. Методы определения органического вещества
	Общий фосфор	ГОСТ 26717-85 Удобрения органические. Метод определения общего фосфора
	Общий азот	ГОСТ 26715-85 Удобрения органические. Метод определения общего азота
	Общий калий	ГОСТ 26718-85 Удобрения органические. Метод определения общего калия»
Токсикологические	Свинец	ГОСТ Р 53218-2008 Удобрения органические. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов
	Кадмий	
	Цинк	
	Медь	
	Никель	
	Хром	
	Ртуть	ГОСТ 26927-86 Сырье и продукты пищевые. Метод определения ртути
Мышьяк	ГОСТ 26930-86 Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка»	

## 2.1.2 Описание экспериментальных исследований

Количественные определения выполнялись на средствах измерения испытательном оборудовании, прошедшем государственную поверку и аттестацию. Химические реактивы, использованные при проведении анализов, имели квалификацию, в соответствии с общими требованиями, определенными ГОСТ 26712-94. Дистиллированная вода соответствовала требованиям ГОСТ Р 58144-2018.

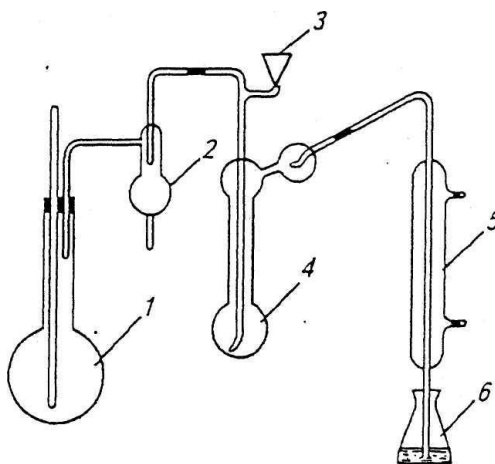
Водородный показатель (рН) суспензии активного ила в 0,1М растворе KCl измеряли по ГОСТ 27979-88 на иономере И-160М с комбинированным электродом.

Перед исследованием агрохимических показателей образцы высушивались до постоянной массы при температуре 105 °С, одновременно с этим определялась массовая доля влаги в активном иле в соответствии с ГОСТ 26713-85. Органическое вещество определяли термогравиметрическим методом по п.1 ГОСТ 27980-88.

Остальные агрохимические показатели (массовые доли общих фосфора, азота и калия) определяли путем анализа продуктов минерализации по методу Кьельдаля в соответствии с п.1 ГОСТ 26715-85. Минерализацию проводили действием концентрированной серной кислоты в присутствии катализатора – смеси  $\text{CuSO}_4$  и Se в массовом соотношении 100:3; сначала смесь выдерживали 15 ч при комнатной температуре, затем минерализацию вели при температуре кипения серной кислоты (см. п.п. 1.3.1 и 1.4.1.1 ГОСТ 26715-85). После охлаждения минерализат разбавляли, как указано в п. 1.4.3 ГОСТ 26715-85, и использовали полученный раствор минерализата для количественного определения P, N и K.

Массовую долю общего фосфора в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  определяли в соответствии с 1.4.1.1 ГОСТ 26717-85 по оптической плотности окрашенного фосфорно - молибденового комплекса, восстановленного до молибденовой сини. Измерения проводились на спектрофотометре UNICO-2100 при длине волны, соответствующей спектральному максимуму поглощения комплекса ( $\lambda_{\text{max}}$  710 нм). Концентрацию фосфора в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  определяли по предварительно построенному градуировочному графику.

Массовую долю азота определяли путем отгонки аммиака из аликвотной части раствора минерализата. К аликвоте раствора минерализата перед отгонкой добавляли избыток (по отношению к присутствующему в растворе иону  $\text{NH}^+$ ) 40%-ного раствора  $\text{NaOH}$ . Аммиак отгоняли в аппарате Парнаса-Вагнера, изображенном на рисунке 2. Данный аппарат не имеет принципиальных отличий от установки, рекомендованной в ГОСТ 26715-85.



1 – парообразователь; 2 – сливная воронка; 3 – воронка для ввода минерализата; 4 – колба для отгонки аммиака; 5 – холодильник Либиха; 6 – колба-приемник

Рисунок 2 - Схема аппарата Парнаса-Вагнера для отгонки аммиака методом Кьельдаля

Отгоняемый аммиак поглощали избытком титрованного 0,02 н. раствора соляной кислоты; количество аммиака определяли обратным алкалиметрическим титрованием. Сходимость и правильность результатов измерения массовой доли азота (особенно в части полноты минерализации органических азотсодержащих веществ, входящих в состав проб) дополнительно оценивали, исследуя навески стандартного трудноминерализуемого вещества – 2-меркаптобензимидазола.

В том же растворе минерализата количественно определяли калий по ГОСТ 26718-85. Измерения проводились методом пламенной эмиссионной фотометрии на приборе Shimadzu серии AA-7000; пламя – ацетилен-воздух. Использовались лампы с полым катодом фирмы Hamamatsu photonics. Измерения проводились с использованием градуировочного графика.

С использованием прибора Shimadzu серии AA-7000 методом атомно-абсорбционной атомной атомизации по ГОСТ Р 53218-2008 определяли примеси токсичных элементов – свинца, кадмия, цинка, меди, никеля и хрома. Перед проведением анализов пробы высушивали при 65°C, а затем минерализовали путем прокаливания сначала при 250, а затем при 525°C. Далее проводили экстракцию элементов азотной кислотой и фотометрировали экстракт. Определение массовой концентрации металлов в растворе золы проводили по следующим аналитическим линиям: Cu – 324,7 нм; Zn – 213,8 нм; Pb – 217,0 нм; Cd – 368,4 нм; Ni – 232,0 нм; Cr – 357,9 нм.

Для атомизации использовали пламя ацетилен–воздух. Ширина щели монохроматора, расход газов, ток, питающий лампу с полым катодом, устанавливали согласно инструкциям, прилагаемым к атомно- абсорбционному спектрофотометру и лампам приведена в таблице 9.

Таблица 9 - Условия выполнения измерений на атомно-адсорбционном спектрофотометре Shimadzu серии AA-7000

Элемент	Ширина щели, нм	Система коррекции фона	Расход ацетилена, л/мин
Cu	0,5	D2	1,8
Zn	0,2	D2	2,0
Pb	0,5	D2	2,0
Cd	0,5	D2	1,8
Ni	0,2	D2	2,2
Cr	0,5	D2	2,8

Результаты анализа образцов осадков сточных вод приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты анализа образцов отходов осадков сточных вод

Маркировка, дата отбора и прочая информация об образце	pH	Влажность, %	Агрохимические показатели (сухое/влажное вещество), масс. %				Примеси токсичных элементов, мг/кг сухого вещества							
			Органическое вещество	Общий фосфор, в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Общий азот	Общий калий, в пересчете на K <sub>2</sub> O	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr	Hg	As
Образец 1	7,7	5,4	<u>18,5</u>	<u>1,03</u>	<u>4,96</u>	<u>0,32</u>	<u>44,9</u>	<u>1,6</u>	<u>386,9</u>	<u>45,0</u>	<u>13,8</u>	<u>184,6</u>	–	–
			17,14	0,97	4,70	0,30	40,4	1,5	384,2	40,6	12,4	166,1	–	–
Образец 2	7,8	67,4	<u>21,5</u>	<u>0,46</u>	<u>4,93</u>	<u>0,18</u>	<u>63,2</u>	<u>3,7</u>	<u>284,2</u>	<u>47,1</u>	<u>85,1</u>	<u>445,2</u>	–	–
			12,9	0,27	1,61	0,05	18,9	1,1	85,3	14,3	25,5	133,6	–	–
Образец 3	8,8	20,0	<u>9,55</u>	<u>1,09</u>	<u>6,48</u>	<u>0,36</u>	–	–	–	–	–	–	–	–
			7,64	0,87	5,18	0,29	–	–	–	–	–	–	–	–
Образец 4	8,41	13,3	<u>9,44</u>	<u>0,66</u>	<u>7,65</u>	<u>0,27</u>	–	–	–	–	–	–	–	–
			8,21	0,57	6,66	<u>0,23</u>	–	–	–	–	–	–	–	–

Приведем интерпретацию сравнительного анализа. Осадок с Образцом 3, несмотря на то, что он удовлетворяет требованиям II группы по большинству показателей, не может быть использован в качестве Удобрения органического ввиду неудовлетворительно малого содержания органического вещества. Осадок с Образцом 4 аналогично удовлетворяет требованиям II группы по большинству показателей, но не может быть использован в качестве Удобрения органического ввиду неудовлетворительно малого содержания органического вещества и общего фосфора. Стоит отметить, что содержание общего фосфора, в частности органического фосфора, в значительной степени коррелирует с содержанием органического вещества. Исходя из этого, заключим, что основным препятствием для использования осадков с обоих полей в качестве Удобрения органического является малое содержание органического вещества в осадке, что не соответствует агрохимическим требованиям.

Выводы по второму разделу:

- во втором разделе представлено описание анализа отхода осадка сточных вод на его агрохимические и токсикологические показатели на соответствие требованиям ГОСТ Р 54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод»;
- в результате анализа было выявлено превышение значений тяжёлых металлов в исследуемом образце и поэтому было принято решение подвергнуть отход осадка сточных вод термической переработке при помощи процесса пиролиза для снижения подвижных форм тяжёлых металлов.

### **3 Моделирование процесса пиролиза осадков сточных вод**

#### **3.1 Описание физической модели процесса пиролиза осадков сточных вод в лабораторных условиях**

«Пиролиз – процесс термической деструкции органической массы, протекающий при температурах 300 – 700 °С в бескислородной среде. В результате пиролиза образуется пиролизная жидкость, твердый остаток (биоуголь) и НПГ. Пиролиз может быть классифицирован в зависимости от скорости нагрева сырья на медленный и быстрый [35]. Медленный пиролиз, протекающий при низких скоростях нагрева и, соответственно, больших временах пребывания сырья в реакторе (от 1 ч до несколько дней), используется для получения максимального количества биоугля» [33].

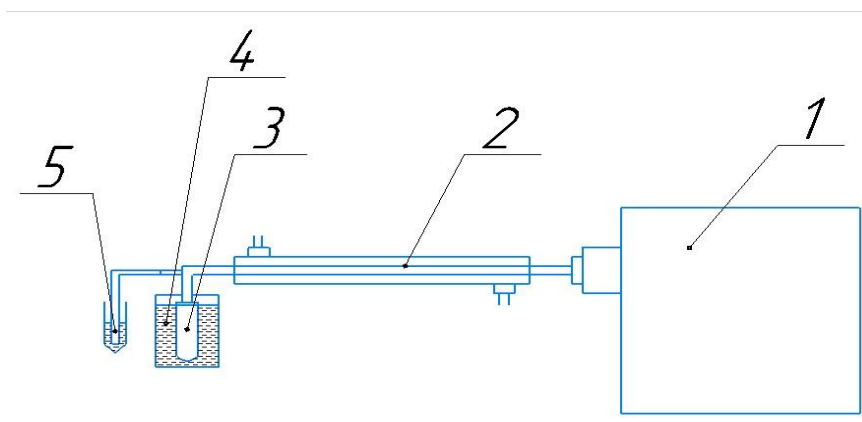
Пиролиз осадков сточных вод «в основном проводится с целью получения жидкой фракции, в следствие чего процесс происходит при высоких скоростях нагрев. Процесс превращения органической массы в летучие соединения и твердый остаток начинается при температуре более 200 °С и сопровождается различными реакциями с разрывом существующих и образованием новых химических связей» [36].

«При высоких скоростях нагрева сырья разграничение между стадиями распада различных органических составляющих становится менее различимо, и их распад протекает практически одновременно. Летучие от первичного пиролиза состоят из алифатических соединений, называемых первичными смолами, газов и паров, таких как  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  и  $C_nH_m$ , и различных видов недолго «живущих» свободных радикалов. Первичные смолы являются основным компонентом летучих первичного пиролиза. В химически инертной атмосфере нестабильные алифатические соединения летучих первичного пиролиза при взаимодействии с частицами твердого угольного остатка при температурах порядка 600 °С и выше подвергаются дальнейшему термическому распаду – вторичному пиролизу. При этом образуются легкие

газы, низкомолекулярные углеводороды и более стабильные ароматические соединения – вторичные смолы» [30]. «При температурах более 900 °С начинают протекать реакции полимеризации и ароматические соединения превращаются в частицы сажи» [31].

«При охлаждении летучих соединений первичные и вторичные смолы конденсируются, образуя пиролизную жидкость. Она состоит из воды, алифатических или ароматических углеводородов, кислородсодержащих углеводородов и азотсодержащих соединений» [29].

Что представляет из себя схема физической модели пиролизной установки, собранная в лабораторных условиях, можно наблюдать на рисунке 3. В трубчатую печь (1) поместили колбу с помещенным предварительно осадком сточных вод (предварительно взвешенный). Затем установили температуру нужную температуру (500 °С; 600 °С). И выжигали осадок сточных вод при указанных температурах в течение четырёх часов.



1 – трубчатая муфельная печь; 2 – конденсатор-холодильник; 3 – колба-сепаратор для приема жидкости; 4 – холодильная камера для колбы-сепаратора с пиролизной жидкостью; 5 – колба для отвода пиролизного газа

Рисунок 3 – Принципиальная схема физической модели установки пиролиза

Реактором в данной схеме является трубчатая муфельная печь, в которой находится колба с мелкоизмельченным осадком сточных вод и герметично закрытой пробкой. Конденсатор-холодильник предназначен для охлаждения и



конденсации паров жидких продуктов пиролиза. Парогазовая смесь поступает в конденсатор-холодильник по трубопроводу. Жидкие продукты пиролиза (осадок сточных вод, дистиллят (влага) и органические вещества) отводятся по трубопроводу в колбу-сепаратор. Окончание процесса пиролиза определяется по уменьшению потока газа. По окончании процесса выключаем пиролизную печь и ждем до полного остывания, затем извлекаем, необходимую для исследования, золу. На рисунке 4 представлена физическая модель процесса пиролиза в лабораторных условиях.



Рисунок 4 – Физическая модель процесса пиролиза в лабораторных условиях

Процесс пиролиза сопровождается образованием жидкой углеводородной массы (её внешний вид – маслянистая, темно – коричневая, однородная жидкость с характерным запахом углеводородов). Также выделяются углеводороды C1 – C10 со своеобразным запахом, но главная составляющая, полученная в результате пиролиза, для данной работы – это зола.

Пиролизная жидкость, полученная из осадка сточных вод, имеет следующую кислотность  $pH = 5,1 - 6,8$ .

«Согласно результатам проведённых исследований, тяжелые металлы, содержащиеся в осадке сточных вод, являются практически неподвижными в условиях пиролиза (при температуре ниже  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и практически полностью

остаются в твердом остатке пиролиза» [34]. «В условиях пиролиза только As, Cd и Hg, имеющие низкую точку кипения, могут содержаться в летучих продуктах пиролиза. Ртуть полностью испаряется при температуре 350 °С, кадмий начинает испаряться при температурах 600 – 625 °С. Мышьяк начинает испаряться при низких температурах, но присутствие CaO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> может снизить эмиссию мышьяка за счет создания стабильных химических соединений» [32]. В пиролизной жидкости тяжелых металлов практически нет.

### **3.2 Химический анализ модельной смеси пробы осадка сточных вод**

Результаты химического анализа на агрохимические показатели указаны в таблице 11.

«По результатам анализа на агрохимические показатели модельной смеси осадка сточных вод после пиролиза при 600 °С рН = 8,17 ± 0,10 ед. Осадок сточных вод после пиролиза при 500 °С рН = 7,44 ± 0,10 ед.

Таким образом, осадок сточных вод после пиролизной установки при 600 °С приобретает щелочную среду (рН = 8,17 ± 0,10 ед. рН) и удобрения на основе такого ила можно использовать только на сильно закисленных почвах.

Осадок сточных вод после пиролизной установки при 500 °С имеет нейтральную среду (рН = 7,44 ± 0,10 ед. рН), полностью обезвоживается и обеззараживается, следовательно, может использоваться в производстве сельскохозяйственного удобрения для любых типов почв» [5].

Таблица 11 – Результаты химического анализа на соответствие агрохимических показателей осадка сточных вод до и после пиролиза при температурах 500 °С и 600 °С

«Показатель	Ил после пиролиза при 600 °С	Ил после пиролиза при 500 °С	Агрохимические нормы
N азот (по Кельдалю)	2,04 %	1,97 %	Не менее 0,6 %
Массовая доля влаги	7,4 %	5,7 %	Не более 70
Массовая доля органического вещества	30,14 %	34,82 %	Не менее 30
Водородный показатель (рН)	8,17 ед. рН	7,44 ед. рН	6,0 - 8,0 ед. рН
Общий калий К <sub>2</sub> О водорастворимые формы	30,05 мг/ кг	30,01 мг/ кг	Не менее 0,1
Массовая доля общего фосфора Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> кислоторастворимые формы	27,6 мг/ кг	27,5 мг/ кг	Не менее 0,7
Pb	59,62 мг/кг	54,76 мг/кг	130 – 250 мг/кг
Cd	3,0 мг/ кг	2,11 мг/ кг	2 – 15 мг/кг
Zn	392,85 мг/кг	325,14 мг/кг	220 – 1750 мг/кг
Cu	92,19 мг/кг	90,32 мг/кг	132 – 750 мг/кг
Cr	179,31 мг/кг	171,47 мг/кг	90 – 500 мг/кг» [8]

Таким образом, можно сделать вывод, что пиролиз является наиболее предпочтительным методом термической переработки осадков сточных вод, так как в результате этого процесса происходит переход исходного вещества в газообразное и жидкое состояние. Одним из главных преимуществ использования процесса пиролиза для осадка сточных вод, необходимого для дальнейшей переработки в органоминеральные удобрения, является то, что тяжелые металлы в твердом остатке приобретают валовые формы, становятся менее подвижными.

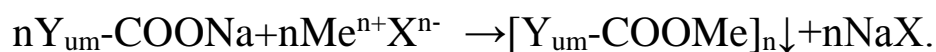
### **3.3 Разработка способов улучшения стабильности показателей отработанного активного ила для соответствия критериям ГОСТ Р 54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод»**

Для повышения органического вещества в осадках сточных вод и получение из него органоминерального удобрения, было выбрано приоритетным направлением его перемешивание с минеральным удобрением и древесными опилками. Предлагаемые методы из патентов [12], [13] и [14] основываются, на повышении органического вещества за счёт смешивания активного ила с минеральным удобрением, в качестве которого может выступать карбомид или фосфоритная мука.

«В патенте [12] описывается способ получения удобрения из осадков сточных вод, включающем смешивание осадков сточных вод с детоксикантом, в качестве детоксиканта используют гумат натрия в виде мелкодисперсной фракции с размером частиц не более 100 мкм в количестве не менее 10% от массы осадка.

Эффективность использования гумата натрия обусловлена тем, что гуминовые кислоты, благодаря наличию в своем составе большого количества реакционноспособных функциональных групп, вступают в реакции с ионами тяжелых металлов, переводя их в нерастворимые устойчивые соединения. Взаимодействие растворимых солей гуминовых кислот (гумата) с катионами

тяжелых металлов с образованием водорастворимых гуматов происходит по схеме» [8]:



Так как осадки сточных вод обладают высокой удобрительной ценностью, потребовалось небольшое количество минеральных компонентов для создания сбалансированных по составу гранул для большого ряда растений, что делает процесс переработки более экономичным.

Связующую добавку - гумат натрия применяют в количестве 2 – 3 % от сухой массы осадков, а минеральные компоненты источник азота - карбамид и источник калия – хлористый калий - в количестве 5 – 7 % и 5 – 6 % от сухой массы осадков соответственно.

Карбамид  $CO(NH_2)_2$  - диамид угольной кислоты, также называемый мочевиной, в чистом виде представляет собой не имеющие запаха бесцветные кристаллы, плавящиеся при 132,4 °С. Технический карбамид - белые или желтоватые кристаллы, имеющие форму иглообразных ромбических призм. Сухой карбамид при нагревании под атмосферным давлением выше температуры плавления разлагается с выделением аммиака.

Но помимо всего прочего карбамид – ценное, нейтральное, концентрированное, водорастворимое азотное удобрение (содержит около 46 % азота) для многих сельскохозяйственных культур на любых почвах.

Патент [13] описывает метод повышения органического вещества в осадках сточных вод, путем их смешивания со связующей добавкой и минеральными компонентами, последующим гранулированием и сушкой полученных гранул до влажности 8 – 16 %, согласно изобретению используют осадки сточных вод с влажностью 20 – 40 %, предварительно отферментированные в естественных условиях в течение не менее трех месяцев, в качестве связующей добавки применяют гумат натрия в количестве 2 – 3 % от сухой массы осадков, в качестве минеральных добавок применяют источник азота - карбамид и источник калия - хлористый калий в количестве

соответственно 5 – 7 % и 5 – 6 % от сухой массы осадков, а гранулирование осуществляют при температуре 45 – 95 °С.

Преимущества представленных патентных решений заключается в значительном повышении агрохимических показателей активного ила и возможности его применения в качестве сельскохозяйственных удобрений.

Недостатком представленных методов является незначительное повышение органического вещества.

«В патенте [14] представлен способ использования фосфоритной муки в качестве удобрения, позволяющий использовать её на почвах с нейтральной и близкой к ней кислотностью. Фосфоритную муку смешивают с карбамидом и фосфогипсом. Эту смесь рассеивают по поверхности почвы машинами для внесения удобрений. При этом происходит перемешивание смеси с почвой, карбамид в почве подвергается гидролизу, превращается в карбонат аммония, вещество нестойкое, из которого улетучивается аммиак. Но он тут же вступает в химическое взаимодействие с фосфатом кальция фосфоритной муки, и дигидратом сульфата кальция фосфогипса. Вследствие этого образуются соли аммония, из которых аммиак не улетучивается, и карбонат кальция. Количество фосфоритной муки, карбамида и фосфогипса, вносимых в состав смеси, вычисляют, исходя из запрограммированного урожая» [8].

Недостатком данного метода является незначительные показатели органического вещества в получившемся удобрении.

Основываясь на приведенных выше патентах и научно-исследовательских статьях, экспериментальные результаты которых подтверждены учеными кафедры общей биологии и экологии Кубанского государственного университета, в которых описывается метод получения органоминерального удобрения путем смешивания активного ила с фосфогипсом и древесными опилками. Именно опилки повышают показатели органического вещества в получившемся удобрении согласно требуемым значениям по критериям ГОСТ Р 54651-2011, мы предлагаем метод, в котором вместо фосфогипса, который достаточно не выгодно транспортировать как сырье для

производства удобрения, фосфоритную муку, в которой содержание  $P_2O_5$  на 22-24% больше, тем самым агрохимические показатели активного ила стабилизируются и будут полностью соответствовать ГОСТ Р 54651-2011 и древесные опилки.

Фосфоритная мука – самое дешевое, энергосберегающее, быстро производимое и высокоэффективное фосфорное удобрение. Удобрение получают размолотом фосфоритов до муки, тонина которой до 0,18 мм. Таких частиц в муке должно быть не менее 80 %.

Для получения 1 кг удобрения, необходимо смешать 45 % древесных опилок, 34% осадка сточных вод и 21 % фосфоритной муки.

Полученное по данной рецептуре удобрение можно вносить в почвы в количестве 0,2 кг/м<sup>2</sup>.

Результат при внедрении данного метода представлен в таблице 12.

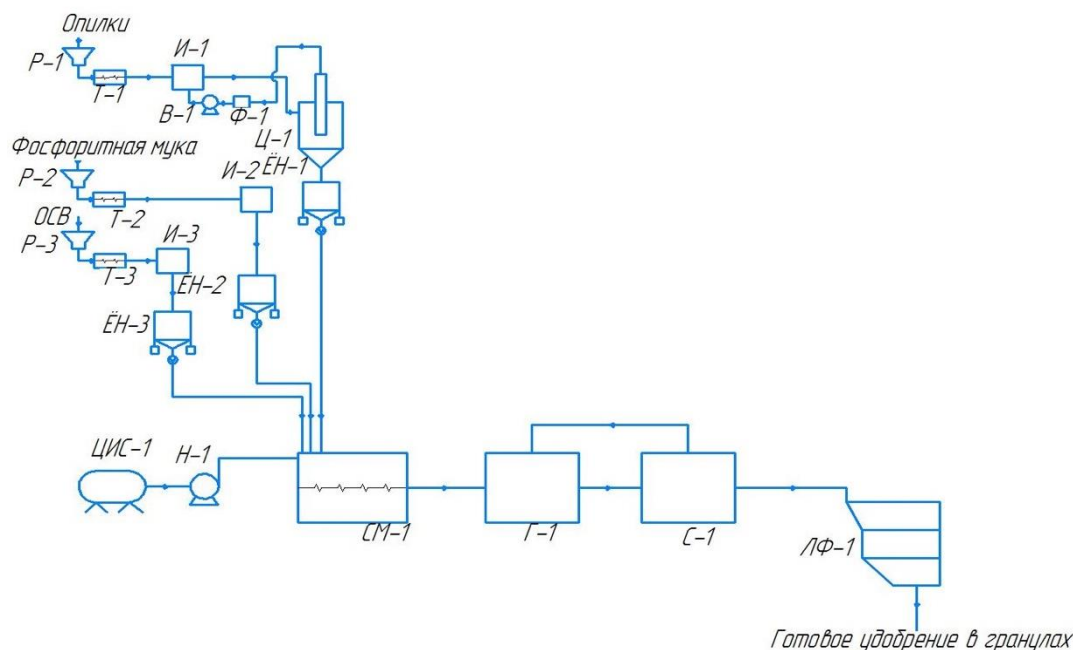
Таблица 12 – Результат использования осадка сточных вод с фосфоритной мукой и древесными опилками

Маркировка, дата отбора и прочая информация об образце	Органическое вещество%	Общий фосфор, в пересчете на $P_2O_5$ %	Органическое вещество% после приготовления	Общий фосфор, в пересчете на $P_2O_5$ %
Образце 4	<u>21.5</u>	<u>1.03</u>	35,5	1,13
Образец 3	<u>18.5</u>	<u>0.46</u>	32,3	0,56

### **3.4 Установка переработки осадков сточных вод при получении вторичного сырья**

На данном этапе работы я опираюсь на следующие источники, которые были найдены в результате анализа источников, а именно, Патент № RU 2 708 985 С1 «Способ получения натурального органоминерального удобрения на основе фосфоритной муки» [17] в котором предлагается использовать осадок сточных вод в производстве минерального удобрения путем смешения

осадков сточных вод и фосфоритной муки, и статья «Влияние осадков сточных вод и фосфогипса на свойства почвы и продуктивность озимой пшеницы» [7], в которой для органических веществ в осадках сточных вод используются опилки. Предлагаемая схема производства изображена на рисунке 5.



Р – приемная ёмкость, Т – транспортер, И – измельчитель, В – воздуходувка, Ц – циклон, ЁН – ёмкость накопления, ЦИС – цистерна, Н – насос, СМ – смеситель, Г – гранулятор, С – сепаратор, ЛФ – линия фасовки

Рисунок 5 – Принципиальная схема производства органоминерального удобрения

Исходное сырье, состоящее из осадка сточных вод, опилок и фосфоритной муки, грузовым автомобильным транспортом доставляется на пункт переработки. Поступившее сырье разгружают в приемные ёмкости Р-1, Р-2, Р-3. Опилки из приёмной ёмкости Р-1 подаются через шнековый транспортер Т-1 и измельчитель И-1 в циклон Ц-1, посредством пневмотранспорта. Воздух в питатель пневмотранспорта подается воздуходувкой В-1, захватывает опилки и направляется в циклон Ц-1. В циклоне Ц-1 формируется вращающийся поток воздуха, направленный вниз, к конической части аппарата. Опилки выносятся из потока и оседают на



стенках аппарата, затем захватываются вторичным потоком и попадают в нижнюю часть циклона и через выпускное отверстие подаются в ёмкость-накопитель ЁН-1 откуда через дозирующее устройство поступают в шнековый смеситель СМ-1. Воздух из циклона выводится через центральную трубу и направляется через фильтр на всас воздуходувки В-1.

Фосфоритная мука из приемной ёмкости Р-2 подаётся через шнековый транспортер Т-2 в измельчитель И-2, где происходит процесс измельчения поступившего материала до необходимых размеров. Затем измельченная фракция поступает в ёмкость-накопитель ЁН-2 и через дозирующее устройство поступает в шнековый смеситель СМ-1. Дозировка фосфоритной муки в шнековый смеситель осуществляется при помощи измерения веса ёмкости-накопителя, при помощи тензодатчиков, смонтированных на её опорах.

Осадок сточных вод из приемной ёмкости Р-3 через шнековый транспортер Т-3 поступает в измельчитель И-3, откуда после процесса измельчения, фракция направляется в ёмкость-накопитель ЁН-3 и затем через дозирующее устройство измельченный ил попадает в шнековый смеситель СМ-1. Дозировка измельченного активного ила в шнековый смеситель осуществляется при помощи измерения веса ёмкости-накопителя, при помощи тензодатчиков, смонтированных на её опорах. В шнековый смеситель СМ-1 из цистерны ЦИС-1 при помощи центробежного насоса Н-1 и оросителя поступает вода для поддержания влажности рабочей смеси в пределах 5 – 15 %. В смесителе происходит образование однородной массы, которая поступает в гранулятор Г-1. Из гранулятора Г-1 удобрения в виде гранул подаётся в сепаратор С-1, который служит для возврата некондиционных гранул обратно в цикл гранулирования. Товарные гранулы поступают на линию фасовки ЛФ-1 для дальнейшей транспортировки потребителю.

### 3.5 Выбор оборудования для оптимизации технологического процесса

#### 3.5.1 Устройство для транспортировки сыпучих материалов

Транспортер секционный шнековый ТСШ-150 – предназначен для транспортировки сухих сыпучих продуктов в горизонтальном направлении и направлении под углом до 45 градусов. Хорошо перемещает зерно, гранулы, щепу, опил, стружку и т.п. В качестве рабочего элемента используется металлическая спираль в виде винта, которая закреплена в подшипниковой опоре, вращается вокруг своей оси [23]. Как выглядит указанный выше транспортер можно наблюдать на рисунке 6.



Рисунок 6 – Транспортёр ТСШ-150

Технические характеристики транспортёра представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики транспортёра секционного шнекового ТСШ-150

Наименование	Значение
Длина транспортера	150 мм
Производительность	8 т/ч
Количество оборотов шнека	330 об/мин
Мощность	4 кВт

Представленный выше транспортер может использоваться как отдельно, так и в составе производственных цепочек линии оборудования, в закрытых и открытых помещениях, а также под навесом.

### 3.5.2 Устройство для измельчения сырья

Молотковый пневматический измельчитель ДПМ-11 является станком второго ряда и предназначен для доизмельчения сухого сыпучего продукта и дальнейшей его транспортировки в технологических цепочках линии оборудования [10]. Картинка вышеупомянутого измельчителя представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Измельчитель ДПМ-11

Технические характеристики измельчителя представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики измельчителя ДПМ-11

Наименование	Значение
Мощность	11 кВт
Размер получаемой продукции	от 1 до 10 мм
Производительность	до 500 кг/час
Максимальный размер для измельчения	до 25 мм
Максимальная влажность сырья	до 25%
Размеры	0,82 x 0,66 x 0,86 м.
Вес	192 кг

Оборудование оснащено специальными лопастями для создания воздушного потока, дробильными молотками, ситом и гибкими загрузочным

и выгрузным шлангами, что позволяет принимать, доизмельчать, также транспортировать получаемый материал.

### 3.5.3 Циклон для сухих опилок

Циклон ЦН-15-300 предназначен для сухой очистки газов, а также для улавливания взвешенных веществ, подаваемых с потоком воздуха [26]. Внешний вид циклона Циклон ЦН-15-300 показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Циклон ЦН-15-300

Технические характеристики циклона представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Технические характеристики циклона ЦН-15-300

Название	Значение
Масса	43 кг
Производительность: при $V = 2,5$ м/сек при $V = 4,0$ м/сек	630 м <sup>3</sup> /час 1000 м <sup>3</sup> /час
Рабочий объем бункера	0,17 м <sup>3</sup>
Габаритные размеры циклона Длина Ширина Высота	692 мм 692 мм 2493 мм
Температура очищаемого газа	не более 400 °С
Мощность	до 6 кВт

Для уменьшения износа крыльчаток циклон следует устанавливать перед вентиляторами (дымососами).

### 3.5.4 Устройство для кратковременного хранения сыпучих материалов

Бункер сыпучей продукции БСП-5 предназначен для кратковременного накопления сыпучей мелкодисперсной продукции. Внешний вид бункера БСП-5 представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Бункер БСП-5

Технические характеристики бункера сыпучей продукции БСП-5 представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики бункера БСП-5

Название	Значение
Объем	5 м <sup>3</sup>
Диаметр	1800 мм
Высота	2700 мм
Масса	400 кг
Размер выгрузочного патрубка	300 мм

Процесс загрузки и выгрузки сыпучих продуктов осуществляется в автоматическом режиме, поэтому участие большого количества персонала не требуется.

### 3.5.5 Устройство для смешивания сыпучих материалов

Смеситель вертикальный шнековый СВШ-3 предназначен для приготовления полноценных смесей из измельченного мелкодисперсного материала [21]. Внешний вид смесителя представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Смеситель шнековый СВШ-3

Смеситель оснащён шнековым питателем (рисунок 11).



Рисунок 11 – Шнековый механизм и насос смесителя

Технические характеристики смесителя представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики смесителя СВШ-3

Название	Значение
Объем	3 м <sup>3</sup>
Производительность	2 – 2,5 т/час
Мощность	5,87 кВт
Масса	460 кг
Габариты	1840 x 2150 x 2900
Время загрузки	10 мин
Время смешивания	10 – 15 мин
Допустимая влажность продукта	Не более 25 %

Благодаря конструкции шнека с переменным шагом витка достигается высокая однородность смешивания (до 85%) при длительности замеса всего 10 - 15 мин, а измельченный продукт может иметь размер фракции от 0,2 мм до 5 мм.

### 3.5.6 Устройство для получения гранул

Гранулятор формования шнековый типа ФШ - 010 предназначены для получения гранул из пастовидных материалов. В результате работы данного гранулятора получают цилиндрические гранулы диаметром 0,8 — 20,0 мм с неровными торцами. Внешний вид гранулятора показан на рисунке 12.



Рисунок 12 – Гранулятор ФШ-010

Технические характеристики гранулятора представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Технические характеристики гранулятора ФШ-010

Название	Значение
Диаметр шнека	100 мм
Производительность	150 – 400 кг/ч
Мощность	5 кВт
Масса	620 кг
Габариты	1810 x 560 x 470 мм

Гранулятор представляет из себя цилиндрический корпус, в состав которого входит загрузочная камера и фильерная решетка. Во вращение шнек приводится электромеханическим приводом. В зоне загрузки шнека имеются два призматических валька-нагнетателя, обеспечивающих равномерную подачу продукта в запитывающую зону шнека.

### **3.5.7 Устройство для возврата некондиционных гранул обратно в цикл гранулирования**

Сепаратор грубой очистки центробежного типа обеспечивает исключительно полное отделение самых мелких загрязнений за счет центробежного эффекта. Внешний вид сепаратора показан на рисунке 13.



Рисунок 13 – Сепаратор центробежного типа

Технические характеристики сепаратора представлены в таблице 19.



Таблица 19 – Технические характеристики сепаратора центробежного типа

Название	Значение
Ширина	180 мм
Высота	320 мм
Глубина	140 мм
Вес	1,86 кг
Производительность	700 м <sup>3</sup> /ч
Мощность	7,5 кВт
Минимально допустимая температура рабочей среды	не ниже - 10 °С
Частота вращения барабана	от 4000 до 9000 об/мин

Вибросито круглой формы включает от одного до шести просеивающих устройств. Сырье, обработка которого производится с использованием сепаратора, попадает в зону вибрации. В результате под ее воздействием, а также благодаря силе тяжести оно просеивается. Этому дополнительно способствуют пластиковые кольца и резиновые шары, располагающиеся под ситом. Часть сырья, которая не прошла сквозь данное сито, уходит обратно в цикл. Та же часть сырья, которая прошла сквозь сито, выходит из сепаратора. При этом следующее сито обладает более мелкими отверстиями, поэтому через него далее попадает фракция материала, включающая еще более мелкие частички.

### 3.5.8 Ленточный транспортер L-образного типа

В конце технологической линии производства удобрений из осадков сточных вод необходима установка транспортера для выгрузки полученных гранул и дальнейшей их транспортировки. Как выглядит транспортер L-типа можно наблюдать на рисунке 14.



Рисунок 14 – Транспортиёр

Технические характеристики ленточного транспортера представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Технические характеристики транспортера L-профиля

Наименование	Значение
Производительность	5 – 30 м <sup>3</sup> /час
Тип механизма	Червячный
Мощность	4 кВт
Скорость движения транспортерной ленты	0,5 – 1,2 м/с
Ширина ленты	500 мм

Транспортёр имеет довольно износостойкую гладкую ленту толщиной 8 - 10 мм, которая к тому же имеет анти скользящее покрытие.

### **3.6 Расчеты технологической линии производства органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод**

#### **3.6.1 Расчет материального баланса производства гранулированного органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод**

«Материальный баланс производства рассчитывается на 1000 кг готовых гранул. В процессе производства могут наблюдаться следующие потери:

- потери в виде летучих продуктов при гранулировании, сушке и в виде пыли при резке;
- потери при загрузке сырья в оборудование;
- потери на анализ сырья и готовой продукции» [9].

«Для удобства расчета составлена таблица возвратных и безвозвратных потерь на каждой стадии технологического процесса подготовки незагрязненного полиэтилена к производству гранул. Исходные данные для расчета материального баланса представлены в таблице 21» [9].

Таблица 21 – Исходные данные для расчёта материального баланса

«Стадия	Потери, %	
	Возвратные	Безвозвратные
Смешение	1,15	0,26
Дробление	4,9	0,09
Агломерация	3,5	0,12
Гранулирование	4,1	0,3
Складирование	1	0
Всего	14,65	0,77» [17]

«Исходя из данных таблицы, можно рассчитать количество необходимого сырья для получения 1000 кг гранул» [9].

«Находим массовую долю потерь на стадии складирования по формуле (1)» [9]:

$$M = \frac{m \cdot w}{100}, \quad (1)$$

где M - масса полиэтилена на конкретной стадии подготовки сырья, т;

w - процентная доля потерь, %;

m - масса сырья, т [9].

$$M1 = \frac{1 \cdot 1}{100} = 0,01 \text{ т}$$

«Находим массовую долю потерь на стадии гранулирования по формуле (1)» [9]:

$$M2 = \frac{1 \cdot (4,1 + 0,3)}{100} = 0,044 \text{ т}$$

«Находим массовую долю потерь на стадии агломерации по формуле (1)» [35]:

$$M3 = \frac{1 \cdot (3,5 + 0,12)}{100} = 0,0362 \text{ т}$$

«Находим массовую долю потерь на стадии дробления по формуле (1)»  
[9]:

$$M4 = \frac{1 \cdot (4,9 + 0,09)}{100} = 0,0499 \text{ т}$$

«Находим массовую долю потерь на стадии смешения по формуле (1)»  
[9]:

$$M5 = \frac{1 \cdot (1,15 + 0,26)}{100} = 0,0141 \text{ т}$$

«Рассчитываем необходимое количество сырья для получения 1 т готовой продукции на стадии складирования по формуле (2)» [9]:

$$m_c = m + M1, \quad (2)$$

«где  $m_c$  – масса сырья, необходимая для получения 1 т продукта на стадии складирования, т» [9].

$$m_c = 1 + 0,01 = 1,01 \text{ т}$$

«Рассчитываем необходимое количество сырья для получения 1 т готовой продукции на стадии гранулирования по формуле (3)» [9]:

$$m_r = m + M2, \quad (3)$$

«где  $m_r$  – масса сырья, необходимая для получения 1 т продукта на стадии гранулирования, т» [9].

$$m_{\Gamma} = 1,01 + 0,044 = 1,054 \text{ т}$$

«Рассчитываем необходимое количество сырья для получения 1 т готовой продукции на стадии агломерации по формуле (4)» [9]:

$$m_a = m + M3, \quad (4)$$

«где  $m_a$  – масса сырья, необходимая для получения 1 т продукта на стадии агломерации, т» [9].

$$m_a = 1,054 + 0,0362 = 1,0902 \text{ т}$$

«Рассчитываем необходимое количество сырья для получения 1 т готовой продукции на стадии дробления по формуле (5)» [9]:

$$m_d = m + M4, \quad (5)$$

«где  $m_d$  – масса сырья, необходимая для получения 1 т продукта на стадии дробления, т» [9].

$$m_d = 1,0902 + 0,0499 = 1,1401 \text{ т}$$

«Рассчитываем необходимое количество сырья для получения 1 т готовой продукции на стадии смешения по формуле (6)» [9]:

$$m_{\text{см}} = m + M5, \quad (6)$$

«где  $m_{\text{см}}$  – масса сырья, необходимая для получения 1 т продукта на стадии смешения, т» [9].

$$m_{\text{см}} = 1,401 + 0,0141 = 1,4151 \text{ т}$$

«Рассчитано необходимое количество сырья для получения 1 т готового продукта с учетом всех потерь на каждой стадии производства. Данные занесены в таблицу 22» [9].

Таблица 22 – Результаты расчёта материального баланса производства гранул [9]

«Стадия	Потери, %		Масса потери, т	Приход, %	Расход, %
	Возвратн ые	Безвозвратн ые			
Смешение	1,15	0,26	0,0141	1,4151 (141,51%)	1,401 (140,1%)
Дробление	4,9	0,09	0,0499	1,401 (140,1%)	1,0902 (109,02%)
Агломерация	3,5	0,12	0,0362	1,0902 (109,02%)	1,054 (105,4%)
Гранулирование	4,1	0,3	0,044	1,054 (105,4%)	1,01 (101%)
Складирование	1	0	0,01	1,01 (101%)	1 (100%)»

«Потери в смесителе обусловлены ручным методом загрузки сырья, а также смешением сыпучих реагентов.

На стадии складирования 1% потерь оставляется на возможный брак продукции» [9].

Выводы по разделу: таким образом, в данном разделе на основе изученных патентов была предложена технологическая линия производства гранулированного органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод и был рассчитан материальный баланс производственного процесса.

### **3.6.2 Экономические расчеты работы технологической линии по производству органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод**

#### **3.6.2.1 Режим работы линии по производству органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод**

«Режим работы линии является отправным материалом для расчета производительности и материального баланса технологического процесса. Режим работы линии по производству органоминерального удобрения принимают – круглосуточный. При круглосуточной работе расчетное количество рабочих суток в году принимают равным 365 суткам. Расчетный годовой фонд времени работы технологического оборудования в часах, на основании которого рассчитывается производственная мощность предприятия в целом и отдельных линий установок» [9], определяется по формуле (7):

$$V_p = C_p \text{ ЧК}_и, \text{ час}, \quad (7)$$

где  $V_p$  - расчетный годовой фонд времени работы технологического оборудования в часах;

$C_p$  - расчетное количество рабочих суток в году;

$\text{Ч}$  - количество рабочих часов в сутки;

$\text{К}_и$  - среднегодовой коэффициент использования технологического оборудования.

«Коэффициент использования технологического оборудования по календарному времени зависит от длительности их остановки на капитальные, средние и текущие механические ремонты. Обычно он принимается равным 0,9 - 0,92» [27].

«Годовой фонд работы оборудования при круглогодичной двухсменной работе в часах составляет» [9]:

$$V_p = 365 \cdot 24 \cdot 0,92 = 8059,2 \text{ час}$$

### **3.6.2.2 Расчет производительности технологической линии по производству органоминерального удобрения**

«За основу расчета берется производительность пресса сепарации, так как он является завершающим инструментом в производстве органоминерального удобрения. Производительность процесса производства органоминерального удобрения в год рассчитывается» [9] по формуле (8):

$$G_{\text{год}} = G_{\text{час}} \cdot V_p \quad (8)$$

«Производительность органоминеральных удобрений в час составляет» [9]  $4,85 \text{ м}^2$ :

$$G_{\text{час}} = 4,85 \text{ м}^2$$

$$G_{\text{год}} = 4,85 \cdot 8059,2 = 39087,1 \text{ м}^2$$

«Таким образом, в год получается  $390871 \text{ м}^2$  готовой продукции.

На  $1 \text{ м}^2$  уходит 8 упаковок удобрения, исходя из этого производительность технологической установки в год» [9], шт:

$$G_{\text{год}} = 39087,1 \cdot 8 = 312696,8 \text{ шт.}$$

В месяц:

$$G_{\text{мес}} = \frac{312696,8}{8059,2} \cdot 24 \cdot 30 = 27936 \text{ шт}$$



«В среднем вес одной упаковки с удобрением составляет 3,5 кг, исходя из этого, находится производительность пресса в тоннах в год» [9]:

$$G_{\text{год}} = \frac{312696,8 \cdot 3,5}{1000} = 1094,44 \text{ т}$$

Производительность в сутки:

$$G_{\text{сут}} = \frac{1094,44}{8059,2} \cdot 24 = 3,26 \text{ т}$$

### 3.6.2.3 Расчет себестоимости продукции

«Для расчета себестоимости удобрения необходимо рассчитать расход электроэнергии» [9].

Потребление электроэнергии за смену:

– транспортер секционный шнековый ТСШ-150 производительностью 8 т/ч, потребляет 4 кВт. Исходя из этого при пропуске 1 т сухого реагента транспортёр проработает 0,125 ч и потратит 0,5 кВт.

– молотковый пневматический измельчитель ДПМ-11 «производительностью 500 кг/ч, потребляет 11 кВт. Для получения измельченной смеси в количестве 1 т необходимо 1000 кг компонентов. Для его приготовления дробилка проработает 2 часа и затратит 22 кВт энергии при этом» [9].

– циклон ЦН-15-300 производительностью при  $V = 2,5$  м/сек 630 м<sup>3</sup>/час, или при  $V = 4,0$  м/сек 1000 м<sup>3</sup>/час, потребляет 6 кВт. Исходя из этого при поступлении 1 т сухого реагента циклон проработает 1 ч и затратит 6 кВт при  $V = 4,0$  м/сек или при  $V = 2,5$  м/сек циклон проработает 1,6 часа и затратит 9,6 кВт.

– смеситель вертикальный шнековый СВШ-3 производительностью 2 – 2,5 т/час, потребляет 5,87 кВт. 1 промес – 2 минуты. «Перемешивает 250 кг за один промес. Для получения 1 т смеси необходимо 4 промеса. Смеситель проработает 8 минут» [9], объем потребляемой энергии составит:

$$V_{п.э.} = \frac{5,87}{60} \cdot 8 = 0,78 \text{ кВт}$$

– «гранулятор формования шнековый типа ФШ производительностью 150 – 400 кг/час, потребляет 5 кВт. Исходя из этого при производстве 1 т гранул гранулятор проработает 2,5 ч и потребит 12,5 кВт энергии» [9].

– мепаратор грубой очистки центробежного типа производительностью 700 м<sup>3</sup>/час, потребляет 7,5 кВт. Получается, что для сепарации 1 т гранул сепаратор проработает 1,43 ч и потребит 10,73 кВт энергии.

– «транспортер ленточный – 4 кВт. Транспортёр работает по времени столько же сколько и сепаратор, то есть 1,43 ч, количество потребляемой энергии составит 5,72 кВт» [9].

«Итого объем потребляемой энергии оборудованием для производства 1 т продукции составит» [9]:

$$V_{п.э.} = 0,5 + 22 + 9,6 + 0,78 + 12,5 + 10,73 + 5,72 = 61,83 \text{ кВт}$$

«В сутки производится 3,26 т готовой продукции, исходя из этого, потребление электроэнергии в сутки составит» [9]:

$$V_{п.э./сут} = 61,83 \cdot 3,26 = 201,57 \text{ кВт}$$

«Освещение 12 кВт/час. В сутки 288 кВт.

Итого в сутки электропотребление в сутки составит 353,54 кВт.

Тариф на электроэнергию на 2022 год: 5,31 руб/кВтч.

Стоимость потребляемой электроэнергии в сутки составит 1877,3 руб.»

[9].

Средняя рыночная стоимость песка составляет 2500 руб/т.

В сутки «производительность линии составляет 3,26 т готовой продукции, на которую будет затрачено» [9]:

$$2500 \cdot 3,26 = 8150 \text{ руб.}$$

«Всего в сутки на 1,06 т готовой продукции, с учетом потребления электроэнергии и стоимости сырья, будет затрачено» [9]:

$$8150 + 1877,3 = 10027,3 \text{ руб.}$$

«В месяц расход составит» [9]:

$$10027,3 \cdot 30 = 300819 \text{ руб.}$$

«Производительность упаковок удобрения в месяц составляет 27936 шт. Исходя из этого, себестоимость одной упаковки составляет» [9]:

$$\frac{300819}{27936} = 10,8 \text{ руб/шт}$$

«Средняя рыночная стоимость плитки составляет 251 руб/шт.

При 100% реализации выручка от продажи в месяц составит» [9]:

$$27936 \cdot 251 = 7011936 \text{ руб.}$$

«Чистая прибыль от производства и продажи органоминерального удобрения составит» [9]:

$$7011936 - 300819 = 6981117 \text{ руб.}$$

### **3.6.2.4 Расчет срока окупаемости оборудования для производства органоминерального удобрения**

Стоимость оборудования, необходимого для запуска производства представлена в таблице 23 [9].

Таблица 23 – Стоимость оборудования, необходимого для запуска производства органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод [11]

Оборудование	Стоимость, руб
Транспортер секционный шнековый ТСШ-150	79350
Молотковый пневматический измельчитель ДПМ-11	148000
Циклон ЦН-15-300	35000
Бункер сыпучей продукции БСП-5	121000
Смеситель вертикальный шнековый СВШ-3	206000
Шнековый гранулятор типа ФШ	115316
Сепаратор грубой очистки центробежного типа	30751
Транспортер L-типа	130000
Наладочные работы	70000
Итого:	935417

При начальных вложениях размером 935417 руб., при условии 100% реализации, срок окупаемости составит около 1 месяца [9].

## Заключение

В результате анализа образования отхода осадка сточных вод было выявлено, что отход обладает высоким удобрительным потенциалом. Отход осадка сточных вод известен как богатый источник питательных веществ: белка, азота, фосфора, калия. Кроме того, он включает в себя большое количество органических веществ, что может способствовать биодоступности макро – и микроэлементов и улучшению структуры почвы. Подтверждена теоретическая возможность использования отхода осадка сточных вод для получения органоминерального удобрения.

В результате сравнительного анализа полученных результатов испытаний осадков сточных вод с иловых карт предприятия на соответствие требованиям ГОСТ Р 54651-2011 определен основной показатель, который не соответствует требованиям - содержание органического вещества, который необходимо увеличить в 2-4 раза для достижения требуемого значения агрохимического показателя.

Также для проведения лабораторных работ была собрана физическая модель пиролизной печи на базе лабораторий Тольяттинского государственного университета.

Был проведен ряд исследований осадка сточных вод после пиролиза при температуре 600 °С и 500 °С на соответствие агрохимических показателей по СанПиН 2.1.7.573 – 96 и ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001. В результате этого анализа было выявлено, что осадок сточных вод после обработки низкотемпературным пиролизом (500 °С) полностью соответствует агрохимическим показателям, а, следовательно, может использоваться в производстве органоминеральных удобрений, что позволяет значительно уменьшить затраты теплоэнергии.

Одним из главных преимуществ использования процесса пиролиза для осадка сточных вод, необходимого для дальнейшей переработки в органоминеральные удобрения, является то, что тяжелые металлы в твердом остатке приобретают валовые формы, становятся менее подвижными.

С целью разработки способов улучшения стабильности показателей отработанного активного ила для соответствия критериям ГОСТ Р 54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод» был проведен патентный поиск методов использования осадка сточных вод в качестве удобрений и предложена принципиальная схема производства органоминерального удобрения, которая позволяет значительно увеличить объем производства органоминерального удобрения, что в свою очередь позволяет значительно уменьшить объемы осадков сточных вод на иловых картах предприятий, рассчитан материальный баланс производственного процесса.

Проведен расчет экономических показателей, так при начальных вложениях размером 935417 руб., при условии 100% реализации, срок окупаемости производства органоминерального удобрения составит около 1 месяца.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Алексеев В. И. Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий: учебное пособие / В. И. Алексеев, Т. Е. Винокуров, Е. А. Пугачев. – М.: Изд – во АСВ, 2003. – 176 с.
2. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Методические рекомендации по изучению эффективности нетрадиционных органических и органоминеральных удобрений. М.: Агроконсалт, 2000.
3. Бережная Н.П. Влияние осадков сточных вод и фосфогипса на свойства почвы и продуктивность озимой пшеницы [Текст] / Н.П. Бережная, В.П. Бережная // Экологический Вестник Северного Кавказа, 2012, Т. 8, № 2, 27 - 29 с.
4. ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001. Охрана природы (ССОП). Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. Введ. 2001 – 10 – 01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 7 с.
5. ГОСТ Р 54651 – 2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Введ. 2013 – 01 – 01. М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.
6. Евилевич, А.З. Осадки сточных вод. Удаление, обработка, использование / А.З. Евилевич. – М.: Стройиздат, 1965. – 324 с.
7. Иваченко Л.Е. Изменение морфологических и биохимических показателей сои при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения [Текст] / Л.Е. Иваченко, В.А. Кашина, Н.И. Ковалёв // Вестник ЧГПУ, 2010, № 4, 338 - 348 с.
8. Коминко Г. Возможность получения органоминеральных удобрений из осадков сточных вод / Галина Коминко, Katarzyna Gorazda, Zbigniew Wzorek// 2015 – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, Рим.

9. Мершиева С.В. Оптимизация технологического процесса производства полимерпесчаных изделий из загрязнённых полиэтиленовых отходов на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» – Тольятти, ТГУ 2020 – 75 с.

10. Молотковый пневматический измельчитель [Электронный ресурс]: <https://trade43.ru/product/molotkovyy-izmelchitel-dm-11-2>.

11. Особенности применения органических, минеральных, органоминеральных и зеленых (сидератов) удобрений в фермерских условиях [Электронный ресурс]: <https://www.fao.org/3/ca0859ru/CA0859RU.pdf>.

12. Патент 2039726 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C05F 7/00. Способ получения органоминерального удобрения / Петров В.Г.; заявитель и патентообладатель: Физико-технический институт со специальным конструкторским бюро Уральского отделения РАН; Оpubл.: 20.07.1995, Бюл. № 12.

13. Патент 2220923 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C02F 11/14, C02F 11/14, C02F 101/ 20. Способ переработки избыточного активного ила, содержащего тяжелые металлы / Зыкова И.В. заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «СКАРАБЕИ»; Оpubл: 10.01.2004 Бюл. № 2.

14. Патент 2463280 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C05F 7/00. Способ получения органоминеральных удобрений из твердофазных техногенных образований на основе осадков сточных вод / Трунова И.Г., Нечаева Е.П., Элькинд К.М., Тишков К.Н., Дикушина М.А. заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ); Оpubл: 10.10.2012 Бюл. № 28.

15. Патент 2588646 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C05F 7/00. Способ и устройство для получения органических удобрений из осадков сточных вод / Марк Бокман, Наталья Струнникова; заявитель и патентообладатель: Х.Л. Клинт Вотер; Оpubл.: 10.07.2016 Бюл. № 19.



16. Патент 2704292 Российская Федерация, МПК7 C05G 1/ 00; C05F 7/ 00; C05C 1/ 00; C05C 9/ 00; C05B 1/ 04; C05D 1/ 02 Минеральное удобрение/ Анисимов А Д, Дмитревский БА, Ермоленко Н. Е., Киселев М.В., Левшин С.И., Степаненко А.И. заявители и патентообладатели Государственное унитарное предприятие «Водоканал Санкт – Петербурга», Общество с ограниченной ответственностью «Центр масштабирования технологий переработки отходов» Оpubл.: 25.10.2016 Бюл. № 30.

17. Патент 2708985 Российская Федерация, МПК C05F 11/02; C05B 13/02 Способ получения натурального органоминерального удобрения на основе фосфоритной муки / Ашихмина Т.Я., Сырчина Н.В., Терентьев Ю.Н., Потапова И.А., Малышева А.В., Мартынов М.В.; заявитель и патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Вятский государственный университет" (ВятГУ); Оpubл.: 12.12.2019 Бюл. № 35.

18. Патент 2712664 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C02F 11/122, C02F 11/148, C05D 3/02, C05D 5/00, C05F 3/00, C05F 7/00. Способ переработки осадков сточных вод на органоминеральные удобрения/ Зеленская Е.А., Гермашева Ю.С., Самойлов В.В.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б.Городовикова. Оpubл: 30.01.2020 Бюл. № 4.

19. Полиевский С. А., Общая и специальная гигиена: учеб. для вузов/ С. А. Полиевский. - Гриф УМО. - Москва: Академия, 2009. - 298 с.

20. СанПиН 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения [Электронный ресурс]: Консорциум кодекс. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru>.

21. Смеситель вертикальный шнековый СВШ-3 [Электронный ресурс]: <https://tolyatti.promportal.su/goods/46767036/smesitel-vertikalniy-shnekoviysvsh-3.htm>.

22. Типовой технологический регламент использования осадков сточных вод в качестве органического удобрения ПротосЭкспертиза. Промышленная и экологическая безопасность. [Текст]. – URL: <https://library.fsetan.ru>.

23. Транспортер секционный шнековый ТСШ-150 [Электронный ресурс]: <https://www.stankoff.ru/product/10714/transporter-shnekovyy-tsh-150>.

24. Федеральный закон от 27 декабря 2002 года: № 184 – ФЗ «О техническом регулировании» // Собрание законодательства РФ. 2002 № 184 – ФЗ.

25. Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО 2017) утвержден Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (взамен ФККО 2016). Действует с 24 июня 2017. (в ред. Приказов Росприроднадзора от 20.07.2017 № 359, от 28.11.2017 № 566, от 02.11.2018 № 451) (в т.ч. с изменениями вст. в силу 08.12.2018).

26. Циклоны ЦН-15 [Электронный ресурс]: <https://www.bzkotlomash.ru/oborudovanie/gaz-ochistka/item/ciklony-cn>.

27. Чувагин Н. Ф. Проектирование участков и цехов для производства пластмассовых изделий: Методические указания для бакалавров, обучающихся по направлению 15.03.01 «Машиностроение» по профилю «Производство изделий из пластмасс». Нижний Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2016. 31 с.

28. Яковлев С.В. Канализация. Учебник для вузов. / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, А.И. Жуков, С.К. Колобанов. – М.: Стройиздат, 1975. – 632 с.

29. Alvarez J. Characterization of the bio-oil obtained by fast pyrolysis of sewage sludge in a conical spouted bed reactor / J. Alvarez, G. Lopez, M. Amutio, M. Artetxe, I. Barbarias, A. Arregi, J. Bilbao, M. Olazar // Fuel Process Technol. – 2016. – Vol. 149. – P. 169–75.

30. De Andrés J.M. Characterisation of tar from sewage sludge gasification. Influence of gasifying conditions: temperature, throughput, steam and use of

primary catalysts/ J.M. De Andrés, E. Roche, A. Narros, M.E. Rodríguez // *Fuel*. – 2016. Vol. 180. – P. 116–126.

31. Fuentes-Cano D. The influence of temperature and steam on the yields of tar and light hydrocarbon compounds during devolatilization of dried sewage sludge in a fluidized bed / D. Fuentes-Cano, A. Gómez-Barea, S. Nilsson, P. Ollero // *Fuel*. – 2013. – Vol. 108. – P. 341–350.

32. Han, H. Effects of reaction conditions on the emission behaviors of arsenic, cadmium and lead during sewage sludge pyrolysis / H. Han, S. Hu, S.S.A. Syed-Hassan, Y. Xiao, Y. Wang, J. Xu, L. Jiang, S. Su, J. Xiang // *Bioresour. Technol.* – 2017. – Vol. 236. – P. 138–145.

33. Kan, T. Lignocellulosic biomass pyrolysis: a review of product properties and effects of pyrolysis parameters / T. Kan, V. Strezov, T.J. Evans // *Renew. Sustain. Energy Rev.* – 2016. – Vol. 57. – P. 1126–40.

34. Stambach M.R. Pyrolysis of sewage sludge in a fluidized bed / M.R. Stambach, B. Kraaz, R. Hagenbucher, W. Richarz // *Energy Fuels*. –1989. – Vol. 3. – P. 255–259.

35. Syed-Hassan Syed Shatir A. Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations / A. Syed Shatir Syed-Hassan, Yi Wanga, Song Hua, Sheng Sua, Jun Xiang // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Vol. 80. – P. 888–913.

36. Urban, D.L. Study of the kinetics of sewage sludge pyrolysis using DSC and TGA / D.L. Urban, M.J. Antal // *Fuel*. – 1982. – Vol.61. – P. 799–806.