

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»



На правах рукописи

**Телюбаев Жаслан Барлыкович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА  
В БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКЕ С ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕМ ШЛАМА**

2.4.5. Энергетические системы и комплексы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург – 2024

Работа выполнена на кафедре «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,  
**Шерязов Сакен Койшыбаевич**

Официальные оппоненты: **Бондаренко Анатолий Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Ростовская обл., г. Зерноград, заведующий кафедрой «Землеустройство и кадастры» Азово-Черноморского инженерного института;

**Велькин Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор кафедры атомных станций и возобновляемых источников энергии;

**Васильев Филипп Александрович**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского», заведующий кафедрой технического обеспечения АПК

Защита диссертации состоится «24» октября 2024 г. в 14:30 ч на заседании диссертационного совета УрФУ 2.4.07.17 по адресу: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд. И-420 (зал Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»: <https://dissovet2.urfu.ru/mod/data/view.php?id=12&rid=6248>

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Ташлыков Олег Леонидович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Обеспечение продовольственной безопасности страны в настоящее время, в условиях санкционной политики, является важной задачей. При этом необходимо создать условия для развития сельского хозяйства, в том числе животноводства, в частности.

Развитие животноводства связано с необходимостью утилизации отходов, образующиеся в процессе жизнедеятельности скота. Существуют различные методы утилизации отходов животноводства. В число основных способов утилизации входит биогазовая технология, которая позволяет сохранить питательные вещества в шламе, после переработки биоотходов, в то время как при других способах переработки они теряются.

Биогазовая технология предполагает переработку отходов животноводства с получением биогаза и использованием отработанного шлама в качестве органического удобрения. Известно, что от 1 т навоза КРС можно получать 45-60 м<sup>3</sup> биогаза, который при сгорании может заменить до 48 м<sup>3</sup> природного газа, до 42 кг мазута, до 100 кг дров и т.д.

Переработка отходов животноводства возможна в биогазовой установке (БГУ) в психрофильном, мезофильном и термофильном режимах. При этом возвращение шлама после переработки, в качестве биоудобрения, в пахотные земли является результатом переработки отходов и восстановлением природных ресурсов. Однако качество шлама должно соответствовать требованиям, в первую очередь по содержанию патогенных микроорганизмов.

Анализ известных исследований показывает, что термофильный режим высокой температурой 50-80°C, способен обеззараживать патогенные микроорганизмы, содержащиеся в отходах животноводства. Однако данный режим потребует значительный расход энергии на поддержание температурного режима и процесс переработки становится энергоемким.

Менее энергоемкой является переработка отходов животноводства в мезофильном режиме БГУ, что рекомендуется РД-АПК1.0.15.02-17. Однако исследования качества шлама показали увеличение патогенных микроорганизмов, так попавшие в биореактор бактерии группы кишечной палочки (БГКП) количественно увеличиваются в среде сбраживания. Полученные органические удобрения способны заразить почву и сельскохозяйственные угодья.

Таким образом, переработка биоотходов в мезофильном режиме БГУ создает проблемную ситуацию: с одной стороны, позволяет утилизировать отходы животноводства путем сбраживания их и получить биогаз и шлам с минимальными энергозатратами, а с другой стороны получаемый шлам способен нанести ущерб окружающей среде. В этих условиях важно обеззараживание шлама после переработки отходов животноводства в биореакторе БГУ.

Утилизация отходов животноводства с соблюдением требований охраны окружающей среды от загрязнения имеет исключительно важное значение. В ходе переработки в БГУ, наличие патогенных микроорганизмов в отходах животноводства требуют обеззараживания специальным методом.

Для обеззараживания различных субстратов существуют физико-химические, химико-биологические и другие методы. Для очистки сточных вод активно применяется гидродинамическая кавитация. Поскольку переработка отходов в БГУ происходит в высоко влажной среде, метод обеззараживания шлама в кавитационном поле является наиболее актуальным в настоящее время.

**Степень разработанности темы исследования.** Анализ существующих методов утилизации отходов животноводства показывает перспективность анаэробной переработки. В изучение процесса анаэробного сбраживания большой вклад внесли зарубежные и отечественные ученые: Андрюхин Т.Я., Баадер В., Беккер М., Блумберг Д., Бондаренко А.М., Васильев Ф.А. Велез Д., Велькин В.И., Гриднев П.И., Гюнтер Л.И., Дихтл Н., Друзьянова В.П., Дубровскис В., Евтеев В.К., Заварзин Г.А., Зейфрид К., Зупанчич Г., Ковалев А.А., Ковалев А.А., Крауткремер Б., Линке Б., Маслич В., Мельник Р.А., Някоу С., Панцхава Е.С., Пузанков А.Г., Розенвинкель К., Саплин Л.А., Шмак Д., Шрамков В.М., Щеклеин С.Е. и др.

Перспективным методом обеззараживания шлама, который способен удовлетворить требования ГОСТ 33380-2015, является гидродинамическая кавитация. Исследованию кавитации посвящены работы Васильевой Н.Б., Дубровской О.Г., Коршевой А.С., Рябчинского А.С. и др.

Для эффективного обеззараживания шлама методом гидродинамической кавитации требуется обоснование оптимальных конструктивных и режимных параметров генератора кавитации. Требуется оценить эффективность переработки биоотходов в мезофильном режиме БГУ с обеззараживанием шлама относительно термофильного режима, при котором считается полное подавление патогенных микроорганизмов. При этом важную роль играет процесс обеззараживания шлама с оптимальными параметрами гидродинамической кавитации с минимальными энергозатратами.

На основе вышеизложенного выдвинута **гипотеза** о том, что качественная утилизация отходов животноводства в мезофильном режиме БГУ возможна с обеззараживанием шлама в кавитационном поле за счет существующих оптимальных параметров гидродинамической кавитации и взаимосвязи конструктивных и режимных параметров генератора кавитации, оказывающие влияние на степень обеззараживания шлама и качество органического удобрения.

Таким образом, разработка технологии утилизации отходов животноводства, способствующая созданию энергосберегающего производства по получению источника энергии в виде биогаза и органического удобрения для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и кормовой витаминной добавки, с соблюдением экологической безопасности является актуальной задачей, имеющее научное и практическое значение.

**Цель работы:** повышение энергетической эффективности переработки отходов животноводства в биогазовой установке с обеззараживанием шлама в кавитационном поле.

Исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Обосновать метод оценки энергетической эффективности переработки отходов животноводства при метановом сбразивании в биогазовой установке.
2. Определить энергетические показатели обеззараживания шлама на основе обоснованных параметров кавитационного генератора.
3. Исследовать энергетические показатели метанового сбразивания и гидродинамической кавитации с учетом степени обеззараживания шлама.
4. Произвести оценку энергетической эффективности биогазовой установки с обеззараживанием шлама в кавитационном поле и разработать рекомендации.

**Объект исследования:** процесс утилизации отходов животноводства с обеззараживанием шлама в кавитационном поле.

**Предмет исследования:** взаимосвязь энергетических показателей БГУ с обеззараживанием шлама с режимными и конструктивными параметрами кавитационного генератора.

#### **Научная новизна исследования**

1. Разработан метод оценки энергетической эффективности процесса утилизации отходов животноводства в биогазовой технологии с обеззараживанием шлама.
2. Создана математическая модель оценки энергетических показателей кавитации на основе установленной взаимосвязи конструктивных и режимных параметров кавитационного генератора.
3. Установлена зависимость степени обеззараживания шлама от конструктивных и режимных параметров кавитационного генератора.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Результаты теоретических исследований технологии переработки биомассы в БГУ с использованием гидродинамической кавитации, позволяют установить зависимости степени обеззараживания шлама от скорости потока жидкости и числа циклов обработки.

Полученные результаты позволяют разработать технологию переработки отходов животноводства для повышения качества шлама как удобрения и для эффективности использования биогазовых технологий.

**Методология и методы исследования.** Теоретическая часть исследования выполнена с использованием методов и методик, применяемых в электро-технологии, физике, математике и биологии. Экспериментальные исследования и их обработка проводились в лабораторных условиях с использованием известных, отработанных методов, современных приборов и оборудования, а также основных положений теории вероятности и математической статистики.

#### **На защиту выносятся следующие положения:**

- метод оценки энергетической эффективности переработки отходов животноводства при метановом сбразивании;

- энергетические показатели гидродинамической кавитации для обеззараживания шлама;
- взаимосвязь конструктивных и режимных параметров кавитационного генератора;
- зависимость числа (интенсивности) кавитации от параметров кавитационного генератора;
- экспериментальные данные и их результаты, позволяющие установить зависимость степени обеззараживания от конструктивных и режимных параметров кавитационного генератора и энергетические затраты на обеззараживание;
- зависимость степени обеззараживания шлама в зависимости от параметров кавитационного генератора;
- имитационная модель БГУ для оценки энергетических показателей переработки отходов животноводства.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач исследования, разработке аналитических выражений, программы и методик проведения экспериментальных исследований, проведении экспериментальных исследований, анализе и интерпретации опытных данных, формулировке выводов и рекомендаций.

**Степень достоверности и апробация результатов исследования.** Достоверность работы подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на заседаниях кафедры энергообеспечение и автоматизация технологических процессов ФГБОУ ВО Челябинского Южно-Уральского ГАУ, на Международных научно-технических конференциях: «Достижения науки - агропромышленному производству» г. Челябинск, 2015-2018 гг; на Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Министерства сельского хозяйства РФ. (г. Москва, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева) в 2017 г., на форуме «Наука будущего – наука молодых» 2017 г, организованном Министерством образования и науки РФ (Нижний Новгород, Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского), на VII научно-практической с международным участием конференции «Чтения И. П. Терских» в Иркутском ГАУ в 2017 г., на международной научно-практической конференции «Приоритетные направления развития энергетики в АПК» в Курганском ГАУ в 2017-2018 гг., также результаты работы прошли апробацию при участии в конкурсе «Инженер года» по итогам 2018 года, где работа заняла призовое место.

**Публикации.** По результатам исследования опубликовано 30 научных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 3 статьи в изданиях, входящие в наукометрическую базу Scopus, 2 патента РФ на использование полезной модели.

**Структура и объем диссертации.** В работе содержится введение, четыре главы, заключение и список использованной литературы, включающего в себя 106 наименований, которые изложены на 123 страницах текста, содержащее 43 рисунка и 7 таблиц и приложения.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Постановка цели и задач, степени разработанности темы и обоснование ее актуальности содержится во введении. Также во введении кратко изложены основные положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, степень достоверности и апробация результатов работы.

**В первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» рассматривается анализ источников литературы и существующих методов обеззараживания, приведены основные требования к оборудованию и технологиям для переработки отходов животноводства. Рассмотрены недостатки способов переработки отходов животноводства и приведены данные исследования шлама на наличие патогенных микроорганизмов после промышленной биогазовой установки, обоснована необходимость обеззараживания шлама.

Рассмотрены данные об энергии, затраченной на собственные нужды биогазовой установкой в мезофильном и термофильном режимах в разное время брожения, полученной при использовании биогаза (Рисунок 1).

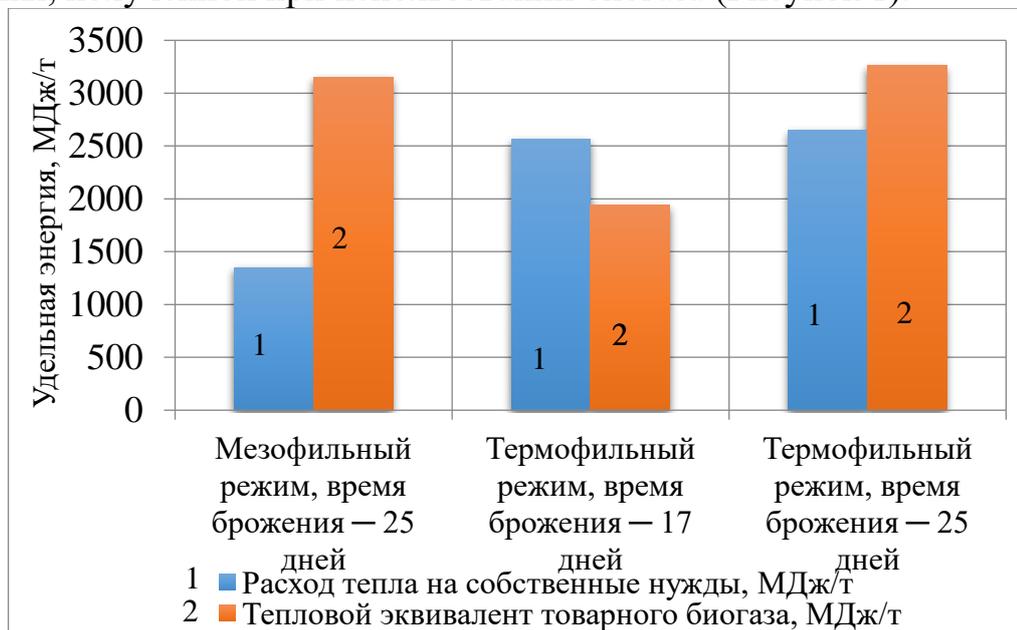


Рисунок 1 – Энергия, затраченная на собственные нужды биогазовой установки в мезофильном и термофильном режимах и разном времени брожения, и энергия, полученная от использования выработанного биогаза.

Анализ данных показывает, что термофильный режим вырабатывает большее количество биогаза, однако данный режим потребует значительный расход энергии на поддержание температурного режима, а выработанная энергия от биогаза не покрывает затраты на собственные нужды установки. С

точки зрения энергозатрат мезофильный режим метанового брожения биоотходов будет более выгодным, чем термофильный.

Исследования шлама, проведенные в ФГБУ «Челябинской МВЛ», показали, что попавшие в биореактор бактерии группы кишечной палочки увеличиваются в среде сбраживания. Шлам в мезофильном режиме содержит патогенные микроорганизмы, не соответствует требованиям ГОСТа 33380-2015 и способен заразить почву и земельные угодья в целом. Следовательно, требуется обеззараживание шлама.

Перспективным направлением обеззараживания шлама является исследование бактерицидного воздействия гидродинамической кавитации на бактерии группы кишечной палочки. Выявлено, что разрушающее воздействие на микроорганизмы оказывает механическая составляющая гидродинамической кавитации, за счёт сил, связанных с образованием и схлопыванием каверн, а электрические, химические, электрохимические и термодинамические процессы являются сопутствующими. Недостаточные исследования по обеззараживанию шлама сдерживают развитие биогазовых технологий.

По результатам анализа состояния вопроса определены цели и задачи дальнейшего исследования.

Во **второй главе** «Теоретическое исследование процесса обеззараживания шлама при анаэробной переработке отходов животноводства» исследованы тепловой баланс БГУ с оценкой энергетических показателей, а также конструктивные, режимные параметры кавитационного генератора, выполненного в виде трубки Вентури.

При рассмотрении технологии переработки отходов животноводства появляется необходимость обоснования термофильного или мезофильного режима и процесса обеззараживания. Выбор эффективного режима переработки биомассы можно производить по затратам на процессы.

Основные затраты на переработку биомассы приходятся на потребляемую энергию. Для выбора эффективного режима переработки рассмотрим энергетические показатели указанных режимов.

Мезофильный режим, который рекомендован РД-АПК 1.10.15.02-17 с обеззараживанием шлама в кавитационном поле будет выгоден в случае, если затрачиваемая энергия на работу БГУ будет меньше либо равна энергетическим затратам при работе в термофильном режиме, когда согласно ГОСТ Р 53790-2010 устанавливаются более жесткие требования к технологии переработки. При этом важно определить условия эффективного обеззараживания шлама в кавитационном поле.

Эффективность использования кавитационной установки определяется из условия:

$$E_{\text{МФ}} + E_{\text{обез}} \leq E_{\text{ТФ}} \quad (1)$$

Для оценки эффективности переработки и обеззараживания отходов в БГУ вводится коэффициент эффективности:

$$K_{\text{эф}} = \frac{E_{\text{обез}}}{E_{\text{ТФ}} - E_{\text{МФ}}} \leq 1 \quad (2)$$

Таким образом, оценка эффективности переработки и обеззараживания органических отходов в БГУ требует исследования:

1. Энергетических затрат на работу БГУ в термофильном и мезофильном режимах и их разницу ( $\Delta E = E_{ТФ} - E_{МФ}$ );
2. Энергетических затрат на работу кавитационного генератора при обеззараживании шлама ( $E_{обез}$ ).

Общие затраты энергии для поддержания процесса переработки в БГУ можно представить, как

$$E_{БГУ} = E_{под} + E_{пот} + E_{мех} \quad (3)$$

где  $E_{под}$  – количество теплоты, требуемое для подогрева загружаемой массы до температуры процесса брожения, кВт·ч;  $E_{пот}$  – потери через стенки реактора в окружающую среду, кВт·ч;  $E_{мех}$  – затраты энергии на перемешивание биомассы, кВт·ч.

Определение разности энергетических затрат на работу БГУ в термофильном и мезофильном режимах:

$$\Delta E = \left[ \left( m_{сутэк} \cdot C_c \cdot \frac{1}{\eta} + 24 \cdot k \cdot F \right) \cdot (T_{прТФ} - T_{прМФ}) \right] = a \cdot \Delta T \quad (4)$$

где  $a$  – коэффициент, характеризующий конструктивные и режимные параметры технологического процесса БГУ;

Анализ приведенных выражений показывает, что потребная энергия, затраченная на процесс сбраживания, зависит от температуры среды. Согласно ГОСТ Р 52808-2007, температура брожения в мезофильном режиме составляет от 20°C до 40°C включительно, а в термофильном – свыше 40°C до 60°C включительно. Таким образом, энергетических затрат на термофильный режим требуется больше, чем на мезофильный.

На процесс кавитации влияют режимные (скорость, давление, расход и др) и конструктивные параметры трубки Вентури. При этом затрачиваемая энергия на обеззараживание шлама в кавитационном поле должна стремиться к минимуму ( $E_{кав} \rightarrow min$ ).

Для снижения энергозатрат на процесс обеззараживания в кавитационном поле необходимо исследовать взаимосвязь конструктивных и режимных параметров кавитационного генератора. К основным конструктивным параметрам трубки Вентури, влияющим на процесс кавитации относятся: диаметр узкой части трубки ( $d_2$ ), диаметр диффузора ( $d_1$ ), угол расширения диффузора ( $\beta$ ), длина диффузора ( $l_{диф}$ ) (рисунок 2).

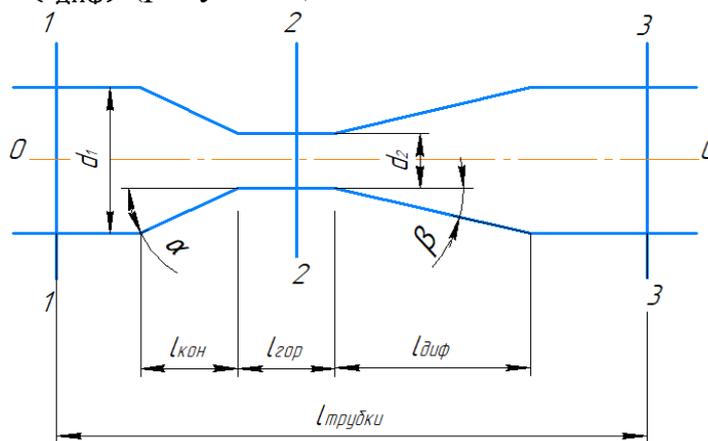


Рисунок 2 – Расчетная схема трубки Вентури

Диаметр  $d_2$  зависит от размеров шламов и минимальное значение можно ограничить требованием ГОСТ Р 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства». Согласно нему размер частиц удобрений не

должен превышать 10 мм, тогда диаметр узкой части трубки Вентури ( $d_2$ ) рассматривается от 10 мм и более.

Для определения давления и скорости потока в узкой части трубки Вентури и диффузоре составим уравнения Бернулли для идеальной жидкости в сечениях 2-2 и 3-3 (рисунок 2):

$$\frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{P_3}{\rho \cdot g} + \frac{v_3^2}{2 \cdot g}, \quad (5)$$

где  $P_2, P_3$  – соответственно давление в сечениях 1-1, 3-3;  $v_1, v_3$  – скорость потока в сечениях 1-1, 3-3 соответственно;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

Для определения разности давлений ( $\Delta P$ ) произведем необходимые преобразования и получим:

$$\Delta P = \frac{v_2^2 \cdot \rho}{2} \left(1 - \frac{1}{n^4}\right) \quad (6)$$

где  $n$  – степень расширения.

$$n = \frac{d_1}{d_2}$$

где  $d_1$  – диаметр в сечении 1-1, мм;  $d_2$  – диаметр в сечении 2-2, мм.

Результаты исследования зависимости разности давлений ( $\Delta P$ ) от степени расширения ( $n$ ) при разной скорости жидкости в узкой части трубки Вентури ( $v_2$ ) приведена на рисунке 3.

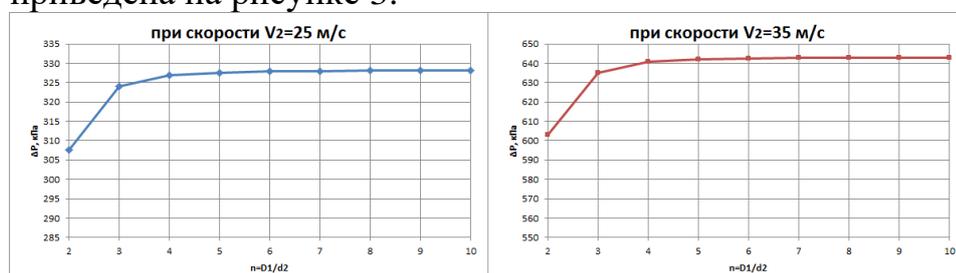


Рисунок 3 – Зависимость разности давлений от степени расширения

Из анализа данных рисунка 3 следует, что при степени расширения равной 4 и более не происходит значительного изменения разности давлений, важной для процесса кавитации, в подавлении патогенных микроорганизмов. С ростом  $n$  теряется больше энергии, идущей на преодоление сопротивления, таким образом, оптимальным показателем степени расширения будет  $n=4$ .

В целях энергосбережения в процессе кавитации важно исследовать сопротивления, оказываемые потоку жидкости и потребляемой мощности. Сопротивления зависят от конструктивных параметров трубки Вентури.

Коэффициент местного сопротивления диффузора складывается из коэффициента сопротивления трения диффузора  $\xi_{\text{ТР.Д}}$  и коэффициента сопротивления расширения диффузора  $\xi_{\text{РАСШ.Д}}$ :

$$\xi_{\text{Д}} = \xi_{\text{ТР.Д}} + \xi_{\text{РАСШ.Д}} \quad (7)$$

ИЛИ

$$\xi_D = 3.2 \cdot \left(\tan \frac{\beta}{2}\right)^{1.25} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_1}\right)^2 + \frac{\lambda}{8 \cdot \sin \frac{\beta}{2}} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_1}\right) \quad (8)$$

Результаты исследования коэффициента гидравлического сопротивления и длины диффузора в зависимости от угла расширения диффузора приведены на рисунках 4 и 5 соответственно.

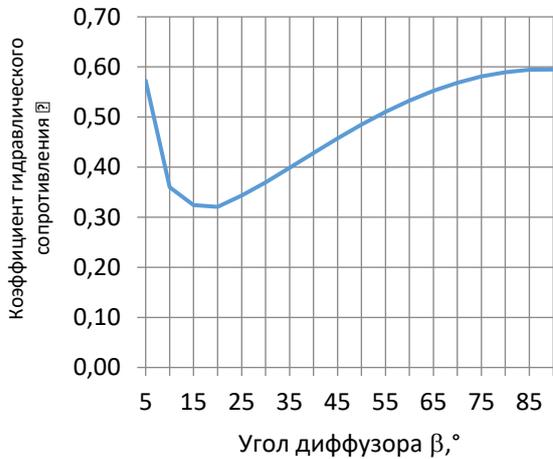


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ( $\xi$ ) от угла расширения диффузора ( $\beta$ ).

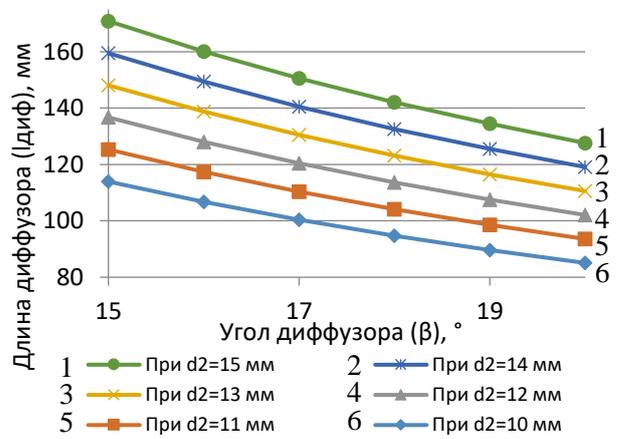


Рисунок 5 – Зависимость длины диффузора ( $L_{\text{диф}}$ ) от его угла расширения ( $\beta$ ) при различных диаметрах узкой части трубки ( $d_2$ ).

Анализ зависимости приведенном на рисунке 4 показывает, что при степени расширения  $n=4$  и углах расширения диффузора от  $15^\circ$  до  $20^\circ$  ожидается наименьший коэффициент гидравлического сопротивления, а следовательно наименьшие энергетические потери. На рисунке 5 при изменении угла расширения диффузора от  $15^\circ$  до  $20^\circ$  происходит увеличение длины диффузора, следовательно, увеличение размеров конструкции.

Результаты исследования конструктивных параметров и их взаимосвязь показали, что необходимо выбирать диаметр в узкой части трубки ( $d_2$ ), диаметр в широком сечении трубки ( $d_1$ ) и степень расширения ( $n$ ), а также угол расширения ( $\beta$ ) и длину диффузора ( $L_{\text{диф}}$ ).

Степень обеззараживания шлама зависит от числа кавитации и определяющим является режимный параметр скорость потока жидкости в узкой части трубки Вентури. Скорость потока жидкости в свою очередь позволяет определить производительность установки при заданных конструктивных параметрах.

Известно, что интенсивность кавитации характеризуется его числом и она проявляется при числе кавитации ( $k$ ) равной 1 и ниже. Снижение числа кавитации сопровождается значительным потреблением энергии. Также известно, что кавитация переходит в режим «суперкавитации» при  $k \leq 0,47$ . На рисунке 6 представлена зависимость числа кавитации от скорости потока жидкости.

Анализ зависимости показывает, что для обеспечения числа кавитации  $0,47 \dots 1$  требуется создать скорость потока в пределах  $26 \dots 38$  м/с. Для более интенсивной кавитации необходимо увеличивать скорость потока жидкости,

что сопровождается ростом потребляемой энергии. Тогда необходимо установить оптимальный режим кавитации по расходу затрачиваемой энергии.

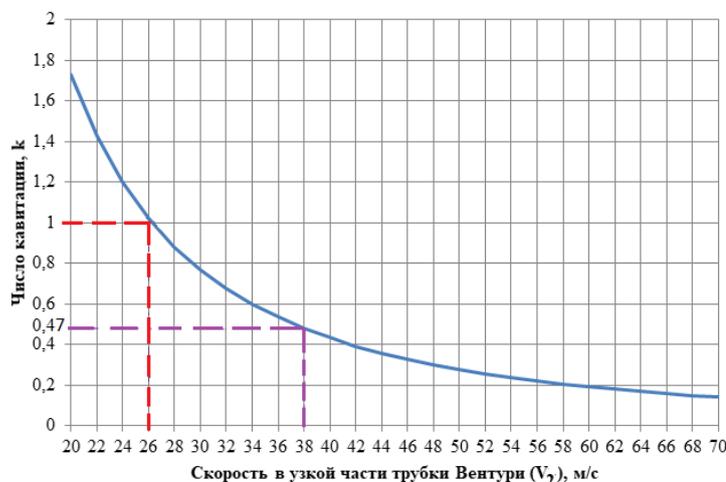


Рисунок 6 – Зависимость числа кавитации от скорости жидкости в узкой части трубки Вентури

Для определения энергии, затрачиваемой на работу кавитационного генератора при обеззараживании шлама ( $E_{\text{кав}} = (P \cdot \tau)$ ), необходимо найти зависимость между основными режимными параметрами, влияющими на мощность кавитационного генератора ( $v_2$ ,  $\Delta P$ ,  $k$ ), и время работы кавитационного генератора ( $\tau$ ). Для определения энергетических затрат кавитационного генератора составим уравнение мощности, потребляемой двигателем кавитационного генератора:

$$P = P_H + P_r + P_{\Delta H} + P_{\text{х.х.}}, \quad (9)$$

где  $P_H$  – мощность, идущая на повышение напора жидкости, Вт;  $P_r$  – мощность, затрачиваемая на преодоление гидравлических сопротивлений, Вт;  $P_{\Delta H}$  – мощность, затрачиваемая на создание остаточного напора  $\Delta H$ , Вт;  $P_{\text{х.х.}}$  – (мощность холостого хода), Вт.

На рисунках 7 и 8 представлены зависимости затрачиваемой энергии от объема шлама при разных количествах циклов и от скорости потока жидкости, при разной продолжительности процесса соответственно.

Для выбора оптимальных конструктивных параметров было проведено моделирование с вариацией диаметра горловины ( $d_2$ ) от 10 мм до 15 мм. Исследование трубки Вентури с диаметром  $d_2$  менее 10 мм не актуально, поскольку узкая часть трубки с таким диаметром будет забиваться шламом, вследствие того, что органические отходы измельчаются до 10 мм.

Анализ данных рисунка 7 показывает, что при увеличении количества циклов и объема субстрата увеличивается потребляемая энергия.

Приведенные зависимости на рисунке 8 показывают, что при диаметре узкой части трубки Вентури равной 10 мм потребная мощность находится в пределах от 0,30 до 0,45 кВт. При большем диаметре равной 15 мм потребная мощность составляет 0,7 ... 1 кВт, при 20 мм - 1,2 ... 1,75 кВт и т.д.

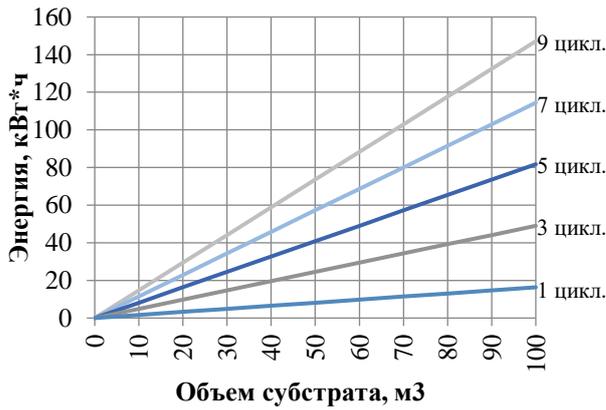


Рисунок 7 – Зависимость затрачиваемой энергии на обработку в кавитационном поле от объема шлама при разных количествах циклов

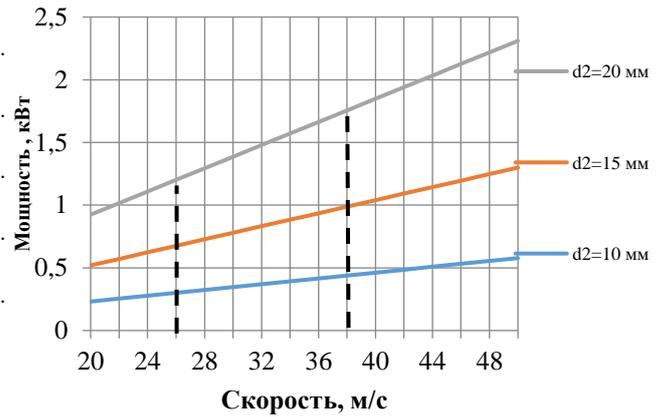


Рисунок 8 – Зависимость затрачиваемой энергии на обеззараживание от скорости потока жидкости при разных диаметрах узкой части трубки Вентури.

Анализ данных показывает, что увеличение диаметра узкой части трубки Вентури для повышения производительности кавитационного генератора, соответственно обеззараживание шлама приводит к росту потребляемой мощности. Так увеличение диаметра в 1,5 раза приводит к росту потребной мощности в 2 раза, а увеличение диаметра в 2 раза приводит к росту потребной мощности в 4 раза.

Таким образом, увеличение производительности обеззараживания шлама за счет увеличения диаметра узкой части трубки Вентури приводит к быстрому росту потребляемой мощности. Рост производительности обеззараживания только за счет увеличения диаметра трубки приводит к значительным энергозатратам и снижает энергоэффективность технологического процесса.

Результаты визуального (рисунок 9) и численного (рисунок 10) моделирования показывает, что уменьшение диаметра узкой части трубки Вентури приводит к наибольшей разности давлений и соответственно к более эффективному обеззараживанию (чем давление выше, тем краснее жидкость, чем давление ниже, тем больше преобладает жидкость синего цвета). Из исследуемых диаметров наиболее эффективной является трубка Вентури с диаметром горлышка 10 мм, что объясняется большей разностью давлений.

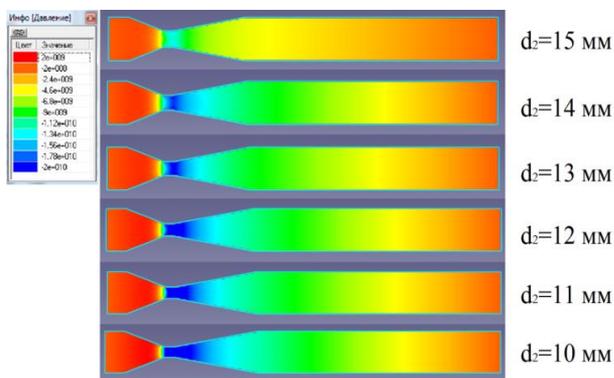


Рисунок 9 – Визуальный результат математического моделирования в ПК FlowVision кавитации в трубке Вентури в зависимости от диаметра горловины

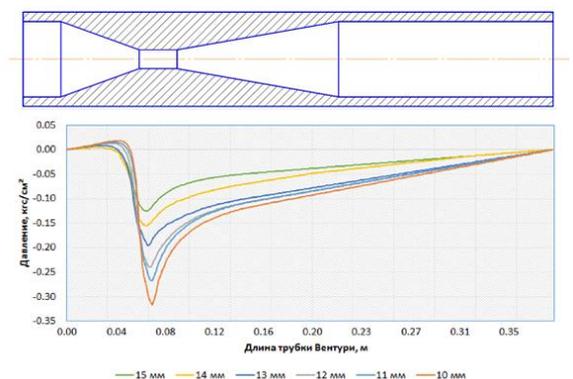


Рисунок 10 – Результаты математического моделирования процесса кавитации в трубке Вентури

Математическое моделирование режимных и конструктивных параметров показало, что наиболее эффективным обеззараживанием обладает кавитационный генератор с диаметром горлышка 10 мм, при котором происходит резкий скачок давления в диффузоре и температуры, которые вызывают гибель микроорганизмов. Дальнейшее уменьшение диаметра не целесообразно из-за наличия в шламе частиц до 10 мм.

На основании вышеизложенных исследований разработана номограмма для определения энергетических затрат на кавитацию (рисунок 11).

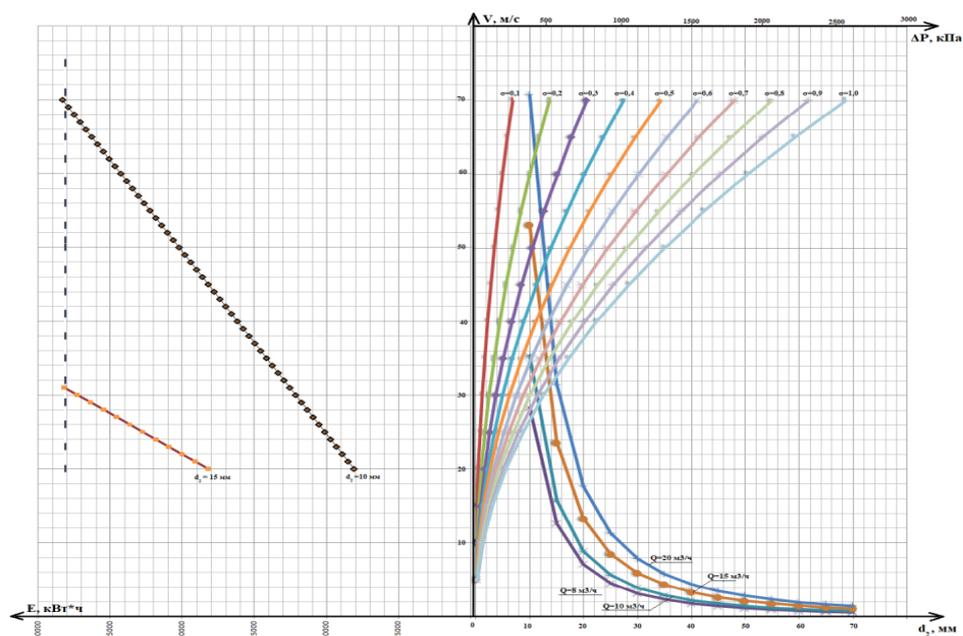


Рисунок 11 – Номограмма для определения энергетических затрат на кавитацию

Разработанная номограмма позволяет, исходя из заданных конструктивных и режимных параметров, определять характеристику процесса кавитации и энергетические затраты на нее, с учетом её ограничения. Зная расход жидкости и диаметр узкой части трубки Вентури, по номограмме определяем скорость жидкости, число кавитации и затраты энергии на обеззараживание.

**В третьей главе** «Экспериментальные исследования обеззараживания шлама в кавитационном поле» приводится методика проведения экспериментальных исследований с оценкой основных погрешностей, влияющих на микроорганизмы гидродинамической кавитации, а также технология выполнения биоанализов и описание самой экспериментальной установки.

Для начала были определены методики оценки биоцидного воздействия гидродинамической кавитации и параметры её воздействия на бактерии группы кишечной палочки и определена методика проведения экспериментов.

Лабораторная установка представляет собой систему (рисунок 12), основными узлами которой являются: высоконапорная мотопомпа типа Zongshen HG30 (расход до 750 л/мин, максимальная высота напора 75 м), всасывающий и нагнетающий трубопровод, на котором находятся расходомер, исходный и приемный резервуар, кавитационный генератор типа труба Вентури, шаровые краны, манометр с мембранным разделителем и вакуумметр с мембранным

разделителем. Контроль за протеканием кавитационных процессов осуществляется как визуально, так и с помощью манометров и вакуумметров. Отбор проб производился до и после кавитационного генератора. Лабораторный стенд приведен на рисунке 13.

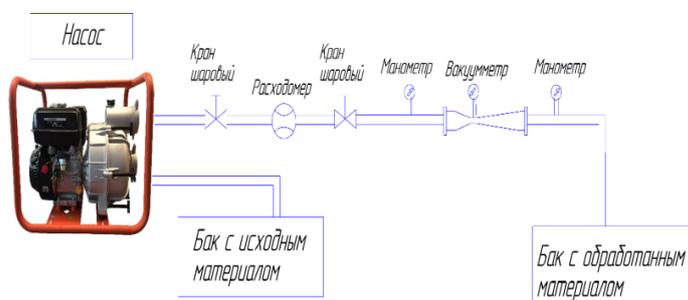


Рисунок 12 – Схема гидродинамической установки кавитационного обеззараживания



Рисунок 13 – Лабораторный стенд для исследования процесса кавитации.

Сменные кавитационные генераторы изготовлены из стержня оргстекла позволяющими вести визуальное наблюдение, фотографирование и видеосъемку.

На расчетных и экспериментальных данных, были получены данные о мощности насоса приведённые на рисунке 14.

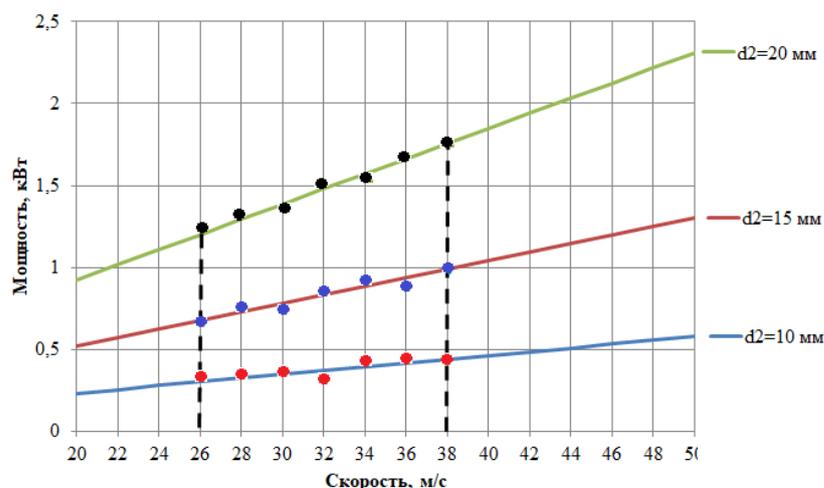


Рисунок 14 – Зависимость затрачиваемой энергии на обработку в кавитационном поле от скорости потока жидкости при разных диаметрах узкой части трубки Вентури и полученные экспериментальные данные.

Анализ данных показывает, что полученные теоретические данные удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными по критерию Пирсона. Так на уровне 5%  $\chi^2_{\text{эмп}}=0,98 < \chi^2_{\text{крит}}=12,59$ .

Обработка шлама проводилась в течение трех циклов. Для исследования бактерицидного воздействия гидродинамической кавитации на шлам была произведена оценка степени ее влияния на бактерии группы кишечной палочки.

При проведении эксперимента БГКП выращивали в течение 24 часов на плотной питательной среде и разводили до необходимой концентрации физиологическим раствором.

О степени биоцидного действия исследуемых факторов судили по количеству колониеобразующих единиц БГКП, используя известный тест для определения БГКП «Петритест подложка» помещали в термостат при  $37 \pm 1$  °С и через 24 часа учитывали полученный результат.

При обработке результатов экспериментальных исследований предусматривается:

1. Определение эффективности обеззараживания жидкого шлама в кавитационном поле; путем посева образца, прошедшего обработку в кавитационном поле шлама, на питательную среду и подсчета количества колоний микроорганизмов; находящихся в шламе после обработки;

2. Регрессионный анализ результатов обеззараживания шлама в кавитационном поле;

На качество обеззараживания в кавитационном поля оказывают влияние следующие факторы, представляющие особый интерес для исследования:

- скорость шлама в трубке Вентури, м/с;
- количество циклов.

Уровень микробной загрязненности у свежего бесподстилочного навоза КРС при гидравлической системе удаления достигало более  $30,0 \pm 0,09$  млн. КОЕ/гр.

Для определения наиболее короткого пути к экстремуму параметра оптимизации в нашем случае это степень обеззараживания шлама  $\eta$ , % использовалась теория математического планирования эксперимента. Исходя из проведенных исследований и литературных данных были выбраны скорость потока в узкой части трубки Вентури и количество циклов в качестве факторов, определяющих эффективность процесса. Эксперимент проводился с культурой бактерии группы кишечной палочки в соответствии с составленной матрицей ортогонального плана полного трехфакторного эксперимента.

Результаты обработки обеззараживания шлама в кавитационном поле приведены на рисунке 15.



Рисунок 15 – Результаты посева до (1) и после (2) кавитационного воздействия.

Анализ данных показывает, что до обработки было 1275 КОЕ/гр., после обработки стало 315 КОЕ/гр.

Оценим степень обеззараживания шлама по формуле:

$$\eta = \frac{C_0 - C_n}{C_0} \cdot 100 \quad (10)$$

где  $C_0$  –исходная концентрация микроорганизмов, КОЕ/гр;

$C_n$  –концентрация микроорганизмов после  $n$ -ого цикла воздействия, КОЕ/гр.

В процессе обеззараживания с увеличением скорости и числа циклов увеличивается степень обеззараживания. Повышение степени обеззараживания, например, до 30% можно достичь увеличением скорости с 26 до 38 м/с, либо при 26 м/с требуется 2- цикла обработки шлама через трубку Вентури.

Приведенные данные позволяют определить пороговое значение скорости потока жидкости  $v_{\min}=26$  м/с, при которой достигается бактерицидный эффект гидродинамической кавитации. При этом процент гибели микроорганизмов повышается с увеличением количества циклов обработки.

По приведенным данным сложно определить оптимальные скорости потока жидкости или цикла обработки. По экспериментальным данным установлена зависимость степени обеззараживания от скорости потока жидкости и числа циклов обработки шлама (рисунок 16).

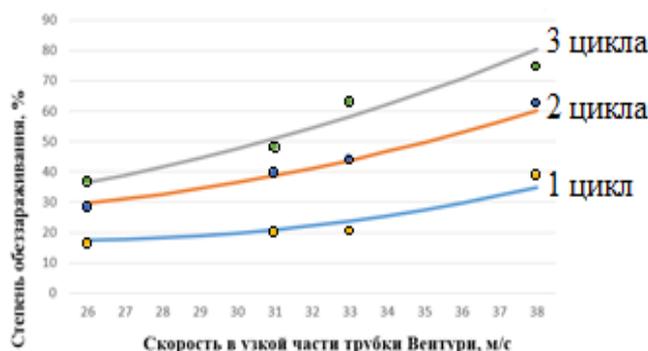


Рисунок 16 – Зависимость степени обеззараживания от скорости потока в трубке Вентури, при различных циклах

Для дальнейшего исследования энергетических затрат процесса обработки шлама получено уравнение регрессии:

$$\eta = 0,066 \cdot (n^{1,13}) \cdot (v^{1,65}) \quad (11)$$

где  $n$  – количество циклов;  $v$  – скорость в узкой части трубки Вентури, м/с.

Анализ данных показывает, что предложенное уравнение удовлетворительно согласуется с эмпирическими данными. Согласно критерию Стьюдента статистически различия сравниваемых величин не значимы, поскольку  $t_{an}=1,96$  при доверительной вероятности  $\alpha=0,95$  меньше табличного.

**Четвертая глава** «Исследование эффективности биогазовой установки с обеззараживанием шлама имитационным моделированием» подтверждает адекватность математических моделей теплового баланса и моделирует процессы, отражающие взаимосвязь конструктивно-технических и режимных параметров работы биогазовой установки.

Для определения энергетической эффективности биогазовой установки в мезофильном режиме с обеззараживанием шлама существует несколько подходов. В первом подходе используется многолетний период обобщенных экспериментальных данных. Второй подход основан на использовании компьютерной математической модели, позволяющей адекватно прогнозировать возможные энергозатраты на реальной биогазовой установке.

Для исследования работы БГУ произведено математическое моделирование в системе Scicos интегрированное в среду математического пакета SciLab. В разработанной компьютерной модели в пакете SciLab-Scicos возможно моделирование температурных режимов анаэробного брожения субстрата навоза КРС в мезофильном и термофильном режимах с обеззараживанием шлама в кавитационном поле (рисунок 17).

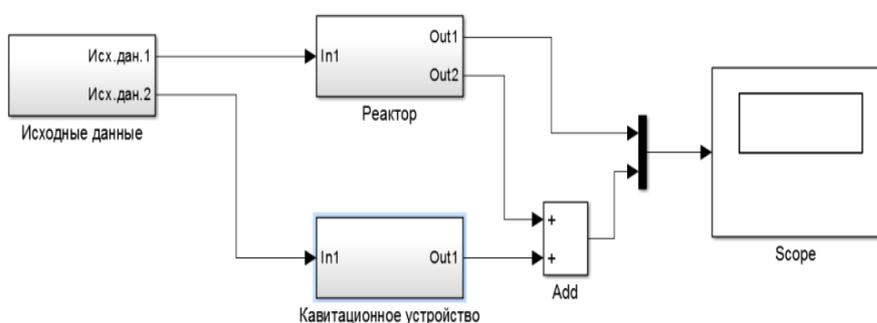


Рисунок 17 – Блок-диаграмма модели БГУ в системе Scicos

Имитационная модель включает в себя модули (отдельные блоки), состоящие из подсистем, которая моделирует процесс взаимосвязи энергоустановки с окружающей внешней средой. Модель позволяет имитировать процесс переработки отходов животноводства и обеззараживания шлама в кавитационном поле и способна определять энергопотребление как отдельно, так и совместно применяемых установок БГУ и кавитационного генератора; оценивать суточное энергообеспечение и выход биогаза за длительный период; исследовать режимы работы БГУ и кавитационного генератора, а также энергетические показатели БГУ и кавитационного генератора в большом диапазоне изменения различных параметров и условий эксплуатации.

Анализ энергетических характеристик БГУ показал, что энергоэффективность биогазовой установки зависит от тепловых потерь реактора, которые в свою очередь существенно зависят от температуры окружающей среды, поэтому в ходе имитационного моделирования была рассмотрена работа БГУ в течение нескольких месяцев с изменяемой температурой окружающей среды, при этом исследовались два режима работы БГУ: работа БГУ без кавитационного генератора и БГУ в совместной работе с кавитационным генератором для исследования параметров БГУ и кавитационного генератора.

В процессе моделирования есть возможность выводить потребленную энергию как в виде численных данных, так и в виде графического изображения за определенный заданный период времени. При выводе данных в численном виде, можно получить среднее значение за рассматриваемый период.

Результаты имитационного моделирования работы БГУ позволили определить количество энергии, полученной от выхода биогаза, затраченной на работу БГУ и затраченной на работу БГУ в системе с кавитационным генератором. Результаты для сравнения работы БГУ при термофильном режиме и мезофильном режиме совместно с установкой кавитационного обеззараживания представлены на рисунке 18.

На рисунке 19 отображено количество энергии, затрачиваемое на обеззараживание в зависимости от скорости потока в трубке Вентури и количества циклов обработки, при условии достижения обеззараживания шлама в соответствии с ГОСТ 33380-215.

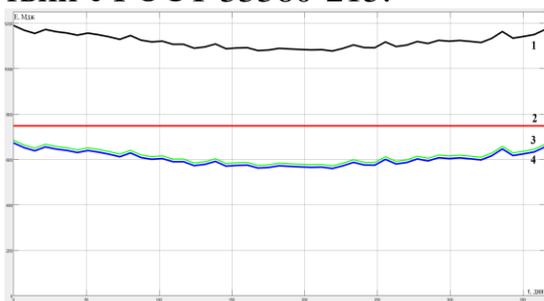


Рисунок 18 – Получаемая и затрачиваемая энергия в работе БГУ: 1,3 – энергия, затраченная в термофильном и мезофильном режимах соответственно; 2,4 – энергия от выхода биогаза

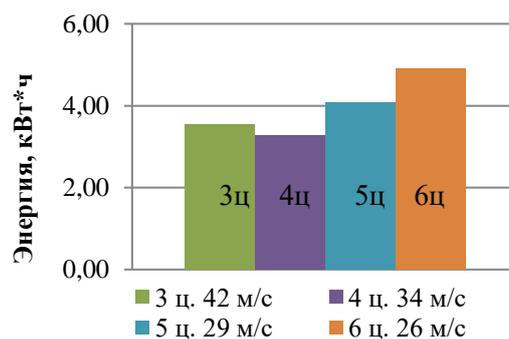


Рисунок 19 – Количество энергии, затрачиваемой на обеззараживание при суточной выгрузке шлама 5 м<sup>3</sup>/сут.

Анализ рисунка 18 позволяет утверждать, что использование кавитационного генератора для обеззараживания шлама уменьшает количество полезной энергии, а при термофильном режиме потребление энергии в 1,8 раз больше, чем при мезофильном режиме и обеззараживаний шлама. Для оценки целесообразности внедрения необходимо провести исследования по обоснованию экономической эффективности использования кавитационного генератора в системе БГУ.

Анализ рисунка 19 показывает различие в энергопотреблении при различных соотношениях скорости потока и количества циклов при одинаковой степени обеззараживания. Наименьшее энергопотребление наблюдается при скорости шлама в горлышке трубки Вентури равной 34 м/с в четырех циклах обработки. По этим показателям оценивается эффективность работы биогазовой установки. На рисунке 20 приведена зависимость коэффициента энергетической эффективности обеззараживания от объема метантенка при обеззараживании кавитацией, термическим способом и импульсным коронным разрядом.

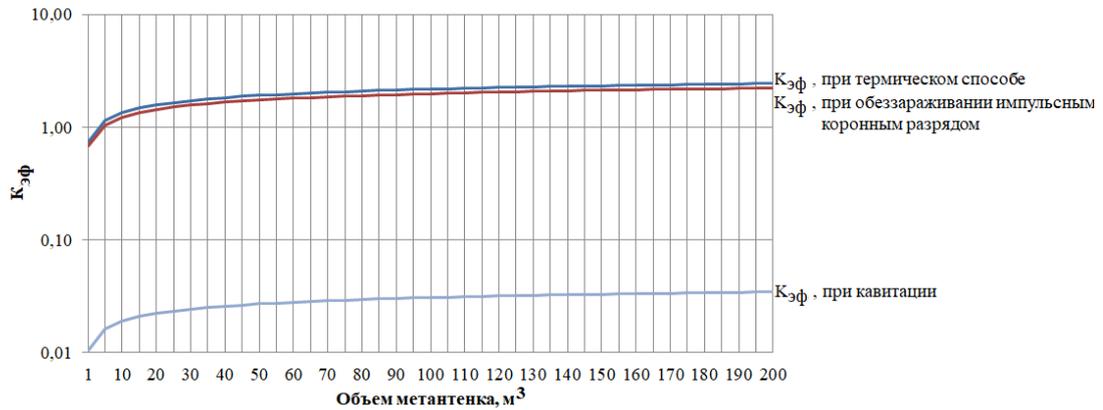


Рисунок 20 – Зависимость коэффициента энергетической эффективности обеззараживания от объема метантенка.

Анализ полученной зависимости показывает, что обеззараживание шлама в кавитационном поле эффективно.  $K_{эф}$  варьируется в диапазоне от 0,01 до 0,04 в зависимости от объема метантенка и требуется всего 1-4% энергии от разницы термофильного и мезофильного режимов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переработка отходов животноводства является важной задачей в условиях развития животноводства. При этом наиболее перспективным является переработка отходов животноводства в биогазовой установке при мезофильном режиме брожения с получением биогаза и отработанного шлама в виде органического удобрения.

1. На основании исследования переработки биоотходов на концентрацию патогенных и болезнетворных микроорганизмов, а также на содержание питательных элементов (азот, фосфор и калий) установлено, что после биореактора в шламе концентрация патогенных и болезнетворных микроорганизмов и питательных элементов увеличивается. Тогда для использования шлама в качестве органического удобрения необходимо повысить его качество путем обеззараживания в гидродинамическом кавитационном поле.

2. Для оценки энергетической эффективности переработки биоотходов с обеззараживанием шлама в кавитационном поле предложен показатель, показывающий отношение энергозатрат на мезофильный режим с обеззараживанием шлама и на термофильный режим работы БГУ.

3. Для оценки энергетических показателей процесса обеззараживания установлена взаимосвязь конструктивных и режимных параметров кавитационного генератора на основе трубки Вентури. Установлено, что оптимальное соотношение диаметров диффузора и конфузора должно быть не более 4, а угол диффузора 15-20°, и при этом наилучшая интенсивность кавитации достигается при скорости потока от 26 м/с до 38 м/с.

По энергетическим показателям рекомендуемый диаметр узкой части трубки Вентури составляет 10 мм, его увеличение для повышения производительности обеззараживания приводит к резкому росту потребной мощности снижая энергоэффективность технологического процесса.

4. Экспериментальным путем установлена модель оценки степени обеззараживания шлама в зависимости от скорости потока и времени (цикла) прохождения шлама через трубку Вентури с оптимальными параметрами. При диаметре трубки 10 мм и угле диффузора в  $20^\circ$ , потребляемая насосом мощность изменялась в пределах 0,30 ... 0,45 кВт в зависимости от скорости потока 26 ... 38 м/с в узкой части кавитационного генератора.

5. Разработанная имитационная математическая модель биогазовой установки с кавитационным генератором позволила установить взаимосвязи энергетических показателей БГУ и параметров гидродинамической кавитации со степенью обеззараживания шлама. Наилучшая степень обеззараживания достигается при диаметре трубки 10 мм, угле диффузора в  $20^\circ$  и скорости потока в узкой части кавитационного генератора 34 м/с в течении 4 циклов. При этом энергетические затраты на обеззараживание 1 м<sup>3</sup> шлама составляют 0,6 кВт\*ч.

6. Оценка эффективности биогазовой установки с обеззараживанием шлама в кавитационном поле показывают, что наиболее выгодным с точки зрения энергетических затрат является мезофильный режим работы БГУ с кавитационным генератором. Минимальные затраты на переработку биоотходов достигаются при скорости потока 34 м/с в узкой части кавитационного генератора в течении 4 циклов. При этом коэффициент энергетической эффективности обеззараживания варьируется в диапазоне от 0,01 до 0,04 в зависимости от объема метантанка.

#### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Дальнейшие исследования по утилизации биоотходов следует направить на минимизацию затрат энергии при переработке биомассы с обеззараживанием шлама. Важно оценить затраты на каждом этапе переработки, и суммарные значения всего процесса.

#### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИSSERTАЦИИ**

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:*

1. Sheryazov S.K., Study of the parameters of biogas plants / S.K. Sheryazov; O.S. Ptashkina-Girina; V.V. Vasenev, Z.B. Telyubaev and E.V. Arbuzova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 949, International Scientific and Practical Conference: Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad (DAICRA 2021) 15th-16th October 2021, Yekaterinburg, Russia 2022, Vol. 949(1), 012108, 0,62 п.л./ 0,32 п.л. (Scopus).

2. Sheryazov S.K. The effluent disinfection based on the cavitation effect in a Venturi / S.K. Sheryazov; O.S. Ptashkina-Girina; Z.B. Telyubaev // International science and technology conference "Earth science". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 666 (2021) 052077. IOP Publishing. Vol. 666 (5), 052077, 0,44 п.л./ 0,24 п.л. (Scopus).

3. Sheryazov S.K. Optimization of reactor parameters in anaerobic digesters / S.K. Sheryazov; V.V. Vasenev; Z.B. Telyubaev // Published in: 2018 International

Ural Conference on Green Energy (UralCon) IEEE - 2018. pp. 80-85, 8544375, 0,37 п.л./ 0,2 п.л. (Scopus).

4. Телюбаев Ж.Б. Повышение качества переработки отходов животноводства для получения удобрения. / Ж.Б. Телюбаев // АПК РОССИИ. 2017. С. 508-515; 0,5 п.л.

*Патенты на полезную модель:*

5. Патент 193169, РФ, Метантенк / С.К. Шерьязов, В.В. Васенев, О.А. Гусева, Ж.Б. Телюбаев, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 15.10.2019 г.

6. Патент 186792, РФ. Установка для выработки биогаза и обеззараживания шлама / Ж.Б. Телюбаев, С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина, В.В. Васенев, О.А. Гусева; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 30.01.2019 г.

*Публикации в других изданиях:*

7. Шерьязов С.К. Обеззараживание отработанного шлама в биогазовой технологии / Шерьязов С.К., Телюбаев Ж.Б. // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России. Материалы III Международной научной конференции. Красноярск, 2024. С. 199-204; 0,31 п.л. /0,16 п.л.

8. Шерьязов С.К. Исследование потребной мощности для биогазовой установки / Шерьязов С.К., Васенев В.В., Телюбаев Ж.Б. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 1 (46). С. 60-64; 0,31 п.л. /0,16 п.л.

9. Шерьязов С.К. Определение мощности нагрева субстрата в биогазовой установке / Шерьязов С.К., Пташкина-Гирина О.С., Васенев В.В., Телюбаев Ж.Б., Арбузова Е.В. // Вестник АПК Ставрополя. 2021 №4 (44). С. 9-14; 0,31 п.л. /0,16 п.л.

10. Шерьязов С.К. Биогазовые установки, как источник возобновляемой энергии / С.К. Шерьязов, Р.Ф. Юнусов, Ж.Б. Телюбаев // Материалы научно-технической конференции, Ташкент, 2020 – С. 47-49; 0,18 п.л./0,1 п.л.

11. Щеклеин С.Е. Комплекс для производства органического удобрения и биогаза в процессе анаэробной утилизации органических отходов / С.Е. Щеклеин, С.К. Шерьязов, Ж.Б. Телюбаев, Е.В. Арбузова // материалы Всероссийской конференции INTEKPROM AGRO 2019 – С.29-30; 0,12 п.л./ 0,08 п.л.

12. Зубин В.В. Анализ эффективности использования биогазовых установок в условиях Южного Урала / В.В. Зубин, О.С. Пташкина-Гирина, Ж.Б. Телюбаев // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика»: - Екатеринбург: УрФУ, 2019. — С. 591-594; 0,25 п.л. /0,16 п.л.

13. Зубин В.В. Анализ эффективности использования биогазовых установок в условиях Южного Урала / В.В. Зубин, О.С. Пташкина-Гирина, Ж.Б. Телюбаев // Отходы, причины их образования и перспективы использования. Сборник научных трудов Международной научной экологической конференции. Челябинск. 2019. С. 520-523; 0,25 п.л. /0,16 п.л.

14. Шерьязов С.К. Пути повышения эффективности биогазовой установки / С.К. Шерьязов, В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев // Инновации в сельском хозяйстве. Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Москва). Номер: 3 (28) Год: 2018 С. 238-252; 0,93 п.л. /0,5 п.л.

15. Арбузова Е.В. Особенности работы действующей биогазовой установки / Е.В. Арбузова, А.А. Стиплин, В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Приоритетные направления развития энергетики в АПК». ФГБОУ ВО Курганская ГСХА имени Т.С. Мальцева. 2018 г. – С. 75-80; 0,37 п.л. /0,2 п.л.

16. Васенев В.В. Анализ способов переработки навоза животных для получения органического удобрения / В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев, С.К. Шерьязов // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н.И. «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»: — Екатеринбург: УрФУ, 2017. - С. 710-713; 0,25 п.л. /0,15 п.л.

17. Пташкина-Гирина О.С. Переработка отходов животноводства для использования их в качестве удобрения / О.С. Пташкина-Гирина, Ж.Б. Телюбаев, С.К. Шерьязов // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». 2017 (80): С. 184-190; 0,43 п.л. /0,23 п.л.

18. Васенев В.В. Анализ существующих конструкций машин и аппаратов для разделения шлама. / В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев // Приоритетные направления развития энергетики в АПК, I Всероссийская научно-практическая конференция, Курган, 2017. С. - 121-123; 0,18 п.л./0,1 п.л.

19. Шерьязов С.К. Анализ способов удаления влаги из переброженного навозного субстрата / С.К. Шерьязов, Ж.Б. Телюбаев // материалы международной научно-технической конференции. Энергетика - агропромышленному комплексу России. ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ». Челябинск, 2017 – С. 245-251; 0,43 п.л. /0,23 п.л.

20. Васенев В.В. К методике выбора биогазовой установки, Приоритетные направления развития энергетики в АПК / В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев // I Всероссийская научно-практическая конференция, 28 сентября, Курган, 2017 – С. 118-121; 0,25 п.л. /0,15 п.л.

21. Телюбаев Ж.Б. Повышение качества органического удобрения при переработке отходов животноводства. / Ж.Б. Телюбаев // Сборник тезисов участников форума «Наука будущего - наука молодых» - Нижний Новгород, 2017. Том 1, С. 40-41; 0,12 п.л.

22. Васенев В.В. К вопросу о повышении эффективности переработки биомассы в БГУ. / В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев, С.В. Попов, Ю.П. Ильин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»: Екатеринбург, 2016 г. – С. 501-504; 0,25 п.л. /0,15 п.л.

23. Шерьязов С.К. Методы повышения эффективности переработки биомассы в биогазовой установке / С.К. Шерьязов, В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев // Материалы LV международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» Челябинск: ЮУрГАУ, 2016. С. 230–236; 0,43 п.л. /0,2 п.л.

24. Ильин Ю.П. Лабораторные исследования влажности навозного субстрата / Ю.П. Ильин, Ж.Б. Телюбаев // Достижения науки - агропромышленному производству материалы LV международной научно-технической конференции. ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет». 2016, с. 192-199; 0,5 п.л. /0,25 п.л.

25. Телюбаев Ж. Б. Анализ способов переработки навоза животных для получения биогаза / Ж.Б. Телюбаев, С.К. Шерьязов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Екатеринбург: УрФУ, 2016. — С. 667-670; 0,25 п.л. /0,15 п.л.

26. Телюбаев Ж.Б., Исследование параметров элементов БГУ горизонтального типа в термотолерантном режиме анаэробной переработки отходов животноводства / Ж.Б. Телюбаев // Материалы LXVI студенческой научной конференции, Идеи молодых – агропромышленному комплексу, Челябинск: ЮУрГАУ. 2015 г., С. 72-77; 0,37 п.л.

27. Телюбаев Ж.Б. Получение взаимосвязи между элементами БГУ / Ж.Б. Телюбаев // сборник трудов IV всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых. ЮУИУиЭ, Челябинск 2015г. - С. 192-198; 0,43 п.л.

28. Телюбаев Ж.Б. Анализ параметров элементов имитационной динамической модели биогазовой установки для мезофильного режима брожения. / Ж. Б. Телюбаев, Ю. П. Ильин, С. К. Шерьязов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Екатеринбург: УрФУ, 2015. — С. 446-449; 0,25 п.л. /0,15 п.л.

29. Телюбаев Ж.Б. К вопросу об исследовании параметров элементов БГУ горизонтального типа с использованием имитационной динамической модели. / Ж.Б. Телюбаев, Ю.П. Ильин, А.Х. Доскенов // Наука ЮУрГУ. Секции технических наук Материалы 67-й научной конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет. 2015. 1186-1192 с; 0,43 п.л. /0,22 п.л.

30. Васенев В.В. Оценка выхода биогаза при различных режимах брожения навоза КРС в биогазовой установке / В.В. Васенев, Л.Ю. Панчева, Ж.Б. Телюбаев, Ю.П. Ильин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»: - Екатеринбург, 2015 г. – С. 135-138; 0,25 п.л. /0,14 п.л.