

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента  
Васильева Филиппа Александровича  
на диссертацию Телюбаева Жаслана Барлыковича  
«Повышение энергетической эффективности переработки отходов животноводства  
в биогазовой установке с обеззараживанием шлама»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

### *Актуальность темы диссертации*

В представленной автором работе затрагивается одна из важных и актуальных проблем в сфере биогазовых технологий – обеззараживание побочной продукции животноводства для их последующего применения в качестве органических удобрений. В условиях Российской Федерации, где сосредоточены значительные объемы поголовья скота и птицы, утилизация навоза и помёта сопряжена с рядом трудностей. Возникает комплекс вопросов, связанных с переработкой побочной продукции животноводства. С одной стороны, навоз и помёт являются ценным сырьем для производства органических удобрений и источником возобновляемой энергии. С другой – в их составе могут входить компоненты, представляющие угрозу для окружающей среды и здоровья человека, такие как болезнетворные микроорганизмы. Действующие нормативы жестко регламентируют содержание подобных компонентов, а в ряде случаев устанавливают полный запрет на их наличие.

Соискатель в своем исследовании обращается к методу анаэробного сбраживания побочной продукции животноводства, акцентируя внимание на том факте, что в процессе мезофильного брожения в образующемся эффлюенте может сохраняться значительное количество патогенных микроорганизмов. Данная проблема приобретает особую актуальность ввиду того, что использование полученного биогаза в комплексе с применением эффлюента в качестве органического удобрения является ключевым фактором экономической эффективности биогазовых установок. Таким образом, на первый план выходит задача доведения состава шлама до уровня, соответствующего установленным требованиям к эффлюенту.

Состав эффлюента, получаемого из отходов животноводства, регламентируется ГОСТ 33380-2015 «Удобрения органические. Эффлюент». Этот нормативный документ устанавливает жесткие требования, исключающие наличие в эффлюенте патогенных и болезнетворных микроорганизмов, яиц и личинок гельминтов, цист кишечных патогенных простейших, личинок и куколок синантропных мух, а также жизнеспособных семян сорной растительности. Для достижения необходимых качеств эффлюента, соискатель предлагает – обеззараживание в кавитационном поле.



Им в соавторстве разработана специальная установка, которая производит анаэробное сбраживание, с выработкой биогаза, но и обеззараживает образующийся эффлюент. Ключевым элементом этой установки является «Трубка Вентури», обеспечивающая создание кавитационного поля. Патент Российской Федерации на полезную модель подтверждает оригинальность и новизну данного технического решения, разработка имеет практическую значимость.

Выбранная Ж.Б. Телюбаевым тема диссертации актуальна и направлена на решение практической задачи — повышение эффективности использования энергии, получаемой при переработке отходов животноводства в биогазовых установках, с учетом необходимости обеззараживания эффлюента.

### ***Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации***

Как показывают исследования, проблема утилизации побочной продукции животноводства успешно решается с помощью методов анаэробной переработки. Среди различных способов обеззараживания эффлюента, которые не снижают удобрительной ценности, особенно интересна гидродинамическая кавитация. Ее применение позволяет добиться соответствия эффлюента требованиям ГОСТ 33380-2015.

Чтобы обеззараживание эффлюента методом гидродинамической кавитации было максимально эффективным, необходимо определить оптимальные параметры установки для ее создания. Важно также сравнить эффективность переработки органосодержащих отходов в мезофильном режиме биогазовой установки (БГУ), с обеззараживанием перебродившего остатка, и в термофильном режиме, который гарантирует полное уничтожение болезнетворных микроорганизмов. Не менее важным направлением исследования является снижение энергозатрат при обеззараживании эффлюента с помощью гидродинамической кавитации.

Предлагаемый способ основан на использовании мезофильного режима биогазовой установки (БГУ) и обеззараживании эффлюента в кавитационном поле. Для достижения этой цели требуется определить оптимальные параметры гидродинамической кавитации. Важно также установить взаимосвязь между устройством генератора кавитации и режимами его работы, поскольку эти факторы влияют на степень обеззараживания и другие показатели качества производимого органического удобрения. Создание такой энергосберегающей технологии утилизации побочной продукции животноводства позволит производить биогаз в качестве источника энергии, высококачественное удобрение для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и при его глубокой переработке, даже витаминные добавки к кормам. Важно, что все это будет происходить при



соблюдении требований экологической безопасности производства продукции животноводства, поэтому разработка подобной технологии является важной научно-практической задачей.

### ***Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации***

Научная достоверность результатов диссертации Телюбаева Ж.Б. подтверждается несколькими факторами. Во-первых, выбранная автором методология исследования полностью соответствует поставленным задачам. Во-вторых, диссертация опирается на тщательный анализ множества актуальных научных работ российских и зарубежных исследователей, посвящённых рассматриваемой теме. Наконец, для сбора и обработки статистических данных Телюбаев Ж.Б. использовал методы с проверкой достоверности и адекватности.

Полученные результаты опубликованы в 4 статьях, рецензируемых журналах ВАК РФ и утвержденных Аттестационным советом УрФУ, из них 3 статьи в изданиях, входящие в наукометрическую базу Scopus: 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), Inter-national science and technology conference "Earth science". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018 International Ural Conference on Green Energy (UralCon) IEEE, АПК РОССИИ.

Имеются акты внедрения: ООО «Ирандык»; проектной организацией ООО "Электротехмонтажпроект", г. Челябинск; ООО КЭП «ЛАБОРАТОРИЯ ВАРИАТОРОВ", г. Челябинск; ООО "Модерн", г. Екатеринбург (акты внедрения прилагаются).

На основании вышеуказанного можно сделать заключение о достоверности положений, выносимых на защиту.

### ***Характеристика структуры и содержания диссертации***

Диссертационное исследование содержит введение, четыре главы и заключение, 12 страниц приложений, библиографический список из 115 наименований. Диссертация изложена на 157 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков и 7 таблиц.

В первой главе, посвящённой состоянию вопроса и задачам исследования, проанализированы существующие методы и способы обеззараживания, на основании литературных источников по данной теме. Представлены основные требования к технологиям переработки отходов животноводства и оборудованию. Рассмотрены недостатки имеющихся методов переработки, указано на наличие патогенных микроорганизмов в



эффлюенте биогазовой установки после её работы. Эти данные подтверждают необходимость обеззараживания.

Далее приводится сравнительный анализ энергозатрат биогазовых установок, работающих в термофильном и мезофильном режиме. Установлено, что термофильный режим обеспечивает повышение выхода биогаза, но высокие энергозатраты, связанные с поддержанием температурного режима, делают этот режим не экономически выгодным по сравнению с мезофильным, особенно в регионах с продолжительным зимним периодом.

Исследования, проведённые в ФГБУ «Челябинской МВЛ», показали присутствие патогенных бактерий в эффлюенте, полученном в мезофильном режиме. Это является нарушением норм ГОСТ 33380-2015 и представляет опасность заражения почвы, посевов и водной среды. Таким образом, необходима разработка метода эффективного обеззараживания. Одним из таких перспективных методов может стать гидродинамическая кавитация, эффективно уничтожающая микроорганизмы за счёт механического воздействия, возникающего при образовании и схлопывании каверн.

Таким образом, в первой главе диссертации представлены сведения априорного анализа, результаты отбора проб на биогазовой установке, определены цели и задачи дальнейшего исследования.

Вторая глава, "Теоретическое исследование процесса обеззараживания шлама при анаэробной переработке отходов животноводства", посвящена анализу теплового баланса биогазовой установки и оценке её энергетических показателей. Рассматриваются конструктивные и режимные параметры кавитационного генератора на основе трубки Вентури. Обосновывается выбор в пользу мезофильного режима переработки с точки зрения минимизации затрат.

Для оценки эффективности кавитационной установки используется специальный коэффициент. Для его расчёта необходимо проанализировать энергозатраты биогазовой установки, работающей в различных режимах, а также энергозатраты, связанные с работой кавитационного генератора. Установлено, что увеличение диаметра сужения трубки Вентури приводит к значительному росту потребляемой мощности: при увеличении диаметра в 1,5 раза мощность возрастает вдвое, а удвоение диаметра требует уже четырёхкратного увеличения мощности.

Визуальное и численное моделирование показало, что уменьшение диаметра сужения трубки Вентури способствует более эффективному обеззараживанию за счёт создания большей разности давлений. Оптимальным диаметром горловины признан диаметр 10 мм. Математическое моделирование подтверждает этот вывод, демонстрируя резкий скачок давления и температуры, достаточный для уничтожения микроорганизмов, при именно таком диаметре. Дальнейшее уменьшение диаметра



нецелесообразно из-за присутствия в эффлюенте твёрдых частиц.

Проведённые исследования позволили разработать номограмму, с помощью которой можно определить энергозатраты на кавитационную обработку, исходя из заданных параметров. Зная расход жидкости и диаметр трубки Вентури, можно по номограмме вычислить скорость жидкости, число кавитации и энергетические затраты на обеззараживание.

Третья глава, "Экспериментальные исследования обеззараживания шлама в кавитационном поле", посвящена описанию методики проведения экспериментов. В начале исследования были разработаны методики оценки биоцидного воздействия гидродинамической кавитации на бактерии группы кишечной палочки. Эффлюент подвергался трёхкратной обработке с последующей оценкой степени воздействия кавитации на указанные бактерии.

В ходе эксперимента использовался БГКП, выращенный на питательной среде до нужной концентрации. Эффективность обеззараживания оценивалась по количеству колоний, выросших после выдерживания образцов в термостате при температуре  $37 \pm 1$  °С. Анализ результатов позволил определить эффективность обеззараживания, провести регрессионный анализ с учётом таких параметров, как скорость шлама и количество циклов обработки.

Установлено, что при скорости потока 26 м/с наблюдается выраженный бактерицидный эффект. Дальнейшее увеличение скорости не приводит к его значительному усилению. Процент гибели микроорганизмов напрямую зависит от количества циклов обработки. Тем не менее, определение оптимальных значений скорости потока и количества циклов затруднено. Получено уравнение регрессии, позволяющее анализировать энергетические затраты. Результаты, полученные с помощью этого уравнения, хорошо согласуются с эмпирическими данными.

В четвёртой главе, посвящённой исследованию эффективности биогазовой установки (БГУ) с обеззараживанием эффлюента при помощи имитационного моделирования, подтверждается корректность математических моделей теплового баланса. В рамках исследования также анализируется взаимосвязь различных параметров работы БГУ.

Для оценки энергетической эффективности установки в мезофильном режиме авторы предлагают использовать два подхода: анализ долгосрочных экспериментальных данных и компьютерное моделирование. Моделирование осуществлялось в системе Scicos на базе пакета SciLab с учётом особенностей температурных режимов анаэробного брожения навоза КРС и процесса обеззараживания эффлюента в кавитационном поле. Разработанная имитационная модель включает в себя модули, детально описывающие процесс переработки отходов, и позволяет оценить не только энергопотребление, но и выход биогаза.

Проведенный анализ показал, что энергоэффективность БГУ напрямую



зависит от величины тепловых потерь реактора и температуры окружающей среды. Моделирование охватывало работу установки на протяжении нескольких месяцев с переменными температурами, что позволило сравнить режимы «без» и «с» использованием кавитационного генератора. Полученные данные позволили определить как количество энергии, вырабатываемой из биогаза, так и энергозатраты на функционирование всей установки. Выявлено, что применение кавитационного генератора, к сожалению, приводит к снижению количества полезной энергии. Более того, при термофильном режиме работы (с использованием кавитационного генератора) энергопотребление возрастает в 1.8 раза по сравнению с мезофильным.

Оптимальные показатели энергопотребления достигаются при скорости шлама 34 м/с и четырёх циклах обработки, что подтверждает эффективность метода обеззараживания в кавитационном поле. Коэффициент, отражающий влияние объёма метантенка, колеблется в пределах от 0.01 до 0.04. При этом энергозатраты для сравниваемых режимов составляют всего 1-4%. Для окончательных выводов о целесообразности применения кавитационного генератора в биогазовых установках необходимы дальнейшие исследования.

### ***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.

### ***Замечания по диссертации***

Диссертация заслуживает положительной оценки благодаря своей логичности, аргументированности выводов и обоснованности на базе достоверных данных. Представленные в ней научные результаты отличаются новизной и опираются на солидную теоретическую и эмпирическую базу. В то же время, есть следующие замечания:

1. Применение автором термина «Шлам» в диссертации согласно терминологии ГОСТ Р 52808-2007 «Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Термины и определения» не совсем корректно. Более подходящее определение «Эффлюент».
2. В тексте диссертации на странице 27 написано, что пробы на наличие бактерий группы кишечных палочек были взяты в стерильные емкости



объемом 0,5; 2 и 5 литров на входе в реактор и на выходе из биореактора, но в приложении диссертации представлены только два протокола исследования: на пробу №1 и пробу №2.

3. На странице 41 диссертации указано, что «Эффективность обеззараживания шлама ...можно определить по энергетическим затратам...», но как можно определить эффективность обеззараживания, то есть прекращение жизнедеятельности микроорганизмов путем оценки энергетических затрат на данный процесс обеззараживания?

4. В диссертации на странице 42 для выражения (2.4) размерность первого слагаемого не соответствует получаемому результату.

### *Заключение*

Диссертация Телюбаева Жаслана Барлыковича "Повышение энергетической эффективности переработки отходов животноводства в биогазовой установке с обеззараживанием шлама", представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, представляет собой полноценную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком уровне. Достижение поставленной в диссертации цели связано с решением целого ряда задач, имеющих как теоретическое, так и практическое значение. Диссертантом разработана технология переработки отходов животноводства, ориентированная на повышение качества шлама как удобрения и эффективность использования биогазовых технологий.

Диссертация и автореферат соответствуют пунктам Паспорта специальности 2.4.5 Энергетические системы и комплексы: пункту 3. Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив, и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок; пункту 6. Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера Паспорта специальности.

Автореферат диссертации Ж.Б. Телюбаева полностью соответствует тексту диссертации, отражает ее основное содержание, имеет логически



грамотное построение и последовательность изложения результатов исследования.

По результатам диссертационного исследования автором опубликовано достаточное количество научных работ. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Телюбаев Жаслан Барлыкович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 Энергетические системы и комплексы.

**Официальный оппонент:**

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

*Контактная информация:*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»

664038, Иркутская обл., Иркутский р-он., п. Молодежный, здание 1/1  
+7 (924) 6-215-515

Адрес электронной почты: fvasiljiev@yandex.ru

«01» октября 2024 г.

