**ОТЗЫВ**

**официального оппонента доктора технических наук, профессора Бондаренко Анатолия Михайловича на диссертационную работу Таханова Михаила Пурбаевича «Совершенствование процесса переработки навоза в метантенках применением гидровозмущения и контроля кислотности сбраживаемой среды», представленную к публичной защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса в диссертационный совет 24.1.211.01 при Сибирском федеральном научном центре агробиотехнологий Российской академии наук**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 185 наименований, в том числе 5 на иностранном языке и 10 приложений. Общий объем работы 142 страницы машинописного текста, из которых 131 страница основного текста, включающего 28 таблиц и 35 рисунков.

На основании изучения диссертации и публикаций соискателя Таханова Михаила Пурбаевича установлено следующее.

**1. Актуальность темы диссертационной работы.**

На свиноводческих предприятиях одним из проблемных вопросов является переработка жидкого навоза. Произведенный жидкий навоз с одной стороны является переносчиком болезнетворных микроорганизмов, что приводит к нарушению экологии в местах его накопления и хранения, с другой – источником питательных веществ необходимых почве для поддержания ее плодородия.

Одним из эффективных приемов переработки жидкого навоза является использование анаэробного сбраживания его в метантенках с получением биогаза и органических удобрений. По сравнению с предыдущими работами в этом направлении автором предлагается модернизация метантенков с биофильтрами для интенсификации и повышения качества переработки свиного навоза анаэробным сбраживанием путем контроля кислотности и управления гидровозмущением, что позволяет значительно повысить эффективность переработки свиного навоза

В этой связи, рассматриваемые в диссертационной работе задачи, связанные с повышением эффективности анаэробной переработки свиного навоза в метантенках с биофильтром путем применения дополнительного устройства гидровозмущения и системы автоматической электронной регулировки кислотности позволяют решить задачи, связанные с эколого-экономической безопасностью функционирования животноводческих ферм и предприятий растениеводческого направления.

Рассматриваемая тема диссертационной работы является актуальной, представляет научный и практический интерес.

**2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна.**

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомен-

даций, сформулированных соискателем, обеспечиваются современными методами научного исследования и подтверждаются результатами теоретических и экспериментальных исследований.

Работа содержит шесть выводов.

***Первый и второй выводы*** соответствуют первой задаче исследования, носит обобщенный характер. Получены в результате анализа существующих методов утилизации свиного навоза. Автором установлено, что анаэробное сбраживание в метантенках оказывает более высокую эффективность и обеспечивает экологически безопасную утилизацию отходов с последующим производством биогаза и органических удобрений. Достоверность вывода не вызывает сомнений и подтверждается материалами первой главы диссертации. В данной работе целесообразно было выводы 1 и 2 объединить в один, т.к. вывод 2 не несет полезной информации.

***Третий и четвертый выводы*** соответствуют второй задаче исследования. Получены по результатам установленных закономерностей образование биогаза в зависимости от коэффициента эффективности гидровозмущения, скорости сбраживания и кислотности субстрата для достижения максимального выхода биогаза. Разработана конструкция экспериментального метантенка, обеспечивающая гидровозмущения для оптимального перемешивания субстрата и автоматизированную систему контроля кислотно-щелочного баланса в заданном диапазоне. Достоверность выводов подтверждена результатами второй и четвертой глав диссертации, а также 1 патентом РФ на изобретение и 1 свидетельством о регистрации программ для ЭВМ и базы данных.

***Пятый и шестой выводы*** соответствуют третьей задаче исследования. Получены по результатам решения задачи на основании проведенных теоретических исследований. Выводы достоверны и подтверждаются результатами четвертой и пятой глав диссертации, представленными актами внедрения. В качестве замечаний: 3-я задача сформулирована не корректно, вместо испытания надо было указать исследования, как верно автор позже указал в выводе 5; вывод 6 требует корректировки в плане получения дополнительного дохода от реализации органических удобрений. Тогда необходимо было указать себестоимость производства 1 тонны ОУ.

**3. Научная и практическая ценность полученных результатов.**

Научную новизну диссертационной работы Таханова Михаила Пурбаевича составляют разработанная математическая модель, описывающая процесс переработки свиного навоза в метантенке с биофильтром с учетом параметров создаваемого гидровозмущения, скорости сбраживания, величины кислотности сбраживаемого субстрата, влияющих на максимальный выход биогаза; новый способ утилизации свиного навоза, основанный на автоматизированном контроле кислотно-щелочного баланса pH сбраживаемого отхода и оптимизации его гидродинамических параметров; методика расчета коэффициента эффективности гидровозмущения, который количественно описывает влияние процесса перемешивания субстрата на скорость сбраживания, что обеспечивает адаптацию к реальным условиям эксплуатации метантенков.

Практическая ценность работы состоит в определении физико-химических

параметров работы метантенка обеспечивающих эффективность переработки жидкого навоза и увеличение выхода биогаза до 30 % по сравнению с известными конструкциями.

Результаты научных исследований апробированы на научно-практических конференциях региональных уровнях и одобрены ученым советом Автодорожного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова, инженерным факультетом ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет». Практическое внедрение предложенных разработок осуществлено в период с 2017 по 2025 годы в СХПК «Усольский свинокомплекс», СХАО «Белореченское» и ИП КФХ «Ботоев», что подтверждается соответствующими документами.

## 4. Оценка содержания диссертационной работы, её завершенность в целом, замечания по оформлению.

Диссертационная работа представляет собой завершенный интеллектуальный труд с постановочными и выходными положениями исследования. Структура работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

**Во введении** обоснована актуальность темы научной работы, указана цель и задачи проводимого исследования, сформулированы научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** ***«Анализ современных технологий переработки свиного навоза методом анаэробного сбраживания»*** выполнен обзор и анализ систем удаления свиного навоза из помещений, рассмотрены методы утилизации свиного навоза с использованием биогазовых установок, конструктивные особенности метантенков и приведен анализ теоретических исследований по моделированию процессов анаэробного сбраживания. На основе проведенного анализа автор пришел к выводу, что необходима модернизация метантенков с биофильтрами с дополнительным устройством для создания гидровозмущения и автоматической системой электронного управления кислотностью среды для повышения эффективности анаэробной переработки отходов, основным оценивающим параметром которого является выход образуемого биогаза.

*Замечание по главе:*

1. На рис.1.12 показана схема предлагаемого устройства. Целесообразно было на схеме выделить новизну и там же дать подробное описание положительного воздействия гидровозмущения и контроля pH.

**Во второй главе** ***«Теоретическое обоснование процесса анаэробного сбраживания для производства биогаза»*** приведен обзор и теоретический анализ математической модели работы метантенка, теоретически описаны факторы, влияющие на загрузку субстрата, дана теоретическая оценка эффективности анаэробного сбраживания навоза с учетом энергетического баланса гидродинамического воздействия. Получены теоретические зависимости, позволяющие определить конструктивные и режимные параметры предлагаемого устройства.

*Замечания по главе:*

1. Представленную на рис.2.2 схему трудно назвать математическо моделью, т.к. отсутствуют входные и выходные параметры и критерий оптимизации.

2. По выражению 2.15 можно определить максимальный выход биогаза. Однако отсутствует выражение по определению производительности метантенка по исходному продукту.

3. Для анализа выражения 2.35 целесообразно было представить теоретические кривые.

4. В разделе 2.6.1 «Энергетический баланс метантенка с учетом системы гидровозмущения» показаны таблицы 2.6.1 -2.6.3 с инженерными расчетами. Зачем? Этому материалу место в гл. 4.

5. Зачем в выводах 2-4 по главе представлены результаты исследования, которые по логике еще не проводились. Это теоретическая глава.

6. Требуют пояснения результаты табл. 2.4, так как линейное увеличение в графе «Обоснование» не является равенством представленных расчетов.

7.Формула (2.30) не может повысить эффективность работы биогазовой установки, как утверждает автор на стр.59. диссертации. Эффективность работы биогазовой установки регулируется посредством параметров, представленных в формуле (2.30).

**В третьей главе «*Методика экспериментальных исследований*»** представлена методика и программа проведения экспериментального исследования, описаны применяемые приборы, измерительные устройства и оборудование.

*Замечания по главе:*

1. В разделе 3.1 «Программа экспериментальных исследований» задача 2 (…проведение теоретических и экспериментальных исследований) звучит некорректно. Должны быть экспериментальные исследования.

2.На стр.75 имеют место повторы текста (абзацы 2 и 4).

3. Раздел 3.4 назван неудачно, надо «Программа автоматической системы контроля за работой метантенка»

**В четвертой главе «*Результаты экспериментальных исследований*»** представлены результаты исследования по определению влияния pH на процесс метанового сбраживания, дана оценка влияния гидродинамического возмущения на работу метантенка. Было выявлено, что максимальный выход биогаза достигается при поддержании *pH* в диапазоне 6,9-7,1. Продолжительность удерживания субстрата, обеспечивающая наиболее полное его сбраживание, составила 28 суток. Установлено, что применение системы гидродинамических воздействий с коэффициентом эффективности $\eta$=1,2 позволяет увеличить выход биогаза на 20% по сравнению с режимом без гидродинамических воздействий. Анализ динамики накопления биогаза показал, что за 5 суток выделяется 35-40% от общего объема, при этом пиковая производительность наблюдается на 8-12 сутки. К 20 суткам процесс выходит на стабильный уровень, что свидетельствует о завершении основной фазы сбраживания. Разработанная система автоматического регулирова-

ния подачи субстрата на основе контроля *pH* обеспечивает поддержание оптимального кислотно-щелочного баланса, стабильность технологического процесса и предотвращение критических ситуаций.

*Замечания по главе:*

1. Представленный в разделе 4.1 материал не имеет отношения к результатам исследования и ему место в 3-й главе.

2. Таблица 4.7 и рис. 4.6 дублируют друг друга. То же относится к табл. 4.8 и рис. 4.7, табл. 4.9 и рис. 4.8. Указанные таблицы без ущерба можно поместить в приложения.

3. В разделе 4.3 «Исследование производительности систем при различных режимах загрузки» на рис. 4.3 представлена поверхность отклика 2-го порядка. Однако в методике нет матрицы проведения эксперимента и уравнения регрессии.

4. В разделе 4.5 «Экспериментальные данные по работе автоматической системы» на рис. 4.5 представлена поверхность отклика 2-го порядка. Однако в методике, как и в предыдущем замечании, отсутствуют матрица проведения эксперимента и уравнения регрессии.

5. Отсутствует анализ полученных результатов, представленных на рис.4.4, 46 – 4.9.

6. Желательно было показать двумерные сечения полученных поверхностей отклика (рис. 4.3 и 4.5).

**В пятой главе «*Оценка экономической эффективности переработки навозных стоков свиноводства в метантенках с анаэробным биофильтром*»** приведена оценка экономической эффективности использования разработанного образца метантенка объемом 10м$^3$.

*Замечания по главе:*

1.Слишком подробно приведен в главе расчет экономической эффективности предлагаемого устройства. Методика расчета общеизвестна.

2. Срок окупаемости предложенной установки составляет 0,11 года. Однако в выводе 3 по глав 5 срок окупаемости показан менее 2-х лет. Требуется пояснение.

**В заключении** представлены основные результаты работы, отвечающие цели и задачам исследования.

Работа соответствует п.4(частично) «Механизированные, автоматизированные и роботизированные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса», п.5 «Мобильные и стационарные энергетические средства, машины, агрегаты, рабочие органы и исполнительные механизмы», п.10 «Методы, технологии и технические средства обеспечения экологической безопасности, переработки и утилизации отходов сельскохозяйственного производства, эколого-реабилитационные процессы и технологии» паспорта специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного ком-

плекса.

Автореферат отражает основные идеи и выводы диссертации.

**5. Общие замечания по диссертационной работе:**

1. В задачи исследования не входит производство органических удобрений. Для данной работы — это сопутствующий продукт. Если автор его учитывает при расчете экономической эффективности, то надо было привести его физико-механические свойства и содержание азота, фосфора и калия.

2. На защиту выносится методика расчета установки, но в заключении об этом ничего не сказано.

3. Не понятен диапазон применения биогазовой установки. Если для малых свиноводческих ферм, то какое поголовье надо выбрать?

4. Отсутствует увязка теоретических исследований с полученными экспериментальными данными.

5. Слабо представлена доказательная база, что производительность установки повышается на 15-20%.

6. Автором сделана успешно попытка управления процессом производства биогаза, как альтернативного продукта. Поэтому, перспективой дальнейшего исследования надо выбрать полную автоматизацию рассмотренного процесса переработки жидкого навоза в метантенке по всей технологической цепочке.

**6. Освещение основных результатов работы в печати и соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.**

Автором лично и в соавторстве по материалам исследований опубликованы 16 печатных работ, из них: 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ и 9 статей в сборниках материалов конференций; получен 1 патент РФ на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные положения диссертации достаточно полно отражены в опубликованных работах, результаты исследований прошли апробацию на международных научно-практических конференциях.

Содержание автореферата в достаточной мере соответствует материалу, представленному в диссертации и отражает основные её положения и научные результаты.

**7. Общее заключение по диссертации.**

Диссертационная работа «Совершенствование процесса переработки навоза в метантенках применением гидровозмущения и контроля кислотности сбраживаемой среды» Таханова Михаила Пурбаевича, несмотря на отмеченные замечания, является законченной научно-квалификационной работой. Исследования выполнены на достаточно высоком теоретическом и методическом уровне. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Представленная работа по содержанию, актуальности, методам исследований, достоверности полученных результатов, научной и практической значимости

соответствует критериям пунктов 4, 5, 10 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 15.06.2018 г. № 682, содержит научно-обоснованные технические решения, касающиеся вопросов совершенствования процесса переработки жидкого навоза в метантенках посредством гидровозмущения и контроля кислотности сбраживаемой среды, что позволяет на выходе получить качественные продукты: биогаз и органические удобрения.

На основании выше изложенного, соискатель Таханов Михаил Пурбаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент,
доктор технических наук 05.20.01, профессор, профессор кафедры «Физика, механика и землеустройство» Анатолий Михайлович Бондаренко

25 ноября 2025 г.

Подпись, должность, учёную степень и звание Бондаренко А.М. заверяю:
Учёный секретарь АЧИИ ФГБОУ ВО ДГАУ
кандидат экономических наук Н.С. Гужвина

| | |
|---|---|
| ФИО лица представляющего отзыв | Бондаренко Анатолий Михайлович |
| Ученая степень | доктор технических наук (05.20.01-Технологии и средства механизации сельского хозяйства, 2001 г.) |
| Ученое звание | профессор |
| Должность, структурное подразделение | Профессор кафедры «Физика, механика и землеустройство» |
| Полное название организации | Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ |
| Адрес | 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 21 |
| E-mail | bondanmih@rambler.ru |
| Телефон | +7 (928) 162-76-46 |

Таханов М.П.