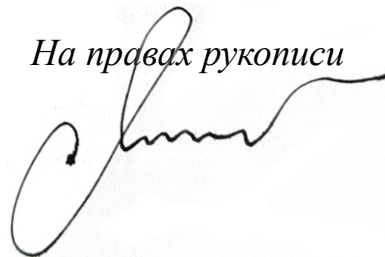


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. П.А. КОСТЫЧЕВА»
(РГАТУ)

На правах рукописи



ЛИМАРЕНКО НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ
БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА**

05. 20. 01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства
(по техническим наукам)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор РАН

Борычев Сергей Николаевич

Рязань – 2021

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	6
1. Современное состояние вопроса обеззараживания бесподстилочного навоза. Постановка цели и задач исследования	14
1.1. Понятие эффективность обеззараживания, алгоритмизация и способы её оценки	14
1.2. Анализ физических, химических и биологических свойств бесподстилочного навоза	20
1.2.1. Классификация жидких отходов животноводства	20
1.2.2. Оценка эпидемиологическо-биогенных свойств бесподстилочного навоза	25
1.2.3. Физические свойства бесподстилочного навоза	27
1.2.4. Химические свойства бесподстилочного навоза	31
1.2.5. Биологические свойства бесподстилочного навоза	33
1.2.6. Анализ динамики образования бесподстилочного навоза	34
1.3. Анализ технологий подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию	43
1.3.1. Компостирование	51
1.3.2. Гомогенизация	52
1.3.3. Сепарация	54
1.3.4. Обобщённая модель подготовки органических отходов свиноводства к обеззараживанию	57
1.4. Анализ критериев экологизации свойств бесподстилочного навоза при его подготовке к обеззараживанию	59
1.5. Анализ механизмов и способов обеззараживания бесподстилочного навоза	61
1.6. Постановка цели и задач исследования	78
2. Теоретические исследования повышения эффективности энерго-экологического обеззараживания бесподстилочного навоза	80
2.1. Постановка задачи	80
2.2. Анализ эффективности энерго-экологических характеристик способов обеззараживания бесподстилочного навоза	81

2.3. Методологические аспекты теории потенциальной эффективности применительно к интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза	87
2.4. Факторно-концептуальная модель энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза	91
2.5. Функциональная схема формирования критерия энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза	97
2.6. Использование нечёткого моделирования при оценке энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза	104
2.7. Выводы по главе	115
3. Программа и методика экспериментальных исследований	117
3.1. Постановка задачи	117
3.2. Экспериментальные стенды и приборно-метрологическое обеспечение	118
3.2.1. Устройство и принцип действия электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза	118
3.2.2. Устройство и элементная база автоматизированного контрольно-измерительного комплекса	123
3.3.3. Описание программных комплексов, используемых при проведении и обработке данных	131
3.3. Методики проведения исследований и обработки экспериментальных данных.	138
3.3.1. Общая методика проведения экспериментальных исследований. ..	138
3.3.2. Методика оценки энергетической эффективности электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза	148
3.3.3. Методика проведения экспериментального исследования по обеззараживанию бесподстилочного навоза	152
3.4. Выводы по главе	157
4. Результаты экспериментальных исследований и их анализ	159
4.1. Постановка задачи	159
4.2. Анализ результатов оценки энергетической эффективности электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза	160
4.3. Анализ результатов обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе стержневым вихревым слоем	170
4.4. Анализ результатов обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе шаровым вихревым слоем	191

4.5. Обоснование параметров энергоэффективной интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым и шаровым вихревыми слоями.....	208
4.6. Выводы по главе.....	217
5. Разработка цифровизированной системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза	219
5.1. Постановка задачи.....	219
5.2. Разработка требований к программному продукту	219
5.3. Описание методологических основ реализации программных модулей.....	221
5.3.1. Моделирование экологической нагрузки	221
5.3.2. Моделирование энергозатрат на обеззараживание бесподстилочного навоза в активаторе	228
5.3.3. Моделирование энергетических характеристик индуктора активатора в зависимости от производительности.....	231
5.3.4. Седиментационный анализ бесподстилочного навоза.....	237
5.3.5. Расчёт энергетической эффективности технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза	244
5.3.6. Проверка эффективности выбора приводов рабочих органов технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза	248
5.4. Описание элементов интерфейса программного продукта и сценария взаимодействия.....	251
5.5. Выводы по главе.....	254
6. Оценка энерго-экологической эффективности разработанных решений	256
6.1. Постановка задачи.....	256
6.2. Обоснование выбора объектов сравнения.....	256
6.3. Анализ экологических критериев сравнения эффективности технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза	260
6.4. Расчёт энерго-экологической эффективности разработанных технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза	262
6.5. Выводы по главе.....	268
Заключение. Итоги выполненного исследования	269
Список использованных источников	272
Приложения	312
Приложение А – Справочные данные и результаты расчётов	313
Приложение Б – Результаты экспериментальных исследований	332

и расчётов статистических характеристик	332
Приложение В – Интерфейсы модулей цифровизированной смарт-системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза	352
Приложение Г – Акты внедрения результатов НИР	364
Приложение Д – Патенты и свидетельства	374
Приложение Е – Заключённые договоры на выполнение НИР	385
Приложение Ж – Дипломы и сертификаты.....	395

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Органические отходы животноводства представляют собой мощный энергоноситель, использовать биогенный потенциал, которого возможно при условии обеспечения условий и требований экологической безопасности, предъявляемых комплексом нормативных документов. Согласно указа президента РФ № 20 от 21.01.2020 «Об утверждении доктрины продовольственной безопасности РФ», удельный объём мясомолочной продукции отечественного производства должен составлять к 2030 году не менее 90%, что требует эффективной индустриализации отрасли. Индустриальный подход к животноводству подразумевает содержание поголовья на высокопроизводительных производствах, с использованием бесподстилочного содержания, что приводит к образованию существенных объёмов жидких отходов и бесподстилочного навоза в частности, требующих эффективного обеззараживания. Также важность и актуальность данного направления подтверждается ФЗ «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (в редакции от 03.12.2017 г.). В связи со сказанным интерес с точки зрения обеззараживания вызывает собой свиной бесподстилочный навоз, требующий разработки эффективных способов и инструментов подавления его патогенной составляющей при сохранении энергетического потенциала.

Известно, что содержание биогенных веществ в свином бесподстилочном навозе ежемесячно снижается на 3...5 % в зависимости от агроклиматических условий, что делает недостаточно эффективным использование длительных биотермических процессов его обеззараживания. Соответственно, разработка технических средств и решений экологически безопасной и энергетически эффективной интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза является актуальной проблемой для науки и техники.

Научная гипотеза. Эффективность технологического процесса обеззараживания бесподстилочного навоза может быть повышена цифровизацией с использованием активаторов, что обеспечит максимизацию

энерго-экологического эффекта при снижении продолжительности реализации операционных воздействий, а также удельных энергетических затрат.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами повышения эффективности обеззараживания органических отходов в разное время занимались А.М. Бондаренко, А.Ю. Брюханов, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, С.М. Васильев, Х.Х. Губейдуллин, В.В. Гордеев, П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева, В.С. Григорьев, В.П. Друзьянова, Ю.Е. Домашенко, В.П. Капустин, Ю.А. Киров, В.В. Кирсанов, В.П. Коваленко, В.В. Калюга, Г.И. Личман, Я.П. Лобачевский, В.А. Макаров, Н.М. Марченко, А.Е. Новиков, П.И. Павлов, А.И. Ряднов, Н.С. Серпокрылов, О.А. Суржко, И.А. Успенский, А.В. Федотов, Л.Н. Фесенко, В.Д. Хмыров, Ю.А. Цой, М.Н. Чаткин, И.И. Шигапов, И.А. Юхин и др.

Они внесли существенный вклад в изучение вопроса механизации и экологизации сбора и подготовки органических отходов животноводства к эффективному обеззараживанию. Однако несмотря на разнообразие технологических схем и способов в этой области энергетически эффективные и экологически безопасные модели интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза в виде цифровизированных решений в настоящее время отсутствуют.

Работа выполнена в соответствии с планами НИОКР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2015 – 2020 гг. № AAAA-A16-116060910025-5 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве», подраздел 3.8 «Совершенствование технологии и технических средств утилизации сточных вод и жидких фракций отходов агропромышленного комплекса», а также договора в рамках реализации грантов Фонда содействия развитию малых форм предпринимательства № 3822ГС1/63200 от 19.12.2020 на выполнение НИОКР по теме: «Разработка прототипа энергоэффективной и экологически безопасной системы утилизации бесподстилочного навоза» (Проект № 63200, заявка С1-80529 в рамках реализации инновационного проекта «Энергоэффективная и экологически безопасная система утилизации бесподстилочного навоза»).

Цель исследования – повышение эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- разработать вероятностно-желательностную модель классификации способов обеззараживания бесподстилочного навоза с точки зрения критерия энерго-экологической эффективности;
- разработать общие и частные методики, позволяющие экспериментально исследовать энерго-экологическую эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза вихревым слоем;
- провести экспериментальные исследования энерго-экологической эффективности интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым и шаровым вихревыми слоями;
- обосновать параметры энерго-экологической интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза в стержневом и шаровом вихревых слоях;
- разработать цифровизированную систему оценки и прогнозирования энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза;
- оценить эколого-экономическую эффективность разработанных решений.

Объект исследования. Технологический процесс обеззараживания бесподстилочного навоза.

Предмет исследования. Закономерности влияния средств интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза на показатели его энерго-экологической эффективности при соблюдении санитарно-эпидемиологических требований.

Научная новизна работы заключается:

- сформирована концептуальная модель повышения энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза влажностью 88...96%, а также навозных стоков влажностью 98% и выше с использованием активаторов обеззараживания с стержневым и шаровым вихревыми слоями;

– экспериментально доказана эффективность использования электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза влажностью 88...96 %, а также навозных стоков влажностью 98% и выше, применение которого позволяет в существенной мере интенсифицировать операционное воздействие при сокращении энергозатрат;

– получены математические модели влияния параметров стержневого и шарового вихревых слоёв на санитарно-эпидемиологические параметры бесподстилочного навоза влажностью 88...96 %, а также навозных стоков влажностью 98% и выше при его обеззараживании в активаторах, определяющие экологическую безопасность и энергетическую эффективность операционного воздействия;

– обоснованы оптимальные параметры стержневого и шарового вихревых слоёв активаторов для обеззараживания бесподстилочного навоза влажностью 88...96 %, а также навозных стоков влажностью 98% и выше;

– разработана цифровизированная смарт система повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.

Научная новизна предлагаемых в работе технических средств и решений подтверждена патентами РФ на изобретение № 2726309, № 2680073, № 2668906, полезную модель № 171681, а также свидетельствами о государственной регистрации программных продуктов № 2019616853, № 2021661091, № 2021663928 РФ, № 2021664999 РФ, № 2021664791 РФ, № 2021664736 РФ, № 2021664838 РФ.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке концептуальной структурно-информационной модели обеззараживания бесподстилочного навоза, выявлении факторов, оказывающих влияние на эффективность энерго-экологической интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза, обосновании диапазонов и уровней варьирования факторов, оказывающих влияние на интенсификацию обеззараживания стержневым и шаровым вихревыми слоями в активаторе.

Практическая значимость работы заключается в использовании результатов экспериментальных исследований, предложенных математических моделей при разработке программного продукта в виде цифровизированной смарт системы повышения эффективности исследования и обеззараживания бесподстилочного навоза, внедрённой в производственную деятельность ОАО «Рязанский свинокомплекс», ОАО «Атемарская Птицефабрика». Полученные результаты, предлагаются к использованию в малых, средних и крупных животноводческих предприятиях при экологическом проектировании уровня антропогенной нагрузки, создаваемой производимыми ими отходами, а также в учебных процессах ВУЗов и СУЗов сельскохозяйственной направленности.

Практическая значимость работы подтверждается свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019616853, № 2021661091, № 2021663928 РФ.

Реализация результатов исследований. Полученные в ходе данного исследования результаты внедрены и используются в производственной деятельности ОАО «Птицефабрика Атемарская», ОАО «Рязанский свинокомплекс», а также в учебном процессе ФГБОУ ВО Рязанский агротехнологический университет им. П.А. Костычева и ФГБУ ДПО Мордовский институт переподготовки кадров агробизнеса.

Методология и методы исследований. Исследования проводились с использованием математической теории планирования эксперимента, моделирования: вероятностного, статистического, нечёткого, имитационного, математической статистики, корреляционного и регрессионного анализа. Имитационное моделирование производилось в программных комплексах COMSOL Multyphysics, Solid Works, а также Компас-3D. Обработка результатов экспериментальных исследований производилась с использованием специально разработанных программных продуктов: «Система выбора оптимального энерго-экологического направления утилизации отходов животноводства» (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021661091 РФ), «Определение оптимальных параметров операции обеззараживания отходов агропромышленного комплекса

«Optimum agriculture system v. 1.0» (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2019616853 РФ), «Седиментационный анализ полидисперсных систем» (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664999 РФ), «Система автоматизированной оценки уровня экологической нагрузки животноводческих предприятий» (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664791 РФ), «Оценка эффективности функционирования индукторов электромеханических преобразователей переменного тока в зависимости от эксплуатационных условий» (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664736 РФ), «Оценка энергетической эффективности сельскохозяйственной техники и технологических операций» (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664838), а также Microsoft Excel, Statistica, Matlab и MathCAD. Экспериментальные исследования проведены в соответствии с разработанными частными методиками в лабораторных и производственных условиях.

Положения, выдвигаемые на защиту:

- концепция повышения энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза влажностью 88...96%, а также навозных стоков влажностью 98%, основанная на использовании стержневого и шарового вихревых слоёв в активаторе обеззараживания;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований повышения энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза;
- математические модели влияния параметров стержневого и шарового вихревых слоёв на санитарно-эпидемиологические свойства бесподстилочного навоза влажностью 88...96 %, а также навозных стоков влажностью 98% и выше при их обеззараживании в активаторе, определяющие экологическую безопасность и энергетическую эффективность операционного воздействия;
- результаты оптимизации стержневого и шарового вихревого слоя активатора для обеззараживания бесподстилочного навоза влажностью 88...96 %, а также навозных стоков влажностью 98% и выше;
- цифровизированная смарт система повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.

Степень достоверности результатов исследования. Проведение теоретических и экспериментальных исследований с использованием инструментария эффективных способов моделирования: математического и имитационного, статистической обработки данных, планирования эксперимента, сертифицированных и поверенных средств измерений, цифровизированных методов обработки данных позволило получить обоснованные, достоверные и соответствующие теме диссертации результаты исследования и общие выводы.

Апробация результатов исследования. Основное содержание диссертационной работы излагалось, обсуждалось и было одобрено на научно-практических конференциях *международных*: Международная научно-практическая конференция, посвященная 95-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, академика РАТ, д.т.н., профессора Н.Н. Колчина «Инженерно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 2021 г.), 72-я Международная научно-практическая конференция «Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 2021 г.), Актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной техники (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 2020 г.), международном молодежном научном форуме «Ломоносов» (г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2016 г., 2020 г.), Научно-практические аспекты инновационного развития транспортных систем и инженерных сооружений (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 2020 г.), Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 2019 г.), Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения (г. Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО ДГТУ, 2013-2017 гг., 2019-2020 гг.), Современные проблемы математического моделирования, обработки изображений и параллельных вычислений (п. Дивноморское, ФГБОУ ВО ДГТУ, 2017 г.), Инновационные технологии в науке и образовании (п. Дивноморское, г.

Зерноград, г. Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО ДГТУ, 2013-2017 гг.), **национальных:** Актуальные проблемы науки и техники (г. Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО ДГТУ, 2014-2021 г.), Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 2019 г.), **всероссийских:** научно-практическая конференция, посвящённая 80-летию со дня рождения профессора Лопатина Анатолия Михайловича (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева, 2019 г.) и других.

Личный вклад соискателя состоит в обосновании актуальности выбранной темы; формулировке цели и задач исследований, выборе объекта и предмета исследований, разработке программы и методики проведения экспериментальных исследований, проведении экспериментальных исследований, анализе полученных данных и решении оптимизационной задачи, обосновывающей параметры эффективного обеззараживания бесподстилочного навоза, разработке системы программных комплексов представляющих собой цифровизированную смарт систему принятия энергоэффективных и экологически безопасных решений при подготовке бесподстилочного навоза к внесению в качестве биоорганического удобрения, а также подготовке научных публикаций по теме диссертации, написанию и оформлению заявок на защиту результатов интеллектуальной деятельности.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 53 печатных работах, в том числе: 5 в изданиях Scopus, Web of Science, 20 в изданиях, рекомендованных ВАК, 11 патентах РФ. Объём публикаций составляет 41,8 усл. п. л., из которых лично автору принадлежит – 38,4 усл. п. л.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка источников, включающего 311 наименований, приложений, представленных на 87 страницах. Работа изложена на 397 страницах машинописного текста, включает 18 таблиц и 132 рисунка.

1. Современное состояние вопроса обеззараживания бесподстилочного навоза. Постановка цели и задач исследования

1.1. Понятие эффективности обеззараживания, алгоритмизация и способы её оценки

Повышение эффективности операционных воздействий в сельском хозяйстве требует модернизации имеющихся и разработки новых технических средств. Эффективность функционирования технических средств представляет собой совокупность качественных и количественных показателей, связанных друг с другом. Исследованию вопроса использования теории эффективности в сельском хозяйстве посвящены работы [9, 16, 85, 140, 141, 209, 211, 212].

Экологизация, ресурсосберегающие технологии, внедрение концепций рационального природопользования в сельское хозяйство требуют разработки новых информационно-управляющих комплексов для контроля реализации операционных воздействий. На сегодняшний день в большинстве случаев оценка эффективности реализации операционных воздействий сводится к сравнению нескольких частных показателей – производительности, продолжительности реализации операционного цикла, удельной энергоёмкости и т.п. Данная методология не позволяет осуществить системную оценку полученного эффекта. Согласно анализа работ [16, 140, 211, 212] установлено, что эффективным инструментом системной оценки эффективности является использование цифровизированных смарт систем, обеспечивающих повышение эффективности реализуемых технологических воздействий. Используя категории теории эффективности перейдём к алгоритмизации её применения для оценки способов обеззараживания органических отходов в сельском хозяйстве, в частности бесподстилочного навоза.

Общая эффективность – комплекс показателей, объединяющий группы энергетических, экономических, технологических и социальных параметров, нахождение сочетаний уровней, которые обеспечивают максимум или минимум

обобщённого критерия оптимальности в зависимости от налагаемых ограничений.

Оптимальная эффективность – разработка и использование комплекса показателей, нахождение и обеспечение уровней которых даёт максимальный эффект. Реализуется оптимальная эффективность с использованием принципов формализации целевой функции, входных воздействий, контролируемых параметров, а также приложенных ограничений применительно к каждой группе показателей.

Алгоритмизация принципов теории эффективности применительно к выбранному объекту начинается с выбора блоков показателей, оказывающих влияние на её численные характеристики. На рисунке 1.1 представлена блок-схема показателей, концептуально-информационный анализ которых позволяет алгоритмизировать повышение эффективности обеззараживания, с разработкой комплексного критерия эффективности. Известно [16, 209, 211, 212], что выработка практических рекомендаций на основе разработанного комплексного критерия эффективности затруднительна без исследования составляющих приведённых выше блоков и механизмов их связи друг с другом.

Рассмотрим первый блок показателей алгоритма формирования эффективного обеззараживания. Анализ факторов, оказывающих влияние на исследуемый процесс с последующей их классификацией является ключевым этапом формирования концептуального представления об инструменте повышения эффективности. Исходными данными для формирования данного инструмента является классификация факторов в зависимости от природы возникновения, а также определение областей их научного интереса, на основании результатов экспериментальных исследований, эмпирических данных.

Установлено [9, 16, 101, 103, 209, 212], что факторы, оказывающие влияние на эффективность обеззараживания укрупнённо можно разделить на следующие группы: природно-климатические, организационно-технологические, конструкционные, эксплуатационные, а также непредвиденные.



Рисунок 1.1 – Блоки формирования эффективного обеззараживания

Рассмотрим обобщённо составляющие каждой группы приведённых факторов. Природно-климатические факторы эффективности обеззараживания

включают в себя температуру, влажность, скорость и направление ветра (актуально в случае реализации вне производственного помещения) и т.п., организационно-технологические – способ уборки, накопления, транспортировки навоза, обеспеченность ресурсами для дальнейшей утилизации, логистика управления данными ресурсами; конструкционные – технологическая схема подготовки к обеззараживанию, технологические схемы и исполнения технических средств, используемых для обеззараживания; эксплуатационные – режим и продолжительность работы обеззараживателя, техническое состояние обеззараживающей системы, оптимальность используемых параметров, качество подготовки технологического материала; непредвиденные – эпизоотические вспышки инфекционных заболеваний среди животных, стихийные бедствия.

Следующим блоком показателей алгоритма формирования эффективного обеззараживания является формулировка условий критерия эффективности. В случае с обеззараживанием органических отходов животноводства и бесподстильного навоза можно сформулировать следующие условия: обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности, минимально возможные удельные энергозатраты при сохранении потенциала, позволяющего осуществить дальнейшую утилизацию. После того как приняты условия критерия эффективности можно перейти к следующему этапу – анализу частных показателей.

Анализ частных показателей представляет факторную композицию воздействия, которых на условия обеззараживания позволяет варьировать качественные и количественные значения выбранных параметров.

Разработка комплексного критерия эффективности сводится к концептуальной формализации факторов, условий и частных показателей, позволяющей оценить обеспечение оптимальной эффективности. Одним из этапов разработки комплексного критерия эффективности является эквивалентизация множества частных показателей, оказывающих влияние на него путём приведения их к безразмерному виду. Данная процедура необходима

для разработки единой оценочной шкалы, поскольку изначально все рассматриваемые показатели имеют отличные друг от друга физические величины. После чего комплексный критерий эффективности представляется следующим образом:

$$K_{\mu} = \frac{W_{\mu}}{W_{\mu}^{TP}} \leq 1, \quad (1.1)$$

где W_{μ} – фактическое значение всех частных показателей эффективности обеззараживания;

W_{μ}^{TP} – требуемое или желаемое значение всех частных показателей, обеспечивающее оптимальную эффективность обеззараживания.

Анализ уравнения (1.1) позволил установить, что значение комплексного критерия эффективности K_{μ} в рамках, приложенных к нему ограничений и условий равно 1 соответствует идеальному варианту обеззараживания, удовлетворяющему всем перечисленным требованиям. Однако, проанализировав общие положения теории информации и эффективности [16, 140, 211, 212] установлено, что каждый из блоков представляет собой совокупность общих и частных показателей, имеющих сложную, многоканальную связь друг с другом. При которой изменение одного частного показателя приводит к преобразованию всей факторной композиции. Поэтому переход к заключительному блоку по выработке практических рекомендаций по повышению эффективности невозможен без исследования и формализации сформированного многообразия связей. Выработка практических рекомендаций также требует использования математических методов моделирования, оптимизации, а также инструментов информатизации, направленных на последующую цифровизацию результата. На основании изложенного на рисунке 1.2 представлена блок-схема выработки практических рекомендаций по повышению эффективности обеззараживания органических отходов АПК и бесподстилочного навоза в частности.

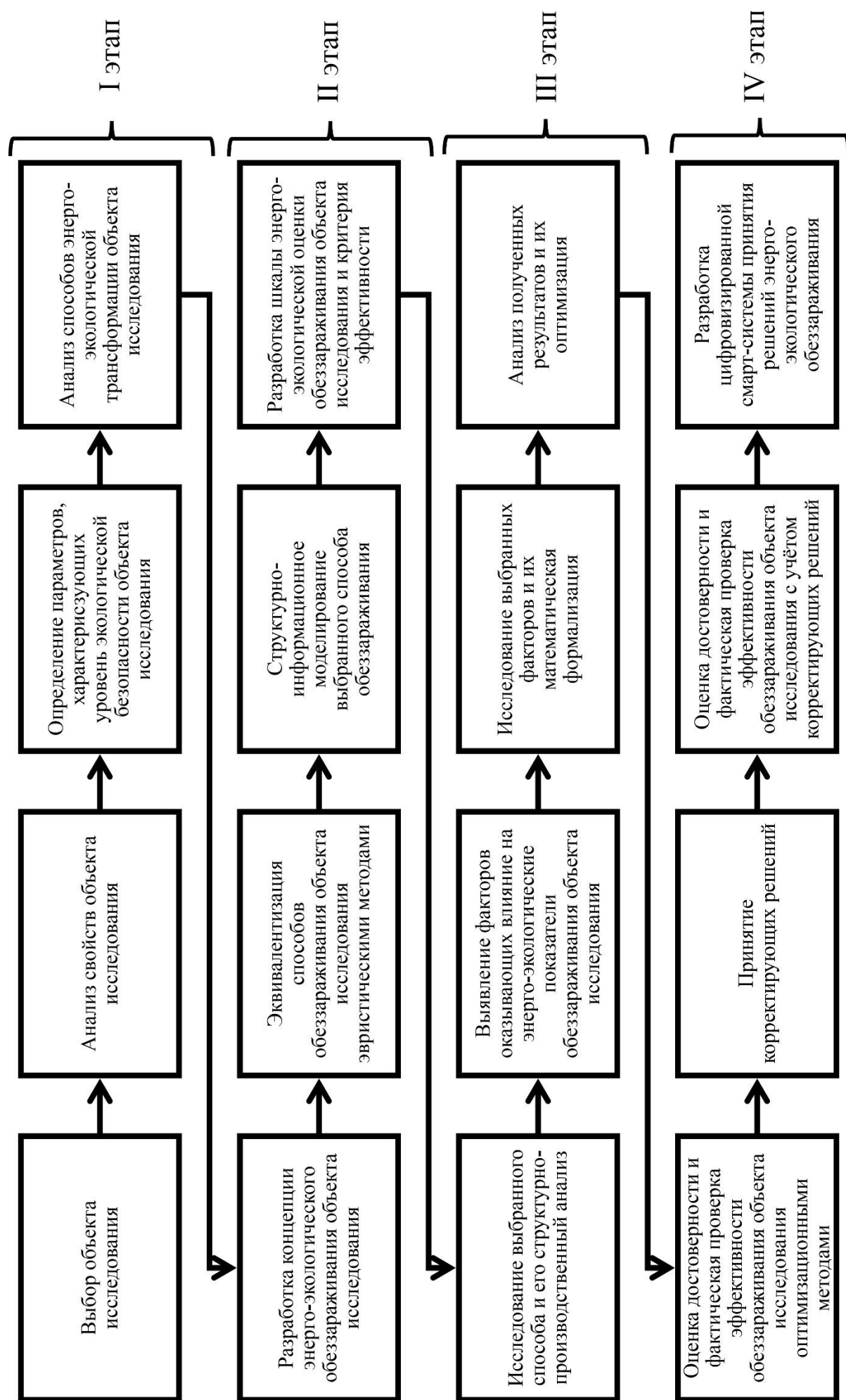


Рисунок 1.2 – Алгоритмизация выработки практических рекомендаций по повышению эффективности обезвреживания органических отходов АПК и бесподстилочного навоза

Проанализировав рисунок 1.2 разделим процесс выработки практических рекомендаций по повышению эффективности обеззараживания условно на IV этапа. I этап – выбор объекта исследования и выявление его энергетического потенциала, II этап – разработка критериев сравнения фактической и требуемой эффективности обеззараживания, III этап – укрупнённый и поэлементный анализ энерго-экологического обеззараживания, IV этап – оценка достижения целевых нормативов и фактической эффективности обеззараживания.

Энергетически эффективное и экологически безопасное обеззараживание органических отходов животноводства и навоза в частности представляет сложную задачу, требующую системного подхода, имеющую кроме санитарно-эпидемиологических и технологических ограничений, энергетические и временные. Рациональным вариантом систематизации данной задачи является использование теории потенциальной эффективности [16, 141, 211, 212].

1.2. Анализ физических, химических и биологических свойств бесподстилочного навоза

1.2.1. Классификация жидких отходов животноводства

Свиноводство является одной из основных отраслей животноводства, обеспечивающей продовольственную безопасность страны. Индустриальный подход, к которому приводит к росту производственных мощностей, что требует совершенствования технических средств и технологических решений, направленных на экологизацию и повышение эффективности способов подготовки к утилизации его отходов.

Известно, что одним из основных видов отходов животноводческих предприятий и свиноводческих ферм является навоз. Согласно ГОСТ 34103-

2017 [257] навоз представляет собой смесь экскрементов сельскохозяйственных животных разной фазовой природы.

В зависимости от физико-химических и биологических свойств навоз разделяют на подстилочный и бесподстилочный, который в результате технологических воздействий на него преобразуется в компосты на основе твердой фракции, навозную жижу, полужидкий и жидкий навоз, а также навозные стоки. В зависимости от степени разложения навоз разделяют на свежий, слаборазложившийся, полупревший, перепревший и перегной. В зависимости от продолжительности хранения навоза возрастает его удобрительная способность и число биогенных веществ, однако, параллельно с этим снижается санитарно-эпидемиологическая безопасность, возрастают затраты на эксплуатацию систем хранения. Установлено, что наиболее предпочтительной фазой разложения навоза с точки зрения эколого-экономических показателей обеззараживания является полупревшее состояние [66, 88, 202, 205, 219, 242, 291]. На рисунке 1.3 представлена блок-схема классификации навоза с учетом описанных выше признаков.

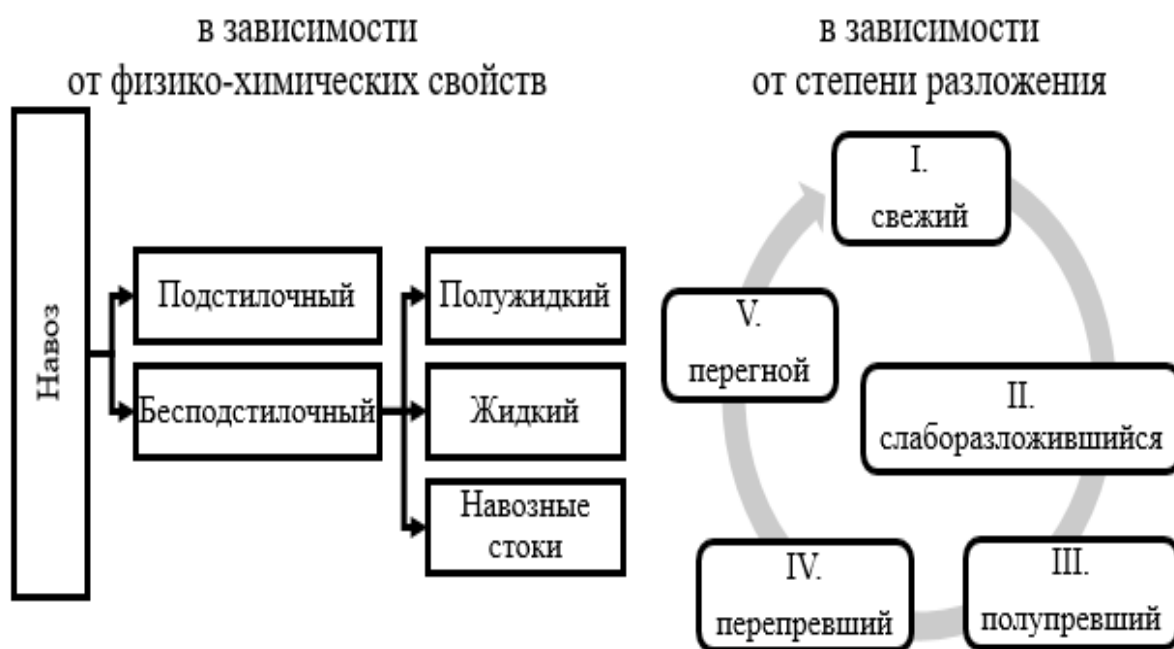


Рисунок 1.3 – Классификация видов навоза

Физико-химические и биологические свойства навоза напрямую зависят от источника его происхождения. Для примера рассмотрим свойства свиного навоза в комплексе с отходами, образуемыми крупным рогатым скотом (КРС), птичниками и другими видами отходов АПК (донные отложения, аквакультуры и т.д.).

Различают два основных способа содержания и ведения хозяйства – подстилочное и бесподстилочное. На рисунке 1.4 представлен пример подстилочного содержания свиней в рамках фермерского хозяйства малой производственной мощности.



Рисунок 1.4 – Пример подстилочного содержания свиней

На рис. 1.5 представлен пример бесподстилочного содержания свиней с разделением по половозрастным группам в рамках индустриального подхода.



Рисунок 1.5 – Пример бесподстилочного содержания свиней

Подстилочный навоз – смесь экскрементов сельскохозяйственных животных в совокупности с подстилкой и остатками корма [36, 69, 232, 240, 287]. К достоинствам подстилочного содержания можно отнести получение больших объемов минеральных удобрений с высоким содержанием биогенных веществ. К недостаткам подстилочного содержания относят высокую удельную энергоёмкость обеззараживания, сложность обеспечения пролонгированного бактерицидного эффекта, потери аммиачного азота NH_4 до 50% при внесении, возможность эффективного использования биогенных веществ только после их минерализации.

Согласно ГОСТ 33830-2016 [247] и ГОСТ 34103-2017 [257] индустриальный подход к животноводству требует минимизации эпидемиологически опасных отходов [158, 179, 188, 240, 243, 301, 302]. Обеззараживание подстилочного навоза требует достаточно высоких энергетических затрат, при этом обладает низкой экологической безопасностью, что делает наиболее приоритетным отказ от данного подхода и перевод животных на бесподстилочное содержание, приводящее к образованию бесподстилочного навоза.

Бесподстилочный навоз – гетерогенная полидисперсная система, представляющая суспензию водного раствора минеральных солей, органических соединений, а также взвесей с минеральными включениями (твёрдые экскременты животных, непереваренные корма и т.д.). С точки зрения теории о фазово-дисперсных состояниях сред, бесподстилочный навоз представляет собой полидисперсионную среду в дисперсной фазе. Учитывая фундаментальные основы классификации сред по фазово-дисперсным свойствам примесей, разработанной Л.А. Кульским [118], на рисунке 1.6 представлена усовершенствованная классификация фазово-дисперсных свойств применительно к бесподстилочному навозу. Проведя анализ работ [14, 78, 80, 92, 110, 117, 169, 170, 182, 202, 205, 274, 291, 295, 301] и систематизировав их результаты была разработана классификация

направлений утилизации отходов животноводства в зависимости от типов животных представленная на рисунке А.1 в приложении А.

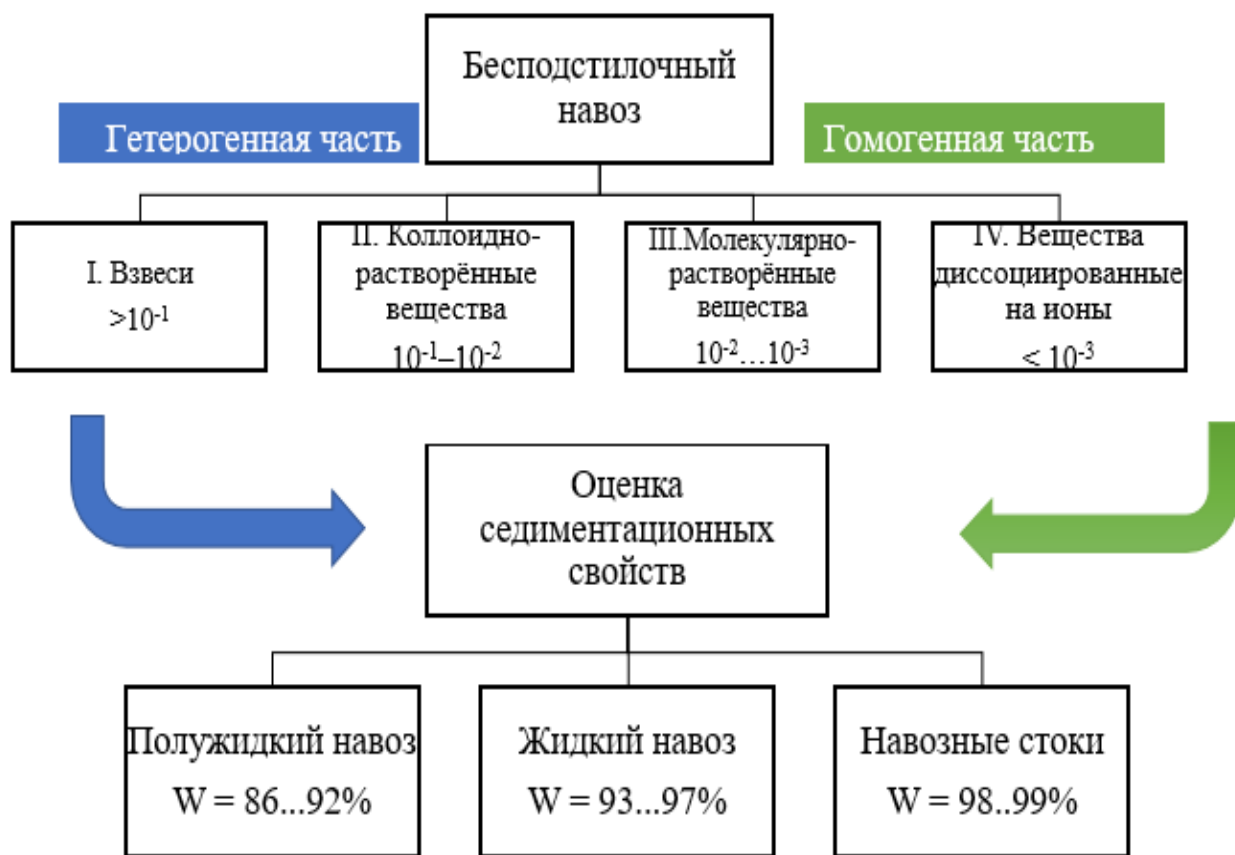


Рисунок 1.6 – Классификация бесподстильного навоза в зависимости от фазово-дисперсных свойств

Согласно [14, 22, 76, 82, 148, 169, 185, 189, 263, 272, 286], наиболее перспективным с точки зрения энергозатрат, а также сохранения биогенных свойств бесподстильного навоза является его дальнейшее использование в форме органического удобрения, что требует обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности.

Бесподстильное содержание животных по сравнению с подстильным обладает следующими преимуществами [10, 11, 17, 36, 47, 64, 70, 220, 265]:

- повышенная степень механизации и автоматизации содержания животных при соблюдении эпидемиологически безопасной среды;
- высокая степень механизации и автоматизации операций удаления, хранения, транспортировки и внесения навоза;

- возможность минимизации количества патогенных организмов и их влияния на окружающую среду;
- порядка 55...70% азота находится в аммонийной форме, что существенным образом пролонгирует его действие и уровень усвояемости почвами;
- эксплуатационные затраты процесса обеззараживания снижаются за счёт минимизации твердой фракции и циклов операций её погрузки/разгрузки/внесения;
- жидкая фракция бесподстилочного навоза является эффективным наполнителем при производстве компостов;
- эффективно внесение в почву вместе с соломой, что приводит к росту органического вещества и благоприятной динамики питательного режима почв.

Недостатком бесподстилочного содержания является увеличенный объём опасных в эпидемиологическом отношении жидких отходов, требующих обеззараживания.

Соответственно энергетически эффективная и экологически безопасная подготовка бесподстилочного навоза к обеззараживанию требует разработки интенсивных технических решений, обеспечивающих обеззараживание патогенных элементов. Разработка цифровизированной системы управления данными необходима для эффективного принятия решений и проведения анализа физических, химических и биологических свойств бесподстилочного навоза.

1.2.2. Оценка эпидемиологическо-биогенных свойств бесподстилочного навоза

Установлено, что рост производственных мощностей животноводческих предприятий, направленный на снижение себестоимости производимой ими продукции, требует перехода на бесподстилочное, беспривязное, стойловое

содержание животных, что приводит к росту бесподстилочного содержания. Бесподстилочное содержание приводит к увеличенному выходу полужидкого и жидкого навоза, что создает дополнительную негативную нагрузку на экосистемы. Эффективное обеззараживание данного вида отходов требует создания новых и совершенствования существующих способов, направленных на рост экологической безопасности и рациональное природопользование.

Согласно приказу Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 2 декабря 2002 года № 786 «Об утверждении федерального классификационного каталога отходов», отходы агропромышленного комплекса подразделяются в зависимости от класса опасности. В частности, свиной бесподстилочный навоз в зависимости от происхождения половозрастных групп животных, времени его выдержки и других факторов может быть отнесён к 3, 4 или 5 классу опасности (см. рисунок А.2 в приложении А), что подтверждает невозможность их экологически безопасного обеззараживания без подавления патогенной составляющей. К 3-му классу опасности относят свежий навоз обладающий высокой патогенной составляющей и неподверженный мероприятиям подготовки его к обеззараживанию, к этой категории также относится и помёт; к 4-му классу опасности относят перепревший навоз и помёт, не размещенный в хранилищах, использовать который в качестве удобрений без предварительной подготовки и обеззараживания является не рациональным с энерго-экологической точки зрения; к 5-му классу опасности относят перепревший навоз и помёт, навоз от КРС и от звероводческих хозяйств [42, 199, 302]. Согласно данным Росстата [217] Faostat [196] установлено, что за последние 14 лет во всех сферах животноводства наблюдается устойчивый рост, что обусловлено развитием импортозамещения, а также реализацией доктрины продовольственной безопасности. На рисунке А.3 в приложении А представлена динамика распределения поголовья сельскохозяйственных животных с 2005 по 2019 годы.

На основании изложенного можно сделать вывод, что эффективное обеззараживание является одной из основных операций, обеспечивающих эпидемиологическую и санитарно-гигиеническую безопасность утилизационного цикла, оптимизация и цифровизация которой являются актуальной задачей.

1.2.3. Физические свойства бесподстилочного навоза

Как показал анализ информационных источников [10, 11, 47, 66, 220, 262, 266, 267, 305], наиболее представительными физическими параметрами, оценивающими свойства и характеристики бесподстилочного навоза, являются: относительная влажность B_n , %; плотность ρ , кг/м³; динамическая вязкость η , Па·с; начальное напряжение сдвига τ_0 , Па; комплекс качественных параметров, характеризующих адгезионно-когезионные свойства (липкость, т.е. сила отрыва плоского штампа из заданного материала от связной жидкости, время осаждения дисперсной фазы и др.); однородность гранулометрического состава (оценивается при помощи функций распределения плотности вероятностей и методов седиментационного анализа полидисперсных систем). На рисунке 1.7 представлена зависимость содержания биогенных элементов в свином бесподстилочном навозе при его различной влажности: синим цветом обозначены столбцы, характеризующие концентрацию N , бежевым – концентрацию P_2O_5 , зелёным – концентрацию K_2O . Концентрации данных веществ являются наиболее представительными индикаторами, позволяющими оценить биогенные свойства и как следствие энергетический потенциал.

Обобщив результаты исследований [94, 107, 111, 144, 148, 237, 244, 262, 264, 271, 279, 292], в таблице А.1 в приложении А представлены результаты исследования физико-реологических свойств бесподстилочного навоза.

Проанализировав результаты исследований, представленные в таблице А.1 (см. приложение А) установлено, что для формирования эффективного

подхода операционных воздействий на бесподстилочный навоз, необходимо разработать комплекс цифровизированных решений. Для решения поставленной задачи основываясь на результаты, представленные в таблице А.1 и их обобщения, представленные в работах [107, 159, 235, 244, 273] были проведены дополнительные исследования [280], позволяющие оценить специфику физико-реологических свойств свиного бесподстилочного навоза.

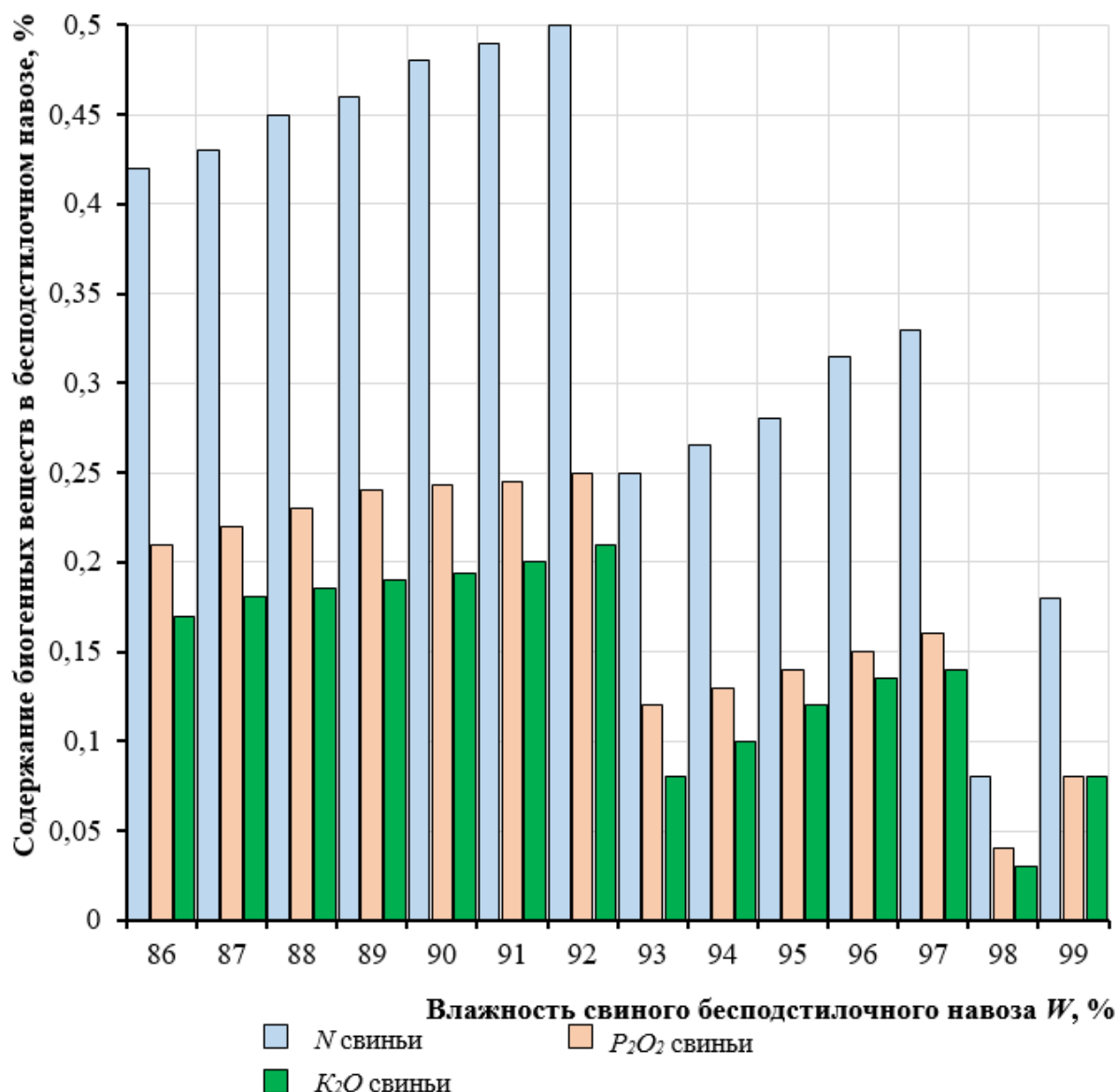
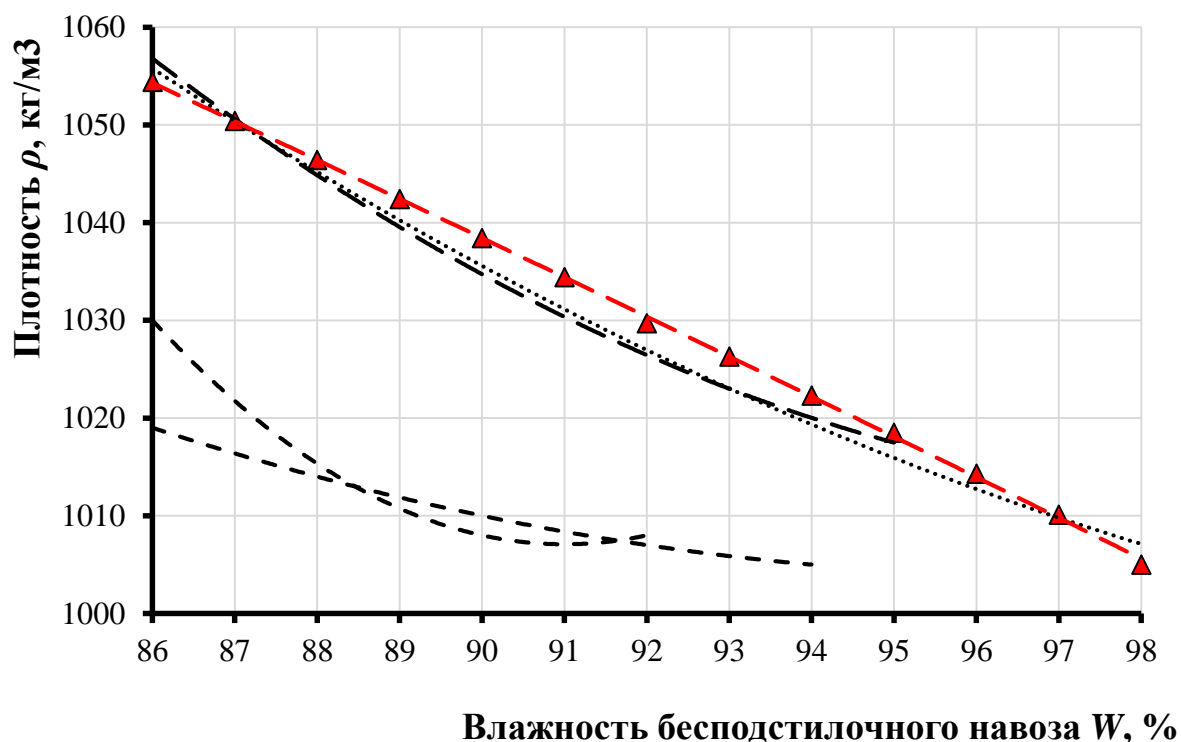


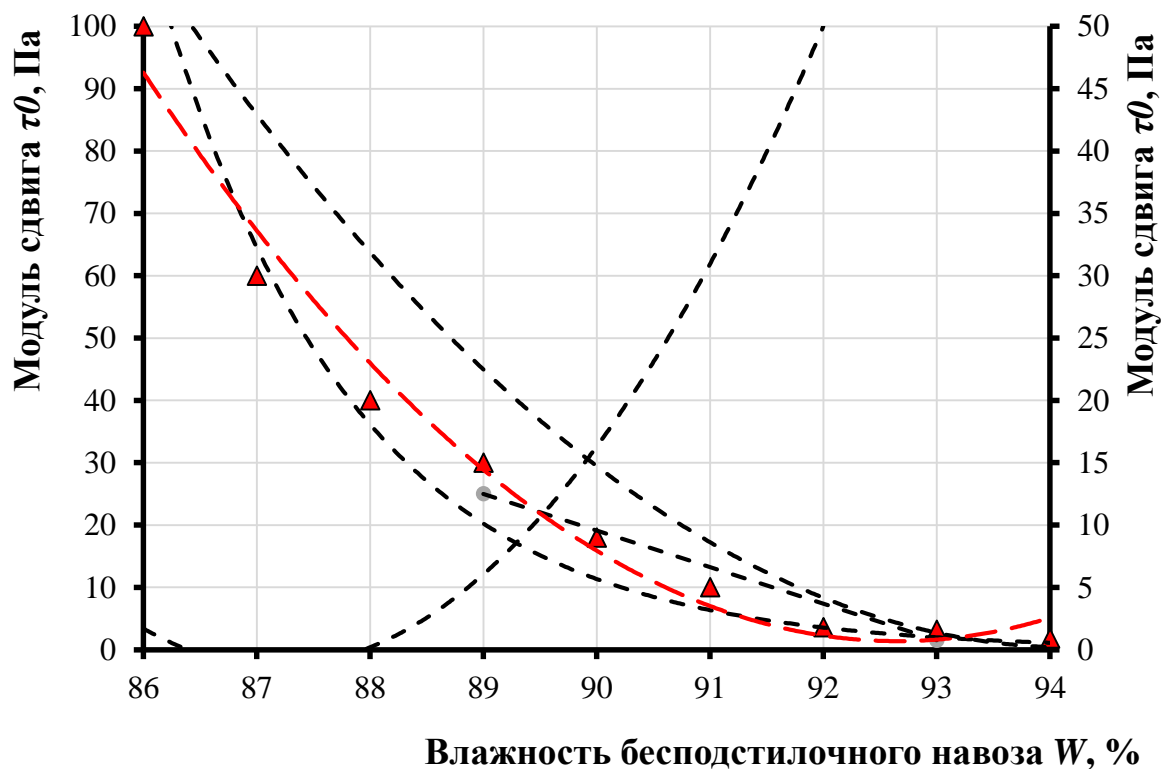
Рисунок 1.7 – Объём биогенных веществ свиного бесподстилочного навоза в зависимости от его влажности

Результатом описанных выше дополнительных исследований стали формализованные математические зависимости, представляющие исходные

данные для разработки цифровизированной системы, графическая интерпретация которых представлена на рисунках 1.8...1.10.



Влажность бесподстилочного навоза W , %
Рисунок 1.8 – Зависимость плотности бесподстилочного навоза от влажности



Влажность бесподстилочного навоза W , %
Рисунок 1.9 – Зависимость плотности бесподстилочного навоза от модуля сдвига

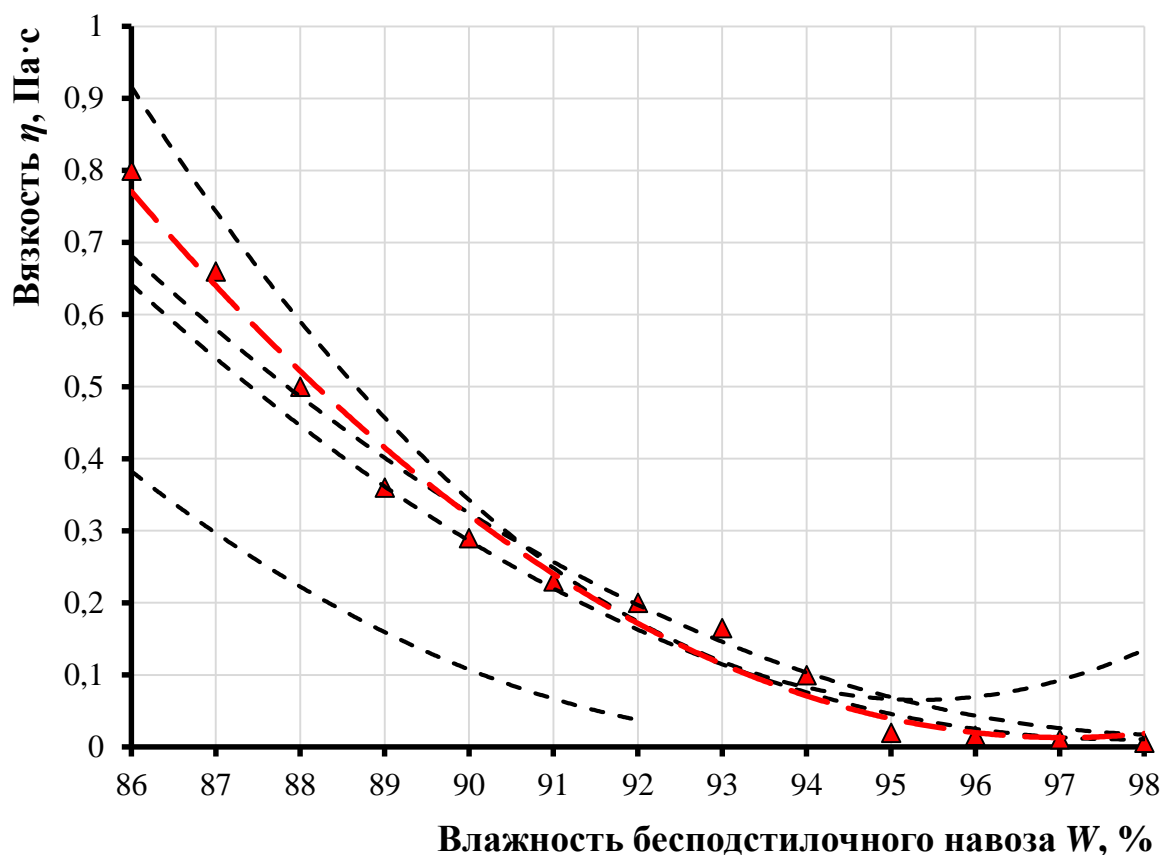


Рисунок 1.10 – Зависимость плотности бесподстилочного навоза от вязкости

Согласно [8, 29, 51, 148, 155, 279], при моделировании зависимостей подобного рода рациональным является использование коэффициента детерминации в качестве критерия оценки достоверности полученных результатов формализации. Коэффициент детерминации представляет собой зависимость: единица минус отношение дисперсии случайной ошибки зависимости к дисперсии зависимой переменной и выражается:

$$r^2 = 1 - \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \leq \pm 1 \quad (1.2)$$

Анализ графических зависимостей, представленных на рисунках 1.8 ...1.10, позволил сделать следующие выводы:

– плотность бесподстилочного навоза убывает пропорционально увеличению его влажности по квадратичной зависимости, полученной автором и представленной ниже:

$$\rho = -0,0113W^2 - 1,9703W + 1307,6 \quad (1.3)$$

– зависимость (1.3) в виде квадратичного полинома адекватно по критерию Фишера позволяет оценить поведение плотности бесподстилочного навоза в зависимости от его влажности при уровне значимости $\alpha = 0,05$, коэффициент детерминации при этом составляет $r^2=0,99$;

– модуль сдвига бесподстилочного навоза убывает пропорционально увеличению его влажности по квадратичной зависимости до 88...91%, затем на участке от 92% до 98% наблюдается незначительное возрастание модуля сдвига, описывается данная зависимость с помощью модели, полученной автором и представленной ниже:

$$\tau_0 = 1,0303W^2 - 190,92W + 8845,4 \quad (1.4)$$

– зависимость (1.4) в виде квадратичного полинома адекватно по критерию Фишера позволяет оценить поведение модуля сдвига бесподстилочного навоза в зависимости от его влажности при уровне значимости $\alpha = 0,05$, коэффициент детерминации при этом составляет $r^2=0,98$;

– вязкость бесподстилочного навоза убывает пропорционально увеличению его влажности по квадратичной зависимости, полученной автором и представленной ниже:

$$\eta = 0,0062W^2 - 1,2033W + 58,406 \quad (1.5)$$

– зависимость (1.5) в виде квадратичного полинома адекватно по критерию Фишера позволяет оценить влияние влажности бесподстилочного навоза на его вязкость при уровне значимости $\alpha = 0,05$, коэффициент детерминации при этом составляет $r^2=0,98$.

1.2.4. Химические свойства бесподстилочного навоза

Химические свойства бесподстилочного навоза в зависимости от источника происхождения представлены в таблице А.2 в приложении А [87].

Как показал анализ информационных источников [36, 87, 143, 155, 220-222, 281], химическими параметрами (см. таблицу А.2), характеризующими биогенные свойства бесподстилочного навоза, являются:

- концентрация минеральных веществ, %;
- концентрация азота, обобщённая $N_{общ}$, кг/м³;
- концентрация аммиачного, аммонийного, органического азота NH_4 , кг/м³;
- концентрация фосфорного ангидрида (оксида фосфора) P_2O_5 , кг/м³;
- концентрация оксида калия K_2O , кг/м³;
- химическое потребление кислорода (ХПК) к массе органического вещества (ОВ);
- биохимическое потребление кислорода (БПК) к массе ОВ;
- пятидневное биохимическое потребление кислорода (БПК₅) к массе органического вещества.

На основании анализа информационных источников [39, 46, 50, 91, 147, 152, 159, 236, 281], представлена зависимость содержания биогенных веществ в полужидком, жидком бесподстилочном навозе и навозных стоках в зависимости от их влажности.

В таблицах А.3 и А.4 в приложении А представлены процентные соотношения содержания биогенных веществ отходов животноводства в зависимости от типа животных и фракционного состава их отходов, согласно РД-АПК 1.10.15.02-17 [155].

Согласно анализа РД-АПК 1.10.15.02-17 [159] установлено, что для определения концентрации биогенных свойств обеззараживаемых органических отходов, допустимо исходить из содержания в них жидкости и сухого вещества. Данный нормативный документ, а также результаты предварительных исследований регламентируют диапазоны концентраций общего азота: в жидкой фракции свиного бесподстилочного навоза – 55% ± 7%, в жидкой фракции бесподстилочного навоза КРС – 40% ± 3%; фосфора: в жидкой фракции свиного бесподстилочного навоза – 10% ± 1,5%, в жидкой фракции бесподстилочного навоза КРС – 2% ± 0,5%; калия: в жидкой фракции свиного бесподстилочного навоза – 50% ± 5%, в жидкой фракции бесподстилочного навоза КРС – 85% ± 7%. Биогенность бесподстилочного

помёта оценивают содержанием аммонийного азота, которое принимается равным $25\% \pm 3\%$.

Поскольку РД-АПК 1.10.15.02-17 регламентирует средние значения биогенных элементов, то для наиболее полной оценки биогенности свойств бесподстилочного навоза рациональным является рассмотрение таких параметров как: концентрация щавелевой кислоты $C_2H_2O_4$ – 1,0...1,5%; общая концентрация кислот – 1,5-2,0%; pH – 5,5-6,0. При длительном хранении бесподстилочного навоза и помёта происходит его переход из термофильной в мезовальную фазы, что сопровождается изменением pH среды от кислотной к щелочной – 8,0...9,0 [155].

1.2.5. Биологические свойства бесподстилочного навоза

Биологические свойства бесподстилочного навоза в зависимости от источника происхождения представлены в таблице А.5 в приложении А (согласно ГОСТ 33830-2016 [247] и МУ 2.1.5.800-99 [43]).

Как показал анализ информационных источников [68, 73, 76, 86, 230], биологическими параметрами (см. таблицу А.5 в приложении А), характеризующими эпидемиологические свойства бесподстилочного навоза, являются:

- число КОЕ бактерий группы кишечных палочек, шт;
- число КОЕ бактерий группы стафилококков, шт;
- число КОЕ бактерий группы энтерококков, шт;
- число КОЕ бактерий группы аэробных спорообразующих микроорганизмов, шт;
- число КОЕ яиц: аскариды, трихоцефала, эзофагостом, фасциол, личинок стронгилят, крысиного цепня, клещей, шт;
- число КОЕ цист простейших и ооцист эймерий, шт.

На основании анализа таблицы А.5 (см. приложение А), установлено, что эпидемиологически безопасная подготовка бесподстилочного навоза к

утилизации возможна при полном отсутствии КОЕ яиц и цист простейших, ооцист эймерий, а также значениях КОЕ не превышающих 100 единиц, для бактерий групп кишечных палочек, стафилококков, энтерококков, а также аэробных спорообразующих микроорганизмов. Соответственно, оценку эффективности способов и типов обеззараживания бесподстилочного навоза необходимо осуществлять исходя из посевов приведённых типов биоценозов на соответствующие питательные среды.

1.2.6. Анализ динамики образования бесподстилочного навоза

По данным Росстата [217] и Faostat [196] на конец декабря 2018 года, наиболее производительными регионами страны с точки зрения поголовья КРС, птицы и свиней являются Центральный и Южный федеральные округа. Динамика роста поголовья КРС, птицы и свиней представлена в таблице 1.1 и графическая её интерпретация на рисунке А.4 в приложении А.

Таблица 1.1 – Динамика роста поголовья КРС, птицы и свиней в 2015-2018 годах в Центральном и Южном федеральных округах РФ

№ п/п	Вид	Регион РФ	2015	2016	2017	2018
1	КРС	Центральный федеральный округ	2 860,4	2 877,3	2 908,4	2 978,5
		Южный федеральный округ	2 392,1	2 375,1	2 349	2 329,8
2	Птица	Центральный федеральный округ	164 193,9	171 114,9	175 298,3	168 638
		Южный федеральный округ	64 828	63 228,8	67 033,5	60 795,9
3	Свиньи	Центральный федеральный округ	9 647,8	10 294,2	11 336,8	11 834,7
		Южный федеральный округ	1 423,7	1 373,5	1 313,6	1 370,6

На основании анализа статистических данных рассмотрены усреднённые объёмы образования бесподстилочного навоза в сельскохозяйственных организациях, хозяйствах населения, крестьянских фермерских хозяйствах и у индивидуальных предпринимателей за 30 лет.

На рисунке 1.11 представлена динамика объёмов бесподстилочного навоза, образуемого в хозяйствах различной производственной мощности в зависимости от его влажности. Разделение хозяйств в зависимости от типов производственной мощности произведено на основании следующих категорий, сформированных на основании анализа информационных источников [14-16, 50, 93, 96, 97]: крупные комплексы (24 000, 54 000, 108 000 голов и выше), хозяйства населения (\approx 1 500-3 000 голов и выше), крестьянские хозяйства и индивидуальные предприниматели (до 1 000 голов).

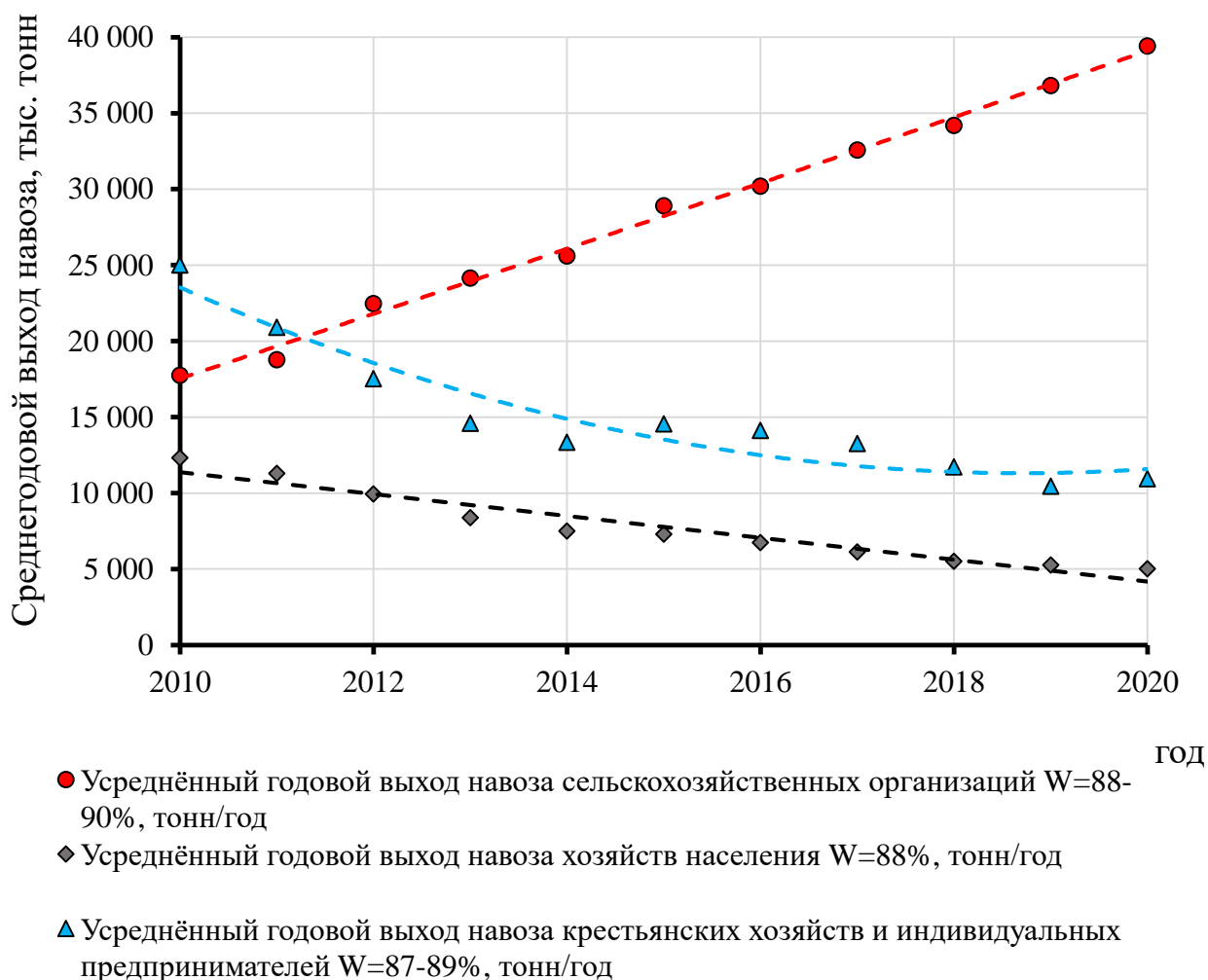


Рисунок 1.11 – Динамика среднегодового выхода свиного навоза

На рисунке 1.12 представлена динамика роста поголовья свиней в РФ за последние 30 лет и распределение поголовья по формам собственности хозяйств.

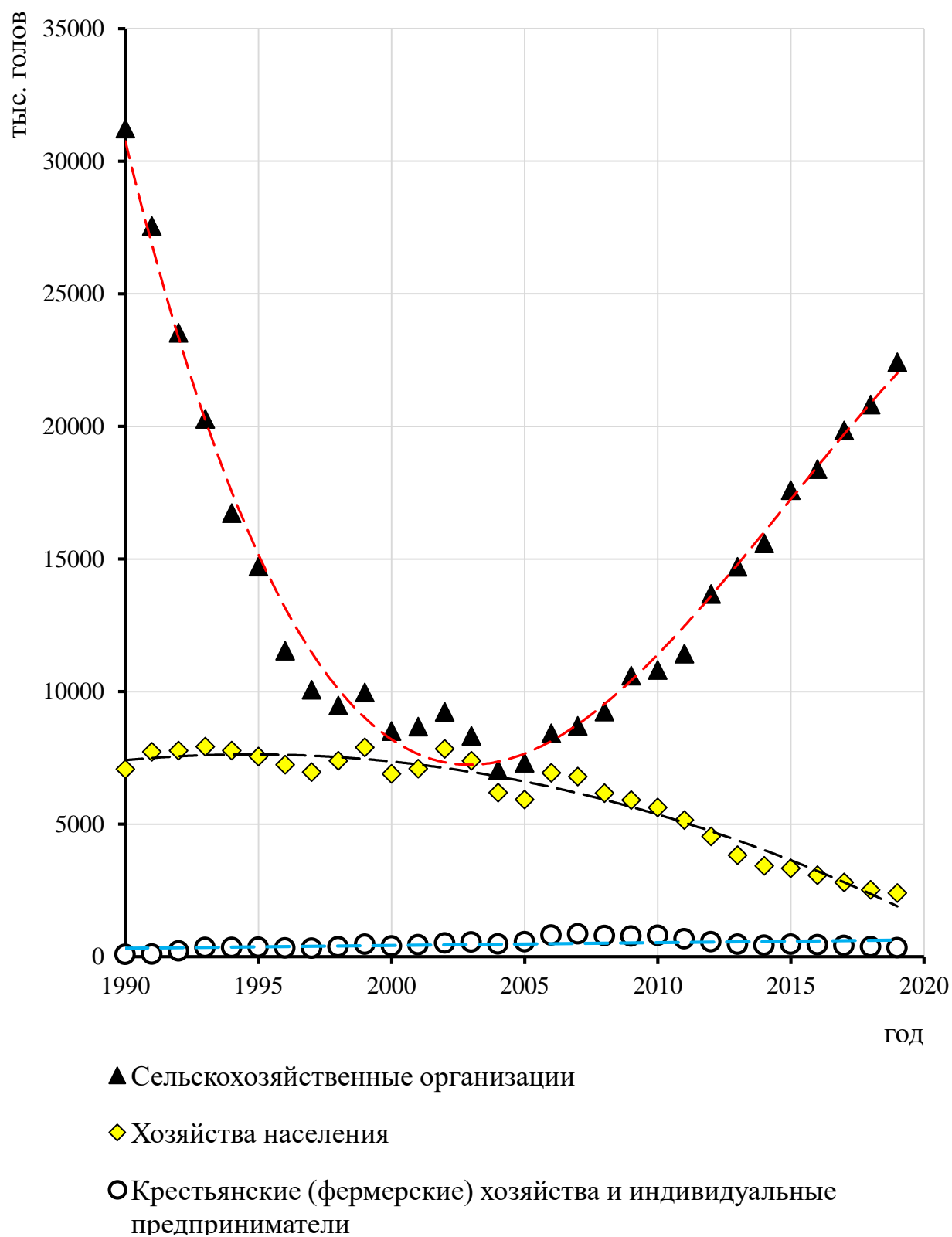


Рисунок 1.12 – Распределение концентрации производственных мощностей поголовья свиней в зависимости от типа хозяйств

Как показал анализ данных Росстата в указанных регионах установлена положительная динамика роста производственных мощностей, что приводит к увеличенному образованию опасных в эпидемиологическом и санитарно-гигиеническом плане отходов. Также следует отметить, что на эффективность обеззараживания оказывают существенное влияние агроклиматические условия.

Рассмотрим основные модели количественной оценки выхода бесподстилочного навоза в зависимости от типа поголовья.

Одним из основных количественных показателей производственной мощности обеззараживания является общий годовой выход смеси экскрементов и средний выход бесподстилочного навоза на голову.

В общем виде нормы выхода отходов животноводства в зависимости от половозрастной группы представлены РД-АПК 1.10.15.02-17 (см. таблицы А6-А6 в приложении А).

Рассмотрим аналитические подходы к оценке выходных объёмов отходов животноводства. Модель для определения годового выхода (Γ) смеси экскрементов влажностью порядка 90% представлена формулой:

$$\Gamma = \text{Свк} \cdot (1 - K) \cdot k_1, \quad (1.6)$$

где Свк – масса сухого вещества, входящего в корм, т;

K – коэффициент оценивающий степень переваримости кормов (для свиней 0,7; для крупного рогатого скота 0,6);

k_1 – коэффициент пропорциональности роста объёма бесподстилочного навоза в зависимости от способа его удаления (для гидравлических систем рекомендуется принимать $k_1 = 10$).

Согласно исследованиям [10, 31, 87, 93-97, 143, 220], выход бесподстилочного навоза от одной головы КРС усреднённо составляет 48...62 литров/сутки (30...35 литров кала и 15...20 литров мочи, 5...7 литров технологических вод), от одной свиньи – 12...15 литров (8...10 литров кала, 2...5 литра мочи и 2...4 литра технологических вод). Согласно [24-26],

суточный выход экскрементов КРС составляет – порядка 8...10%, свиней – порядка 5...7% живой массы.

В работе [24], проведён анализ методов укрупнённой оценки объёма навоза/помёта в зависимости от исходной информации. Автором установлены, основные классификационные критерии оценки выхода отходов животноводческих предприятий, среди которых: масса животных, годовой объём продукции, по массе и составу кормов, на основании анализа априорной эмпирической информации и нормативно-технологическим нормам проектирования.

В.Н. Письменов [24] предложил способ определения выхода органических отходов животноводства, построенный на учёте степени переваримости сухого вещества, находящегося в кормах по следующей модели [24-26, 31, 284]:

$$H = \left[(C_{свр} - A) \cdot \frac{100 - K}{100} + A \right] \cdot k_1 + П \quad (1.7)$$

где $C_{свр}$ – масса сухого вещества рациона, т;

A – количество сухого вещества корма, попадающего в навоз, т;

K – коэффициент переваримости сухого вещества, % (60% – откормочный молодняк КРС, 55% – для коров, 70% – для свиней);

$П$ – масса используемой подстилки, т.

Критический анализ предложенной зависимости проведён в работах [11, 25, 26, 31, 97, 143]. Преимуществом способа является возможность учёта выхода органических отходов животноводства, исходя из объёмов затрачиваемых кормов. Недостатком является недостаточно достоверное значение получаемого результата, за счёт использования большого количества коэффициентов, например, формула (1.7) не учитывает зависимость объёма выхода органических отходов от их исходной влажности. С развитием индустриального подхода к животноводству и бесподстильного содержания

животных данный фактор является достаточно существенным, о чём свидетельствуют исследования [31, 69, 108, 111, 158].

В работах [24-26, 31], представлена методика определения объёма органических отходов животноводства, построенная на оценке структуры животноводческого хозяйства, учёте количества половозрастных групп, а также следующих ограничений в виде: межотельного цикла 405 дней; коэффициента выбраковки животных от общего поголовья; коэффициента выбраковки молодняка до года 9 %, в период перед осеменением 15...16 месяцев 7 %, племенная продажа в 18–20 месяцев [24]. Суть способа определения объёма выхода органических отходов животноводческих производств заключается в использовании следующей модели [24, 31]:

$$Q_{\text{общ}} = \sum_{j=1}^m (Q_a + Q_t + Q_n + Q_p) \cdot n_j \quad (1.8)$$

где Q_a – суммарный ежесуточный объём твёрдой и жидкой фракции отходов, кг;

Q_t – ежесуточный расход технологической воды, м³;

Q_n – ежесуточный расход воды для удаления отходов, м³;

Q_p – масса подстилки на голову животного (в случае подстилочного содержания), кг;

n_j – количество голов половозрастной группы, шт;

m – количество половозрастных (технологических) групп, шт.

Установлено, что повысить степень достоверности моделей, учитывающих выход органических отходов животноводческих предприятий, на примере свинокомплекса, возможно принятием следующих условий [24]:

– цикл воспроизводства продолжительностью 168 дней (7 дней – подготовка маток к осеменению или случке, отъем поросят и оплодотворение, 115 дней – супоросность, 46 дней – подсосный период при отъеме поросят в возрасте $42 \pm 3,5$ дня);

- деление стада маток на кластерные группы с периодичностью осеменения каждые 56 дней и кратной продолжительностью цикла воспроизводства ($168:6=3$);
- установку двухфазной системы выращивания и откорма молодняка, передержкой поросят после отъёма в маточных станках до передачи на откорм;
- использование принципа «свободно-занято» при содержании животных технологическими группами.

На основании анализа информационных источников и нормативных документов, член-корреспондент РАН А.Ю. Брюханов предложил коэффициенты, позволяющие прогнозировать выход органических отходов животноводческих предприятий с учётом типа животных, половозрастных групп, способа их содержания. Основные результаты и методики представлены в работах [24-26, 31]. Полученные результаты позволяют в существенной мере повысить достоверность значений результатов в условиях точных данных о количестве половозрастных групп животных, способе их содержания и технологии удаления образованных органических отходов. Однако, несмотря на описанные преимущества данная методика требует значительный объём исходных данных необходимых для получения достоверного результата, что зачастую является затруднительным, особенно при укрупнённом анализе. Представленная формула (1.8) не позволяет учесть зависимость объёма выхода от исходной влажности отходов.

Анализ результатов предыдущих исследований позволил сделать заключение, что существующие методики оценки выхода органических отходов, не в полной мере позволяют учесть влияние такого фактора как уровень исходной влажности на конечный объём, что является весьма актуальным при бесподстилочном индустриальном содержании.

Установлено, что при индустриальном подходе, использующем бесподстилочное содержание, за счет технологических вод, используемых при

гидросмывных способах удаления отходов, выход бесподстилочного навоза может увеличиваться до 25%.

На основании анализа данных представленных в источниках [10, 26, 87, 143, 175, 220, 223, 240, 287, 294] предложена автором экспоненциальная зависимость, характеризуемая коэффициентом, учитывающим взаимосвязь исходной влажности бесподстилочного навоза с его конечным объёмом:

$$k_{vн} = 65,369 \cdot e^{0,3017 \cdot W_H} \quad (1.9)$$

где $k_{vн}$ – коэффициент определения объёма навоза учитывающий исходную влажность материала до фракционного разделения, %;

W_H – влажность бесподстилочного навоза, %.

Анализ статистических данных и результатов исследований [31, 47, 143, 220, 246, 287] позволил представить на рисунке 1.13 графическую интерпретацию модели (1.9).

Анализ уравнения (1.9) и графической зависимости (рис. 1.14) показал следующее:

– математическая модель (1.9) в экспоненциальной форме адекватно по критерию Фишера, характеризует зависимость объёма выходного бесподстилочного навоза от исходной влажности при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что подтверждается коэффициентом детерминации $r = 0,95221$;

– установлено, что увеличение исходной влажности, в рассматриваемом диапазоне, приводит к увеличению объёмов бесподстилочного навоза.

На рисунке 1.14 представлена блок-схема кибернетической модели образования качественных и количественных показателей бесподстилочного навоза [36, 66, 88, 143, 220, 246].

На основании проведённого анализа установлено, что наиболее перспективным способом оценки выхода отходов животноводческих предприятий является разработка программного комплекса для автоматического расчёта объёмов каждого типа отходов.

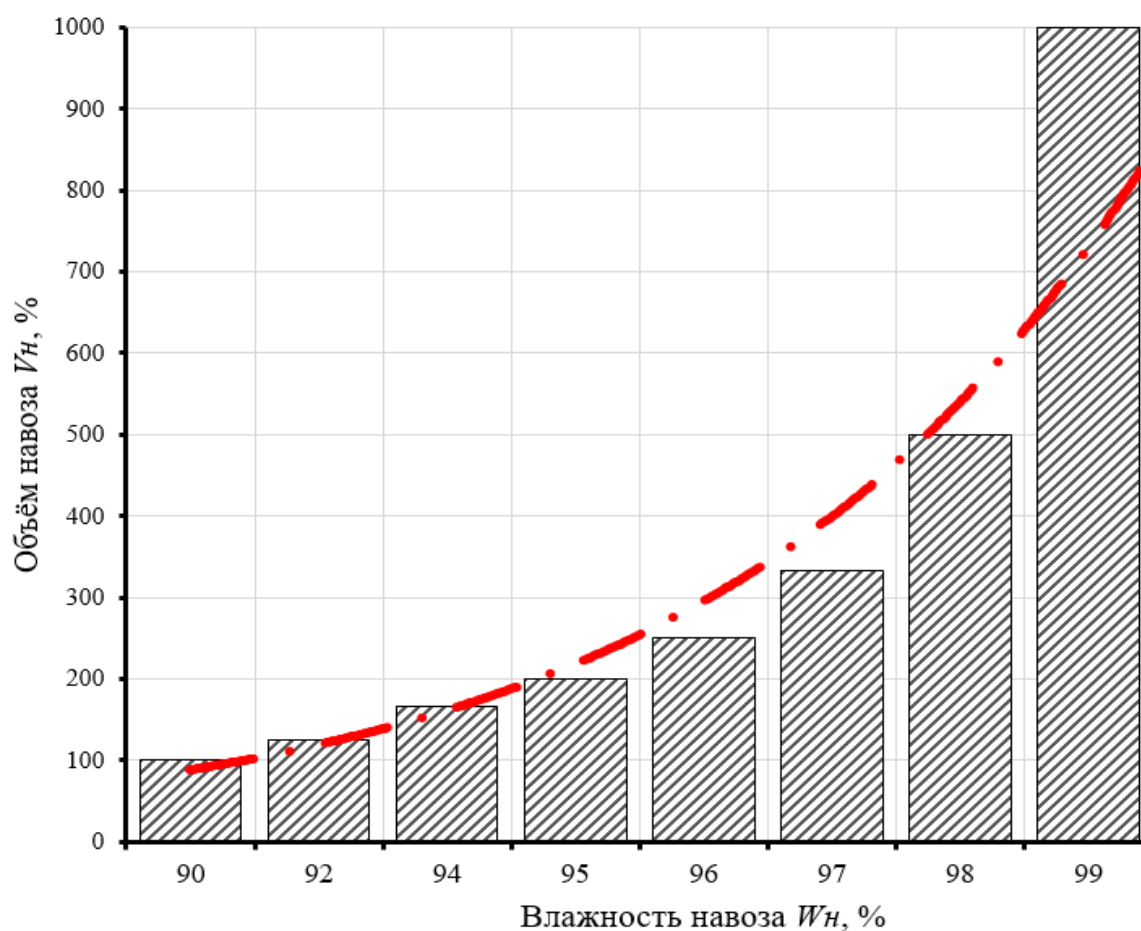


Рисунок 1.13 – Зависимость выходного объёма бесподстилочного навоза от исходной влажности



Рисунок 1.14 – Блок-схема кибернетической модели образования качественных и количественных показателей бесподстилочного навоза

Определены факторы, способные оказывать влияние на количественные показатели выхода отходов. На основании априорной информации предложена универсальная модель оценки выхода отходов животноводческих предприятий [31]:

$$Q_{\text{общ}} = \left[\sum_{j=1}^m (Q_{\text{тв}} + Q_{\text{жид}} + Q_{\text{техвод}} + Q_{\text{подст}}) \cdot n_j \right] \cdot k_{\text{вн}} \quad (1.10)$$

где $Q_{\text{тв}}$ – суммарный ежесуточный объём твёрдой фракции органических отходов, кг;

$Q_{\text{жид}}$ – ежесуточный объём жидкой фракции органических отходов, м³;

$Q_{\text{техвод}}$ – ежесуточный объём расхода технологической жидкости для удаления органических отходов, м³;

$Q_{\text{подст}}$ – масса подстилки на голову животного (в случае подстилочного содержания), кг;

n_j – число голов половозрастной группы, шт.;

m – число половозрастных (технологических) групп, шт.;

$k_{\text{вн}}$ – коэффициент учёта объём навоза в зависимости от общей исходной влажности материала, %.

Проанализировав свойства отходов животноводства с физической, химической и биологической точек зрения, рассмотрев основные методики оценки выхода отходов в зависимости от вида животных, фаз их развития, а также технологий и способов содержания, установлено, что бесподстилочное содержание животных является наиболее перспективным.

1.3. Анализ технологий подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию

Перспективным направлением утилизации навоза, вне зависимости от его формы, является его применение в качестве органических удобрений [26, 72, 74, 75, 98-102, 109, 111, 116, 232, 238].

В работах [26, 116, 246, 284], а также Р.А. Уваров в качестве критериев оценки эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза использует понятие «наилучшей доступной технологии (НДТ)», руководствуясь Федеральным законом РФ №219-ФЗ от 21.07.2014 года «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды и отдельных законодательных актах Российской Федерации».

Согласно результатам предварительных исследований, проанализированным комплексам нормативных документов, установлено, что наиболее представительными критериями оценки технологической эффективности способа обеззараживания бесподстилочного навоза являются:

- минимизация уровня негативного воздействия на био-агроценозы, оцениваемая расчётом на единицу времени или объёмом производимого продукта;
- капиталовложения и эксплуатационные расходы;
- уровень оснастки и общая энерго-эффективность используемых систем и их направленность на рациональное природопользование.

При рассмотрении существующих способов обеззараживания бесподстилочного навоза, приведённые выше критерии примут следующий вид:

- максимизация сохранности биогенных веществ, определяющих уровень энергетического потенциала;
- минимизация санитарно-эпидемиологической нагрузки на био- и агроценозы в процессе подготовки к обеззараживанию;
- снижение удельной энергоёмкости операций и как следствие минимизация удельных энергетических затрат.

Оценивание уровня сохранности биогенных веществ, содержащихся в обеззараживаемом бесподстилочном навозе, необходимо производить с помощью соответствующих индикаторов. Согласно работам [36, 47, 116, 220, 246], одним из наиболее информативных и представительных индикаторов

сохранности биогенных свойств при обеззараживании бесподстилочного навоза является – азот *N*.

Рассмотрим технологический процесс обеззараживания свиного бесподстилочного навоза, как последовательность операций реализуемых, в зависимости от исходных свойств технологического материала, подвергаемого воздействию. Широкое распространение получил подход, при котором последовательность и количество операций зависит от исходной влажности утилизируемого материала, для того что бы свиной бесподстилочный навоз можно было рассматривать как жидкие отходы животноводства, его технологическая влажность должна находиться в диапазоне от 75% до 98%.

Как показал анализ работ [25, 79, 101, 116, 232, 240, 246, 284], для повышения эффективности и обеспечения роста экологизации обеззараживания отходов, диапазон технологической влажности 75...98%, необходимо разделять на несколько поддиапазонов: 75...85%, 86...92%, 93...98%.

Рассмотрим последовательность операций первого поддиапазона 75...85%. Первой операцией цикла является сбор отходов, который в свою очередь может осуществляться, как механическими системами, так и гидравлическими системами, в зависимости от производственных мощностей хозяйства. После сбора жидких отходов осуществляется их транспортировка механическим образом в навозохранилище, где осуществляется его отстаивание в течении 6...7 суток. Поскольку данный вид отходов обладает существенным уровнем опасности с санитарно-эпидемиологической и экологической точек зрения, следующим этапом идёт оценка уровня эпизоотии и эпифитотии. Которая включает в себя диагностирование таких заболеваний как панзоотия, ящур, классическая чума, оспа, псевдочума, бруцеллёз, а также санитарно-эпидемиологическое состояние окружающей среды включающее почву, растения и другие агроценозы, находящиеся вблизи хозяйства. Комплексная оценка эпизоотии и эпифитотии, необходима для

своевременного диагностирования, профилактики и экологизации взаимодействия агроценозов через трофические цепочки. В случае подтверждения вспышек массовых инфекционных заболеваний осуществляется полная химическая дезинфекция, наиболее эффективными и широко применяемыми для данных целей реагентами являются хлор содержащие. В случае отсутствия подтверждения эпизоотических и эпифитотических свойств собранного материала, он подвергается компостированию или биотермическому сбраживанию. Затем, после компостирования или биотермического сбраживания получается органическое удобрение, готовое к внесению в почвы, согласно требованиям, предъявляемым к обеззараживанию и внесению подобного рода отходов с агрохимической точки зрения. Данные нормативы регламентируются такими документами как: ГОСТ Р 53117-2008 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия; ГОСТ 33830-2016 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия; ГОСТ 26074-84 Навоз жидкий. Ветеринарно-санитарные требования к обработке, хранению, транспортированию и использованию; ГОСТ 26712-94 Удобрения органические. Общие требования к методам анализа; ГОСТ 26713-85 Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка; ГОСТ 26715-85 Удобрения органические. Метод определения общего азота; ГОСТ 26717-85 Удобрения органические. Метод определения общего фосфора; ГОСТ 26718-85 Удобрения органические. Метод определения общего калия; ГОСТ 27979-88 Удобрения органические. Метод определения pH; ГОСТ 27980-88 Удобрения органические. Методы определения органического вещества и др.

Преимуществом данного подхода является его простота и низкая стоимость удельных эксплуатационных затрат, существенным недостатком является высокая продолжительность реализуемых операций компостирования и биотермического сбраживания, низкая экологическая безопасность, высокий риск возникновения эпизоотических и

эпифитотических ситуаций, сложность контроля биологических процессов, сильная зависимость получаемого эффекта от агроклиматических условий, а также не стабильное качество получаемых органических удобрений. Соответственно, данный подход является недостаточно эффективным при индустриальном подходе к животноводству, поскольку является мало безопасным с экологической точки зрения и требует при этом существенных площадей для хранения собранных отходов, а также реализации длительных биологических операций.

Рассмотрим последовательность операций второго поддиапазона 86...92%. Сбор и предварительное отстаивание осуществляются аналогично первому поддиапазону, после чего осуществляется проверка уровня эпизоотии и эпифитотии, в случае положительной реакции, т.е. присутствии заболеваний, также осуществляется дезинфекция химическими реагентами, а в случае отсутствия осуществляется фракционное разделение отстоявшихся отходов. Результатом разделения является получение твёрдой и жидкой фракций. Жидкая фракция подвергается гомогенизации, обеззараживанию, после чего осуществляется её проверка соответствию санитарно-эпидемиологическим и экологическим регламентам, после прохождения которой может происходить внесение полученного жидкого органического удобрения на поля. Твёрдая фракция подвергается обезвоживанию и последующему компостированию. Преимуществом данного подхода является наиболее полное использование биогенных свойств отходов, достигаемое за счёт введения операции фракционного разделения, а недостатком низкая экологическая безопасность, высокий риск возникновения эпизоотических и эпифитотических ситуаций, сложность контроля биологических процессов, сильная зависимость получаемого эффекта от агроклиматических условий при реализации биологических операции обработки твёрдой фракции. Соответственно можно сделать вывод, что данный технологический подход является наиболее рациональным при индустриальном подходе к животноводству, однако является достаточно продолжительным и не

обеспечивает стабильного эффекта соответствия санитарно-эпидемиологическим и экологическим показателям в результате существенного влияния агроклиматических факторов.

Последовательность операций третьего поддиапазона 93...98%, может быть аналогичной, последовательности операций второго поддиапазона технологической влажности отходов 86...92% и будет отличаться конструктивными и режимными параметрами некоторых операций, таких как фракционное разделение, частота гомогенизации, концентрации реагентов и продолжительность обеззараживания, а также обезвоживание и компостирование твёрдой фракции. О перспективности использования данного подхода применительно к рассмотренной технологической влажности сказано в работах [80, 82, 270, 284, 296].

Первой операцией после сбора отходов является их смешивание с сорбентами. После чего происходит транспортировка сформированной подстилки, которая далее подвергается активному или пассивному компостированию. Преимуществом данного подхода является возможность получение подстилки, обладающей биогенными свойствами, недостатком – низкая экологическая безопасность. Соответственно, можно сделать вывод, что применение данного подхода является недостаточно эффективным в рамках индустриальной технологии животноводства. Графическая интерпретация описанных подходов представлена на рисунке А.5 в приложении А в виде блок-схемы выбора технологических операций.

Основными направлениями утилизации жидких отходов влажностью 90...98% авторами работ [81-83, 191, 270, 284] определены: использование в качестве органических удобрений и в качестве питательной среды для выращивания кормовых дрожжей для рыб и водорослей, сырья для получения биогаза, извлечение кормового белка, применение в системах рециркуляции с использованием в качестве технологических жидкостей или же сброса в агро-и биоценозы.

На основании анализа информационных источников и нормативных документов, регламентирующих экологически безопасное состояние сред с санитарно-эпидемиологической точек зрения, эффективное обеззараживание бесподстилочного навоза затруднительно без его фракционного разделения [81, 83, 99, 101, 102, 270, 284, 297]. Основными направлениями утилизации бесподстилочного навоза является его применение для рециклинга, орошения, получение кормовых добавок. Эффективное использование жидкой фракции в системах оборотного водоснабжения в качестве технологических жидкостей или экологически безопасного сброса в био- и агроценозы невозможно без выделения мелкодисперсных и коллоидных включений и последующего их обеззараживания. Установлено [79, 81, 83, 98, 102, 270, 284, 302], что на эффект обеззараживания большинством известных способов существенное влияние оказывает мутность и прозрачность среды, поэтому выбор эффективного способа выделения мелкодисперсных и коллоидных частиц является важной операцией утилизационного цикла. Способы выделения мелко дисперсных и коллоидных частиц в зависимости от природы разделяют на следующие группы: естественные – под действием силы тяжести, механическая сепарация, термическая – выпариванием, электрохимические – электрофлотация и электрокоагуляция. Следующим направлением утилизации жидкой фракции является получение жидких удобрений для удобрительного орошения сельскохозяйственных полей с кормовыми культурами, основной операцией данного цикла является обеззараживание. Поскольку, экологическая безопасность является одним из ключевых факторов использования органических удобрений, то к механизмам обеззараживания предъявляются следующие требования: сохранение биогенных свойств обрабатываемого материала и обеспечение безопасности в эпидемиологическом отношении. Механизмы обеззараживания жидкой фракции в зависимости от природы реализуемых воздействий разделяются на физические, химические, биологические и комбинированные. Последние, из которых находят всё большее и большее применение. Также возможным

вариантом утилизации жидкой фракции является её использование при получении кормовых добавок [55, 62, 79, 81, 83, 84, 166, 270, 284, 303].

Направлениями утилизации твёрдой фракции бесподстильного навоза (влажностью менее 90%) является использование в качестве концентрированных органических удобрений, а также переработка в кормовые добавки. Переработка в концентрированные органические удобрения включает: биотермическое обеззараживание в буртах, термическое или химическое обеззараживание в случае эпизоотических ситуаций. После обеззараживания и подтверждения безопасности полученного материала с санитарно-эпидемиологической точки зрения происходит приготовление комплексных удобрений. Переработка твёрдой фракции в кормовые добавки включает сушку, силосование, выращивание личинок мух, дождевых червей, кормовых дрожжей, грибов и других форм жизни. Блок-схема направлений и способов утилизации бесподстильного навоза в зависимости от их дальнейшего использования представлена в приложении А на рисунке А.6 [84].

Как показал анализ информационных источников [81, 83, 166, 185, 194, 224, 236, 244, 270, 284], вне зависимости от биогенных и санитарно-эпидемиологических свойств исходного материала, а также направления его дальнейшего использования, экологически безопасный утилизационный цикл состоит из следующих операций:

- | | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">– образование отходов;– транспортировка;– обработка;– внесение. | } | Обеззараживание на каждой из фаз технологического цикла |
|--|---|---|

Способ обеззараживания, устройство реализации и его параметры, на каждой из фаз технологического цикла обращения с отходами, а также санитарно-эпидемиологические требования, предъявляемые к ним должны

быть адресными. Способ должен обеспечивать максимальную экологизацию утилизационной цепи.

1.3.1. Компостирование

Суть компостирования навоза заключается в изменении его физико-химико-биологических свойств путём его ферментации. Ферментация осуществляется путём добавления органических наполнителей, буртования и циклического перемешивания утилизируемой среды.

В зависимости от зональных условий, производственных мощностей хозяйства и экономических соображений ферментация может осуществляться как в аэробных, так и в анаэробных условиях. При этом в качестве органических накопителей могут использоваться торф, опилки древесные, навозная жижа, птичий помет, травы и другие виды растительных отходов [36, 143, 183, 246, 297].

Достоинствами компостирования бесподстилочного навоза является:

- насыщение почвы биогенными веществами, за счет обеспечения гигиенического обеззараживания среды;
- конвертация части азотистых соединений, содержащихся в навозе, в более доступную для усвояемости растениями форму.

К недостаткам компостирования бесподстилочного навоза относят:

- требует регулярной дополнительной циклической аэрации;
- сложность контроля процесса и высокая продолжительность (пассивное компостирование до 3 месяцев);
- низкая экологическая безопасность (выброс парниковых газов: CH_4 , NH_3 , H_2S и др.);
- высокая удельная энергоемкость процесса и высокие эксплуатационные затраты;
- необходимость больших, специально оборудованных площадей для реализации процесса.

На рисунке 1.15 представлен пример компостирования твёрдой фракции навоза в производственных условиях.



Рисунок 1.15 – Пример компостирования твёрдой фракции навоза

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что применение данного подхода является недостаточно эффективным, поскольку требует значительных энергозатрат, при этом процесс является слабо контролируемым и сильно зависящим от агроклиматических и зональных условий. Описанные выше факторы не обеспечивают рационального природопользования, что в существенной мере ограничивает область его применения.

1.3.2. Гомогенизация

Суть гомогенизации бесподстилочного навоза заключается в исключении седиментации полидисперсной системы и образовании в ней слоев сред, обладающих разной плотностью. Достигается данный эффект путем

однократного или циклического (многократного) механического, гидравлического или пневматического воздействия, направленного на повышение однородности среды. Количество циклов механических воздействий зависит от физико-химических свойств среды и объемов хранилища навоза [87, 143, 220, 228].

К преимуществам гомогенизации бесподстилочного навоза можно отнести рост эффективности гидротранспортировки среды, что существенным образом повышает санитарно-гигиенические и ветеринарные показатели места содержания.

На рисунке 1.16 представлен пример гомогенизации жидкой фракции навоза в производственных условиях.



Рисунок 1.16 – Гомогенизации жидкой фракции навоза

К недостаткам гомогенизации бесподстилочного навоза относят следующее:

- эффективная гомогенизация достигается в хранилищах диаметром не более 25 м;
- необходимость строительства больше объёмных хранилищ навоза;
- необходимость дополнительного промыва хранилищ навоза;
- необходимость поддержания герметичности гидродозаторов, предотвращающих попадание инородных примесей;

– повышенная удельная энерго- и ресурсоёмкость.

Гомогенизация необходима для эффективной гидротранспортировки среды и может существенным образом повысить эффективность обеззараживания и общую экологическую безопасность. Как показал анализ информационных источников, применение данного подхода сдерживает отсутствие эффективных и технологичных производственных средств, удельная энергоёмкость и качество функционирования которых зависит от свойств среды.

1.3.3. Сепарация

Сепарация бесподстилочного навоза является важным элементом технологического цикла повышения эффективности его обеззараживания. Суть сепарации сводится к фракционному разделению на твёрдую и жидкую фракции механическим, гидравлическим или биологическим воздействием [52, 70, 155, 170, 184, 185, 220, 232]. Пример сепарации представлен на рисунке 1.17.



Рисунок 1.17 – Пример сепарации навоза в шнековом пресс-фильтре

Преимуществами сепарации бесподстилочного навоза является снижение затрат на подготовку к обеззараживанию и объёмов площадей, требуемых для его хранения, упрощение процесса внесения в качестве удобрения и сохранение энергетического потенциала.

Параллельно с этими недостатками сепарации являются длительность процесса при биологических способах обеззараживания, снижение эффективности при работе с системами, размеры частиц которых менее 0,19...0,23 мм, наличие достаточно больших площадей под поля фильтрации в случае применения гидравлических седиментаторов, существенная зависимость эффекта разделения от мутности и прозрачности.

Одним из критериев интенсификации операции фракционного разделения жидких сред является наличие поправочного коэффициента, характеризующего и учитывающего изменение свойств сепарируемой среды в следствии протекающих в ней физико-химико-биологических процессов, являющихся функцией времени. Для получения величины, характеризующей данные свойства, наиболее рациональным методом является седиментационный анализ. Седиментацией (от лат. *sedimentum* – осадок) называют процесс оседания частиц дисперсной фазы в жидкой или газообразной среде под действием силы тяжести [280]. Седиментационный (седиментометрический) анализ является количественным методом исследования, позволяющим определить функцию распределения частиц по размерам в дисперсной системе. Основной областью применения седиментационного анализа является определение размеров частиц в дисперсных системах на основании установившейся скорости седиментации, а также параметров седиментационно-диффузионного (седиментационного равновесия). Результатом анализа может быть определение не только как усреднённых дисперсностей, но и получение распределений частиц дисперсной фазы по размерам или массам.

Систематизировав результаты большого числа исследований в области седиментационного анализа свойств отходов животноводства, в работе [228]

представлены данные гранулометрического анализа. На рисунке 1.18 представлена графическая интерпретация результатов.

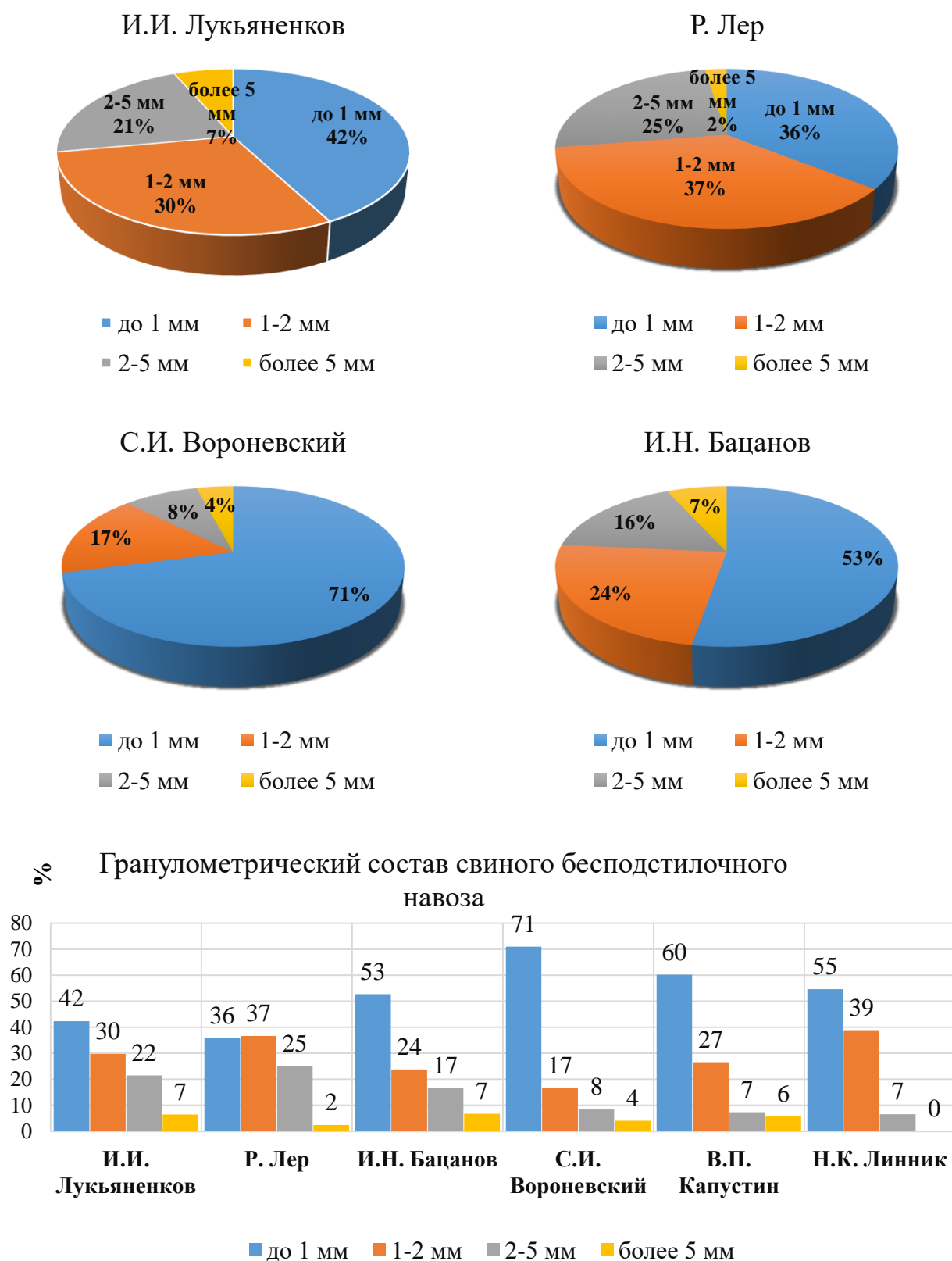


Рисунок 1.18 – Сводная характеристика гранулометрических свойств навоза

Как показал анализ информационных источников [34, 54, 91, 289], в настоящее время отсутствуют цифровизированные решения, позволяющие интенсифицировать и автоматизировать методику оценки седиментационных свойств бесподстилочного навоза. Поэтому разработка данных средств является актуальной задачей для сельского хозяйства РФ.

Установлено, что образование больших объёмов бесподстилочного навоза затрудняет его эффективное обеззараживание, соответственно, сепарация является важным операционным воздействием подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию в индустриальной системе животноводства, однако данное операционное воздействие является не всегда оправданным с экономической точки зрения при невысоких производственных мощностях (до 3 000 голов). Также установлено, что влажность и седиментационные свойства оказывают существенное влияние на эффективность подготовки и обеззараживания бесподстилочного навоза.

1.3.4. Обобщённая модель подготовки органических отходов свиноводства к обеззараживанию

На основании проведённого анализа была построена блок-схема обеззараживания бесподстилочного навоза, представленная на рисунке 1.19. Данная модель включает основные этапы жизненного цикла бесподстилочного навоза и технологические операции, направленные на преобразование его свойств при обеззараживании.

На основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

- рациональное природопользование заключается в создании утилизационных цепочек экологически безопасного обеззараживания с санитарно-гигиенической, эпидемиологической и агрохимической точек зрения;
- эффективность обеззараживания, выбор направления дальнейшего использования, уровень экологической нагрузки, выбор технологии и

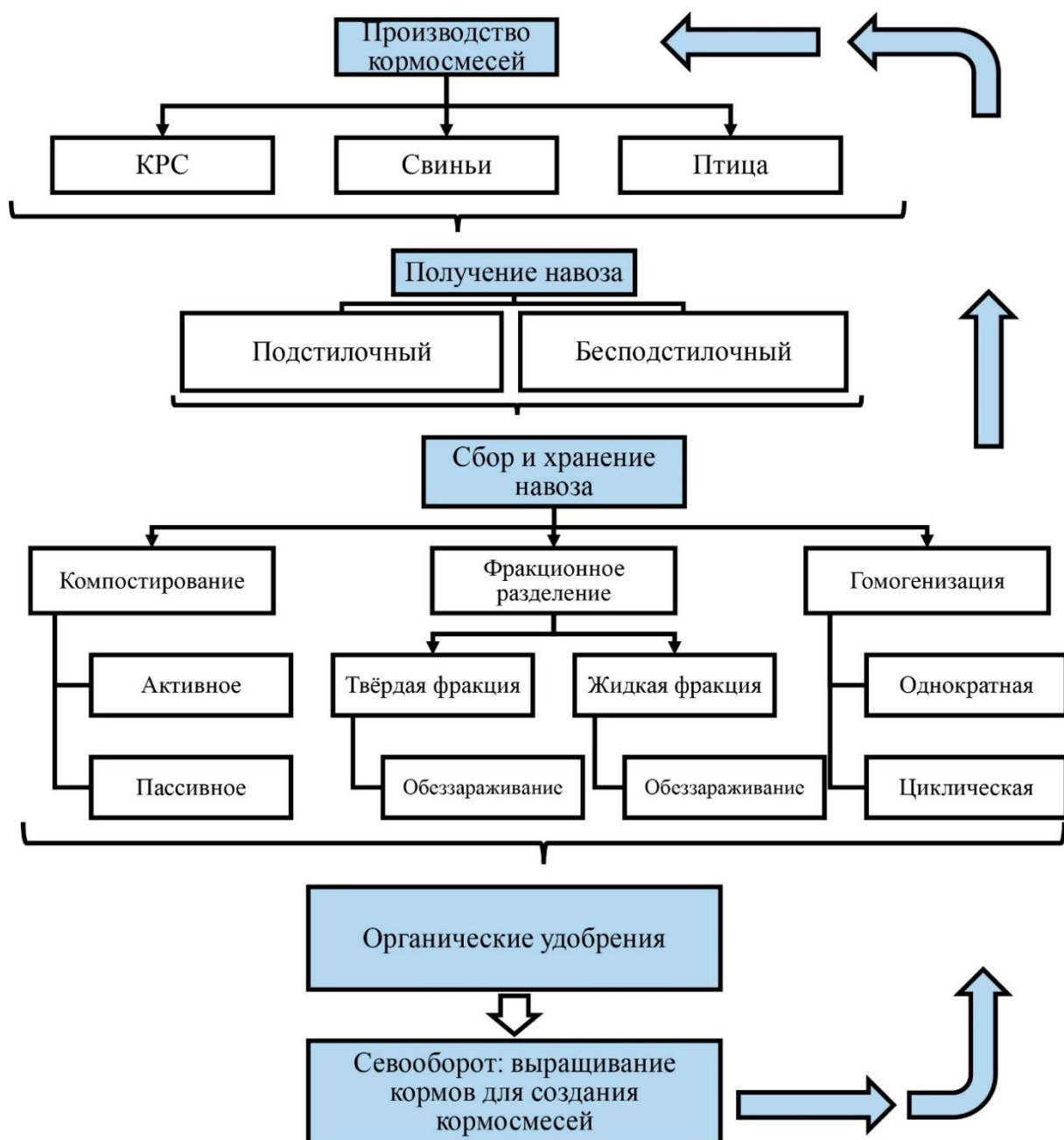


Рисунок 1.19 – Блок-схема подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию

технических средств реализации выбранных способов зависит от способа содержания животных, производственной мощности предприятия, процентного соотношения содержащихся половозрастных групп;

– наиболее эффективным с экологической и энергетической точек зрения способом содержания животных является бесподстилочное;

– наиболее рациональным вариантом подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию является его разделение на твёрдую и жидкую фракции,

преимуществами которого является минимизация затрат, направленных на хранение, простота внесения жидкой фракции в почву, возможность минимизации использования гомогенизирующих систем. Дальнейшим направлением исследований является интенсификация операций обеззараживающего цикла, направленная на снижение удельной энергоёмкости и повышение уровня экологической безопасности с использованием цифровизированных решений. Достигнуть данные эффекты возможно решив оптимизационные задачи при использовании комплексных физико-химических воздействий. Граничными условиями оптимизационных задач могут выступать: технология обеззараживания, тип, концентрация, продолжительность воздействия, место и объём внесения химического реагента, направление дальнейшего использования.

1.4. Анализ критериев экологизации свойств бесподстилочного навоза при его подготовке к обеззараживанию

Экологизация операций затруднительна без понимания параметров назначения, характеризующих свойства конечного продукта. Одним из основных критериев экологизации является обеспечение безопасности с санитарно-эпидемиологической точки зрения. Анализ работ [40, 49, 90, 112, 121, 153, 156, 157, 167, 180, 192, 204, 235, 245, 269] позволил установить следующие группы параметров: физические, химические и биологические.

Рассмотрим более подробно параметрические составляющие каждой группы. Санитарно-эпидемиологическая эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза, оцениваемая физической группой параметров включает радиологическую, органолептическую, реологическую составляющие. Согласно [247, 249-257, 298-301], подавление и лизис бактерицидных форм в том числе сульфатредуцирующих обеспечивает изменение морфологических свойств, что приводит к снижению специфических запахов. Реологические характеристики обеззараживаемого бесподстилочного навоза позволяют определить эффективность выбранных

воздействий. К ним относят начальное напряжение сдвига, плотность и динамическую вязкость. Обобщённо оценить данные характеристики можно с помощью методик седиментационного анализа.

Группа химических параметров характеризует безвредность бесподстилочного навоза по химическому составу, что также является существенным с точки зрения безопасности в санитарно-эпидемиологическом понимании. Химические параметры включают в себя характеристики pH, жёсткости, уровня минерализации среды и другие побочные характеристики.

Группа биологических параметров делится на микробиологические и паразитологические подгруппы и характеризует безопасность бесподстилочного навоза в эпидемиологическом отношении, что является важным при эффективной экологизации. На основании этого дальнейший анализ необходимо продолжить в направлении микробиологической и паразитологической подгрупп биологической группы. Блок-схема классификации параметров представлена в приложении А на рисунке А.7.

Анализ рисунка А.7 в приложении А, позволил установить, что эффективность обеззараживания с санитарно-эпидемиологической точки зрения характеризуется обширным перечнем физических, химических и биологических параметров, исходя из которого можно сделать следующие заключение:

- параметры, характеризующие санитарно-эпидемиологическую эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза, можно классифицировать, согласно признакам, представленным на блок-схеме рисунка А.7 в приложении А;

- эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза с санитарно-эпидемиологической точки зрения наиболее представительно оценивается микробиологической и паразитологической подгруппой биологических параметров;

- наиболее представительными параметрами микробиологической и паразитологической подгрупп являются следующие параметры: число

колониобразующих единиц (КОЕ) термотолерантных колиформных бактерий, количество колиформных бактерий, общая концентрация микробов, количество колифагов, бляшкообразующих единиц, сульфитредуцирующих клостридий, а также количество цист лямблий, colі индекс, colі титр.

При этом следует отметить, что в зависимости от поставленных задач, оценка санитарно-эпидемиологического эффекта обеззараживания бесподстилочного навоза может осуществляться сочетанием различных параметров из числа обозначенных.

1.5. Анализ механизмов и способов обеззараживания бесподстилочного навоза

Механизмы и способы обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от природы реализуемых воздействий разделяют на физические, химические, биологические, а также комбинированные [6, 86, 187, 225, 230, 231, 234, 290, 298-301]. В настоящее время одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на выбор того или иного способа обеззараживания бесподстилочного навоза является производственная мощность хозяйства. Согласно результатам предварительных исследований, наиболее широко используемыми способами среди биологических являются компостирование, буртование; среди химических хлорирование, озонирование, среди физических воздействие ультрафиолетом; а также комбинированные сочетания различных типов воздействий. Однако кроме перечисленных способов, согласно работам [6, 86, 187, 225, 230, 231, 234, 290], имеется положительный практический опыт применения воздействий механических колебаний на частоте ультразвука, термических воздействий, различных химических реагентов отличных от хлора содержащий, постоянного, а также вращающегося электромагнитного поля.

Рассмотрим обеззараживание бесподстилочного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука, описанное в работах [225, 230, 290, 307].

Суть данного воздействия заключается в разрушении молекулярных связей патогенных форм, присутствующих в бесподстилочном навозе, под действием механических колебаний. Установлено, что кроме прямого механического воздействия происходит интенсификация диффузионных процессов в оболочках патогенных форм, что повышает эффективность использования химических реагентов за счёт их улучшенной проницаемости в структуру. В исследовании [6] подавление патогенной составляющей механическими колебаниями связывается с возможностью возникновения эффекта кавитации. В исследовании отмечается, что наиболее представительным индикатором, позволяющим оценить эффективность данного типа воздействий, является бактериальный белок – флагеллин. Механизм разрушения флагеллина заключается в возникновении высокого внутриклеточного давления с параллельным появлением гидроксильных радикалов и атомарного кислорода в среде цитоплазмы патогенов [231]. Анализ работ [62, 230, 231, 290, 307-311] позволил установить частотный диапазон воздействия механических колебаний, в котором они оказывают наиболее существенный бактерицидный эффект – границы которого находятся в пределах 20 кГц ... 100 кГц. Несмотря на эффективность данного типа воздействий некоторыми исследователями отмечается и стимулирующее действие механических колебаний, возникающее в определённых агроклиматических условиях. При этом также установлено, что воздействие некоторыми частотами данного диапазона способно оказывать и стимулирующий эффект, отмеченная закономерность получена преимущественно в лабораторных условиях и требует проведения дополнительных, дискретно-частотных исследований применительно к свойствам бесподстилочного навоза. Устройствами реализации данных механизмов являются ультразвуковые ванны на пьезокерамических и магнитострикционных элементах. Исполнение промышленной ультразвуковой ванны, реализующей данный эффект, представлено на рисунке 1.21.



Рисунок 1.21 – Пример исполнения промышленной ультразвуковой ванны с частотой излучателя 25 кГц

К преимуществам воздействий механических колебаний в диапазоне 20 кГц ... 100 кГц на бесподстилочный навоз с целью интенсификации его обеззараживания можно отнести слабую зависимость бактерицидного эффекта от pH, жёсткости и отсутствие побочных продуктов.

К недостаткам воздействий механических колебаний в диапазоне 20 кГц ... 100 кГц на бесподстилочный навоз с целью интенсификации его обеззараживания можно отнести длительность воздействия (не менее 18 ... 30 минут), отсутствие пролонгированного эффекта, зависимость эффекта от седиментационных свойств, а также слабую изученность вопроса относительно стимулирующих эффектов некоторых патогенных форм.

На основании изложенного можно сделать вывод, что воздействие механических колебаний в диапазоне 20 кГц ... 100 кГц на бесподстилочный навоз с целью интенсификации его обеззараживания является недостаточно эффективным поскольку требует высокой длительности воздействия, что затрудняет обеспечение высокой производительности и экологической эффективности.

Рассмотрим обеззараживание бесподстилочного навоза нагревом, проявлением которого является процесс кипячения. Реализуется данный тип

воздействий при помощи различных нагревательных элементов, а проявление бактерицидного эффекта происходит за счёт разложения белков в патогенных формах, а также механической деформации их оболочек. Исследованию данного способа посвящены работы [48, 290]. Среди преимуществ данного типа воздействий можно выделить бактерицидную эффективность против большинства патогенов, слабую зависимость от pH и оптических свойств среды. Недостатками при этом являются способность активизации термофильных патогенов, отсутствие пролонгированного бактерицидного эффекта, высокая удельная энергоёмкость, высокая длительность воздействия. Анализ информационных источников позволил установить, что использование данного типа воздействий является недостаточно эффективным при интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза, поскольку требует высоких энергетических затрат.

Рассмотрим обеззараживание бесподстилочного навоза постоянным электромагнитным полем. Исследованию данного вопроса посвящены работы [165, 181, 282]. Систематизация механизмов бактерицидного эффекта, проявляемого при воздействии постоянным электромагнитным полем сводится к рассмотрению их в качестве отдельных взаимодополняющих групп коллоидной, ионной и водной природы [165, 181]. Механизм бактерицидного действия постоянного электромагнитного поля на коллоидную группу заключается в быстром образовании и распаде коллоидных комплексов ионов металлов, являющихся одним из основополагающих компонентов карбонатной жесткости жидких сред, что приводит к изменению их жёсткости. Механизм бактерицидного действия постоянного электромагнитного поля на ионную группу заключается в изменении скорости гидратации ионов, временной деформации их оболочек, вызывающей процессы седиментации и кристаллизации неорганических солей. Механизм бактерицидного действия постоянного электромагнитного поля на водную группу заключается в изменении структурной формы ассоциатов жидких сред, приводящей к изменению параметров

поверхностного натяжения: вязкость и рН, что приводит к искажению условий жизнедеятельности патогенных форм присутствующих в бесподстилочном навозе. Устройством реализации данных механизмов является система магнитной обработки пример исполнения которой представлен на рисунке 1.22.



Рисунок 1.22 – Пример исполнения системы магнитной обработки жидких сред

Преимуществами обеззараживания постоянным электромагнитным полем бесподстилочного навоза является низкая зависимость бактерицидного эффекта от оптических свойств среды, рН, а также отсутствие отрицательных побочных продуктов реакций. К недостаткам обеззараживания постоянным электромагнитным полем бесподстилочного навоза можно отнести достаточно высокий уровень удельных энергетических затрат, а также относительную длительность операционного воздействия (порядка 30...90 минут в зависимости от влажности), а также отсутствие пролонгированного эффекта.

Анализ информационных источников позволил установить, что применения воздействий постоянным электромагнитным полем недостаточно эффективно интенсифицирует процесс обеззараживания бесподстилочного навоза так как требует существенных энергозатрат, а также обладает высокой продолжительностью, что не может обеспечить высокой производительности.

Рассмотрим обеззараживание бесподстилочного переменным электромагнитным полем. Исследованию данного вопроса посвящены работы [1, 13, 48, 63, 290, 293]. В качестве переменного электромагнитного поля

рассматривались воздействия рентгеновского ($3 \cdot 10^{16}$ Гц – $3 \cdot 10^{19}$ Гц), оптического излучений, а также электромагнитных колебаний ультрафиолетового диапазона (245-285 нм) на функциональное состояние патогенных форм. Анализ отмеченных работ позволил выделить следующий механизм подавления патогенных форм: фото-токсический эффект осуществляет изменение структур белковых и коллоидных ферментов протоплазм посредством электромагнитных колебаний. Данные изменения внутренней структуры патогенных форм вызывают лизисный эффект в организации взаимодействия внутренних элементов, что приводит их к гибели. Устройствами реализации данных механизмов являются ультрафиолетовые излучатели примеры промышленных исполнений, которых представлены на рисунках 1.23 и 1.24.



Рисунок 1.23 – Пример исполнения ультрафиолетового обеззараживателя



Рисунок 1.24 – Пример исполнения ультрафиолетового обеззараживателя
в производственных условиях

К преимуществам данного типа воздействий можно отнести отсутствие отрицательных побочных продуктов реакции в случае передозировки, недостатками же являются сильная зависимость бактерицидного эффекта от оптических свойств среды, необходимость дополнительной предварительной подготовки в виде механической очистки, а также поддержание чистоты излучающих элементов и исключения их забивания органическими примесями. Анализ информационных источников позволил установить, что применения воздействий переменного электромагнитного поля рентгеновского и ультрафиолетового диапазонов излучений недостаточно эффективно интенсифицирует процесс обеззараживания бесподстилочного навоза так как требует существенных энергозатрат на обеспечение функциональной стабильности системы, что не может обеспечить интенсивное выполнение процесса продолжительное время.

Рассмотрим обеззараживание бесподстилочного навоза переменным вращающимся электромагнитным полем. Исследованию данного вопроса посвящены работы [5, 12, 38, 46, 56-60, 71, 105, 142]. Эффект вращающегося переменного электромагнитного поля как инструмент интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза применяется чаще всего в сочетании с перемещающимися в нём ферромагнитными телами различной формы. Согласно [38, 39, 67, 114, 123, 233], данное физическое воздействие способствует возникновению ряда вторичных эффектов, связанных с насыщением перемещающихся в электромагнитном поле ферромагнитных тел. В зависимости от массы, уровня заполненности технологической зоны, геометрии данных тел возникают вторичные эффекты в виде механических колебаний на частоте близкой к ультразвуковой, кавитационные эффекты и прочие [71]. Что обеспечивает комплексное физическое воздействие на среду сочетающее в себе преимущества всех перечисленных способов. Возникновение перечисленных вторичных эффектов обусловлено тем, что перемещающиеся во вращающемся переменном электромагнитном поле ферромагнитные тела под его действием достигают технического насыщения

и становятся дипольно-магнитными элементами с изменяющейся полярностью пропорциональной циклической частоте колебаний электрического тока питающей сети. Описанные эффекты возникают на разрядной стадии импульсных электрических и магнитных полей в постоянно сменяющихся диполях и приводят к нарушению водородных связей с параллельной диссоциацией ионов полярных молекул, что вызывает нарушение жизнедеятельности патогенных форм [5, 38, 71]. Согласно исследованиям [1, 71] установлена иерархия устойчивости патогенных форм данному виду воздействий, наиболее устойчивыми к электроимпульсным разрядам являются общие колиформные бактерии. Устройствами реализации данных механизмов являются аппараты вихревого слоя, установки активации процессов, вихрекамерные аппараты и другие устройства по своей сути представляющие собой технологические индуктора. Примеры исполнений данных устройств представлены на рисунках 1.25...1.27.



Рисунок 1.25 – Пример исполнения аппарата вихревого слоя от компании ООО Армпласт



Рисунок 1.26 – Пример исполнения аппарата вихревого слоя от компании Глобалкор



Рисунок 1.27 – Пример параллельного использования аппаратов вихревого слоя в производственных условиях

Преимуществами обеззараживания бесподстилочного навоза во вращающемся переменном электромагнитном поле с перемещающимися в нём ферромагнитными телами считают слабую зависимость бактерицидного эффекта от оптических и седиментационных свойств среды, pH, отсутствие отрицательных реакционных продуктов, высокую эксплуатационную надёжность, отсутствие отрицательных эффектов в случае превышения времени выполнения технологического воздействия, высокую интенсивность и низкую продолжительность воздействия. Недостатками обеззараживания бесподстилочного навоза во вращающемся переменном электромагнитном поле с перемещающимися в нём ферромагнитными телами является отсутствие пролонгированного бактерицидного эффекта, необходимость разработки технических решений, обеспечивающих присутствие заданного объёма рабочих тел в технологической зоне, а также сильная зависимость эффекта от массы, материала и геометрии используемых рабочих тел. На основании проведённого анализа [130] можно сделать вывод, что использование данного типа воздействий является наиболее перспективным поскольку является экологически безопасным и потенциально энергоэффективным, решить отмеченные недостатки возможно путём проведения дополнительных исследований, по оценке энергетической эффективности реализуемого воздействия, при этом обеспечить пролонгированный бактерицидный эффект можно путём введения в технологическую зону химических реагентов в сниженных концентрациях.

Рассмотрим группу химических способов обеззараживания бесподстилочного навоза. Процесс подавления патогенных форм при реализации данных способов осуществляется с использованием реагентов, наиболее широко применяемыми из которых являются хлор Cl , хлор-газ Cl_2 , гипохлорит кальция (хлорная известь) $Ca(Cl)OCl$, гипохлорит натрия $NaClO$, диоксид хлора ClO_2 , хлорамин NH_2Cl , озон O_3 , а также реагенты олигодинамической природы.

Исследованию вопроса обеззараживания бесподстилочного навоза хлор

содержащими реагентами посвящены работы [33, 113, 114, 119, 122]. Несмотря на многообразие хлор содержащих реагентов обобщённо механизм их действия при обеззараживании бесподстилочного навоза можно представить следующим образом, хлорноватистая кислота взаимодействует с гипохлорит ионами протоплазм клеток патогенных форм, находящимися в веществах обеззараживаемой среды, что приводит к механическому лизису клеток в результате течения окислительного процесса. Согласно исследованиям [1, 119, 191, 236, 269, 290], ключевыми факторами, обуславливающими выбор хлор содержащего реагента, является объём обеззараживаемой среды, её оптические свойства, а также pH.

Преимуществами обеззараживания бесподстилочного навоза хлор содержащими реагентами является обеспечение устойчивого пролонгированного бактерицидного эффекта, эффективность против большинства психрофильных и мезофильных патогенных форм, а также низкая стоимость реагента.

К недостаткам обеззараживания всеми хлорсодержащими реагентами относят образование отрицательных побочных продуктов реакций для хлора (Cl), хлор-газа (Cl_2), гипохлорита кальция ($Ca(Cl)OCl$), диоксида хлора (ClO_2), для хлорамина (NH_2Cl) (результат сочетание аммиака (NH_3) с хлором Cl_2) – тригалометаны, броматы, хлораты, хлориты. Пропорциональный рост объёмов отрицательных побочных продуктов концентрации реагента, отрицательный кумулятивный эффект для экосистем, низкая эффективность против вирусов в некоторых случаях сложность точной дозировки, опасность передозировки, для некоторых форм устойчивость пролонгированного бактерицидного эффекта в значительной мере зависит от оптических свойств и pH обеззараживаемой среды. Устройствами реализации описанных выше механизмов являются хлораторные системы, пример исполнения которых представлен на рисунке 1.28.



Рисунок 1.28 – Пример исполнения системы обеззараживания жидких сред хлор содержащими реагентами

Однако несмотря на отмеченные недостатки следует отметить, что в работах [71, 119, 162, 279] отмечен положительный опыт использования гипохлорита кальция как дополнительного элемента при повышении экологической безопасности обеззараживания промышленных стоков, а также бесподстилочного навоза. В отмеченных исследованиях отмечается перспективность его использования в жидкой форме, а также в сниженных концентрациях относительно ПДК, регламентируемых нормативными документами. Соответственно, проведение дополнительных исследований вопроса комбинированного обеззараживания бесподстилочного навоза с использованием гипохлорита кальция является актуальным и перспективным инструментом повышения экологической эффективности.

Исследованию вопроса обеззараживания бесподстилочного навоза озоном посвящены работы [1, 48, 61, 224, 269, 290]. Механизм проявления бактерицидного эффекта при использовании озона проявляется следующим образом: реагент проникает в протоплазму клеток патогенных структур вызывая тем самым их лизисную деструктуризацию, нарушающую процессы их жизнедеятельности, эффективность воздействия обуславливается высокой окислительной способностью реагента. Устройствами реализации описанных

выше механизмов являются озонаторные системы, пример исполнения которых представлен на рисунке 1.29.



Рисунок 1.29 – Пример исполнения мобильной системы обеззараживания жидких сред озоном

Преимуществами обеззараживания бесподстилочного навоза озоном являются отсутствие отрицательных продуктов реакции в виде хлорсодержащих тригалометанов, более высокая скорость распада и преобразования в кислород хлор содержащих реагентов, наличие вирулицидного эффекта [1, 301].

Недостатками обеззараживания бесподстилочного навоза озоном являются отрицательные побочные продукты реакции, оказывающие кумулятивное действие для окружающих их экосистем (альдегиды, кетоны, органические кислоты, бромсодержащие тригалометаны, броматы (в присутствии бромидов), пероксиды, бромуксусную кислоту и пр.), необходимость использования механических фильтров для удаления образованных отрицательных побочных продуктов, низкая длительность пролонгированного бактерицидного эффекта (не более 23...27 минут), опасность токсикации экосистем в случае передозировки, обеспечение

высоковольтных источников питания (порядка 11...17 кВ) для реализации синтеза озона, низкая эффективность против цистовых форм, повышенные требования безопасности и взрывоопасности, относительно высокая себестоимость систем производящих озон и невозможность длительного хранения реагента перед использованием [1, 309, 310, 311].

На основании проведенного анализа установлено, что использование озона при повышении эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза является недостаточно рациональным с эколого-экономической точки зрения.

Исследованию вопроса обеззараживания бесподстилочного навоза олигодинамическими реагентами посвящены работы [1, 119, 122, 269]. Механизм бактерицидного эффекта данных реагентных форм сводится к использованию эффекта взаимодействия ионов тяжёлых металлов с адсорбирующей, отрицательно заряженной поверхностью клеток патогенных форм, в результате которого существенно падает проницаемость цитоплазматической мембраны и происходит нарушение внутреннего метаболизма, приводящее к инаktivации патогенной структуры [1, 119, 122, 269]. Использование данного типа реагентов осуществляет лишь бактериостатическое действие, не вызывая при этом лизисных эффектов внутри патогенных форм.

Преимуществами обеззараживания бесподстилочного навоза олигодинамическими реагентами является обеспечение устойчивого пролонгированного бактерицидного эффекта. Недостатками обеззараживания бесподстилочного навоза олигодинамическими реагентами являются обеспечение бактериостатического эффекта патогенных форм, неравномерность эффекта в технологической зоне, поскольку максимальные концентрации ионов тяжёлых металлов в бесподстилочном навозе наблюдаются рядом с их источником, токсический эффект при передозировке, относительно высокая удельная стоимость оборудования и реагентов, существенная зависимость бактерицидного эффекта от температуры.

На основании проведенного анализа установлено, что использование

олигодинамических реагентов как инструментов повышения эффективности обеззараживания бесподстильного навоза является недостаточно рациональным с эколого-экономической и технологической точек зрения.

Рассмотрим биологические способы обеззараживания бесподстильного навоза. В зависимости от природы реализации биологические способы обеззараживания разделяют на использующие аэробные и анаэробные микроорганизмы. Исследованию обеззараживания бесподстильного навоза с помощью биологических способов посвящены работы [1, 65, 85, 115, 224]. Механизм бактерицидного эффекта при обеззараживании аэробными микроорганизмами заключается в лизисном эффекте органических форм патогенных структур при их взаимодействии со свободным кислородом. Механизм бактерицидного эффекта при обеззараживании анаэробными микроорганизмами заключается в лизисном эффекте органических форм патогенных структур при отсутствии их взаимодействия со свободным кислородом. Устройствами реализации описанных выше механизмов являются лагуны, биологические пруды и прочие решения, примеры которых представлены на рисунках 1.30...1.32.



Рисунок 1.30 – Пример открытого навозохранилища
аэробного биологического обеззараживания



Рисунок 1.31 – Пример биологического обеззараживания бесподстилочного навоза в лагунах



Рисунок 1.32 – Пример системы биологических прудов аэробного биологического обеззараживания жидких сред

В общем виде механизм бактерицидного действия биологических способов обеззараживания бесподстилочного навоза можно представить следующим образом, адсорбция жидкости из примесей органических веществ, лизис адсорбированных веществ при протекании биохимических процессов – окислении и восстановлении.

Преимуществами обеззараживания бесподстилочного навоза биологическими способами являются отсутствие необходимости использования химических реагентов, а также биогенный потенциал образуемых побочных продуктов реакций.

Недостатками обеззараживания бесподстилочного навоза биологическими способами являются сильная зависимость бактерицидного эффекта от температуры (диапазон аэробного обеззараживания $t = 16...20^{\circ}\text{C}$; диапазон

анаэробного обеззараживания $t = 35 \dots 37^\circ\text{C}$), pH оптимально $6,5 \dots 7,5$, высокая продолжительность реакций (в зависимости от агроклиматических условий минимальный срок обеззараживания может составлять от $7 \dots 9$ месяцев), сложность контроля эффективности реализации процесса, а также отсутствие пролонгированного бактерицидного эффекта.

На основании проведенного анализа установлено, что использование биологических способов как инструментов повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза является недостаточно рациональным с эколого-экономической и технологической точек зрения, поскольку требует больших площадей для реализации воздействий создавая при этом антропогенную нагрузку. Классификация способов обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от природы реализуемых воздействий представлена на рисунке 1.33.



Рисунок 1.33 – Классификация способов обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от природы воздействий

На основании проведенного анализа способов обеззараживания

бесподстилочного навоза сформулированы следующие выводы:

1. Эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза определяется пролонгированным бактерицидным эффектом, в условиях сохранения альгобактериальных свойств обрабатываемой среды.

2. Наиболее рациональным и перспективным с эколого-энергетической точки зрения является использование комбинированных воздействий, обеспечивающих максимальную интенсивность реакций, а также экологическую безопасность.

3. Способы обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от природы реализуемых эффектов можно классифицировать согласно схеме, представленной на рисунке 1.33.

4. Наиболее интенсивным физическим воздействием, обеспечивающим максимальный экологический эффект, является применение перемещающегося переменного электромагнитного поля с находящимися в нём ферромагнитными телами.

5. Рабочие тела, перемещающиеся в электромагнитном поле способны оказывать существенное влияние на процесс обеззараживания, вызываемыми вторичными эффектами (механические колебания, кавитация и т.д.).

6. Наиболее перспективным химическим воздействием, обеспечивающим пролонгированный бактерицидный эффект являются хлорсодержащие реагенты, поскольку обладают высокой окислительной способностью.

7. Использование химических реагентов рационально только для обеспечения пролонгированного бактерицидного эффекта, соответственно вопрос выбора концентраций, сниженных по сравнению с ПДК требует проведения дополнительных исследований.

1.6. Постановка цели и задач исследования

На основании проведённого анализа состояния вопроса была сформулирована научная проблема экологически безопасного и энергетически эффективного обеззараживания бесподстилочного навоза.

Исходя из которой были определены цель и задачи настоящего исследования, обоснован объект и предмет исследований.

Цель исследования – повышение эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработать вероятностно-желательностную модель классификации способов обеззараживания бесподстилочного навоза с точки зрения критерия энерго-экологической эффективности.

2. Разработать общие и частные методики, позволяющие экспериментально исследовать энерго-экологическую эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза вихревым слоем.

3. Провести экспериментальные исследования энерго-экологической эффективности интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым и шаровым вихревыми слоями.

4. Обосновать параметры энерго-экологической интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза в стержневом и шаровом вихревых слоях.

5. Разработать цифровизированную систему оценки и прогнозирования энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.

6. Оценить эколого-экономическую эффективность разработанных решений.

Объект исследования. Технологический процесс обеззараживания бесподстилочного навоза.

Предмет исследования. Закономерности влияния средств интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза на показатели его энерго-экологической эффективности при соблюдении санитарно-эпидемиологических требований.

2. Теоретические исследования повышения эффективности энерго-экологического обеззараживания бесподстилочного навоза

2.1. Постановка задачи

Установлено, что одним из ключевых этапов повышения эффективности и разработки цифровизированной системы прогнозо-оценки энергетического потенциала бесподстилочного навоза, а также уровня антропогенной нагрузки, создаваемой им, является разработка структурно-концептуального представления, включающего факторы, условия и параметры, оказывающие влияние на каждом из этапов. На основании анализа которых можно сформулировать обобщённый критерий эффективности обеззараживания в целом. Известно, что процесс обеззараживания бесподстилочного навоза является многофакторным и многопараметрическим объектом, формализовать который единой математической системой, представляющей основу и исходные данные для цифровизированной системы одно итерационно затруднительно. Поэтому рассмотрим данный процесс с точки зрения последовательности операционных воздействий, формализуемых с помощью определённых вероятностно-статистических подходов. Анализ информационных источников [3, 30, 37, 147, 150, 160, 161, 163, 164, 197, 268, 276] показал, что одним из приоритетных инструментов решения поставленной задачи является использование теории потенциальной эффективности и сопутствующего ей факторного анализа. На основании этого была сформулирована цель данного раздела, заключающаяся в разработке критерия энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ интенсивности энерго-экологических способов обеззараживания бесподстилочного навоза.
2. Сформулировать основные положения теории потенциальной эффективности применительно к объекту.

3. Представить структурную схему энергоэффективного и экологически безопасного обеззараживания бесподстилочного навоза.

4. Провести анализ факторов, оказывающих влияние на энерго-экологическую эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза.

5. Разработать факторно-концептуальную модель энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.

6. Провести оценку энерго-экологической эффективности технологических способов обеззараживания бесподстилочного навоза с использованием вероятностных подходов и нечёткого моделирования.

2.2. Анализ эффективности энерго-экологических характеристик способов обеззараживания бесподстилочного навоза

Анализ источников и результаты предварительных исследований [26, 53, 186, 229, 241, 275, 285], позволили систематизировать способы обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от природы реализуемых ими воздействий, принципов и механизмов. Укрупнённо свести данную систематизацию можно свести к принципам интенсификации биотрансформационных способностей обеззараживаемой среды (биоферментация, биоконверсия и т. д.). Суть которых заключается в использовании ферментационных механизмов минерализации и гумификации органических составляющих бесподстилочного навоза в биотермических аэробных условиях под действием мезофильной и термофильной бактериальной среды. Преимуществами данного способа являются относительная простота используемых технических средств, достаточно высокая бактерицидная и гельминтологическая эффективность, исключение всхожести семян сорных растений. Недостатками являются: необходимость поддержания высокого температурного режима (свыше 100°C), высокая длительность операционных воздействий, сложность контроля биотрансформационных процессов и поддержания условий их течения, значительная зависимость эффекта от исходной влажности (наиболее

оптимальным является технологическое значение 45...60 %). В зависимости от исходных физико-реологических свойств обеззараживаемого бесподстилочного навоза, направления его дальнейшего использования, а также природно-климатических условий реализации используют несколько вариаций данного способа, определяющих его интенсивность. Направлением утилизации материалов, полученных в результате реализации данных воздействий может быть использование в качестве органических удобрений, а также получение биогаза.

Согласно [26, 186, 229, 241, 275, 285], перспективным является использование физических активаторов тепло-массообменных процессов. Укрупнённо систематизировать суть технологий обеззараживания физического можно приведением интенсификации тепло-массообменных процессов сред, приводящих к лизису бактериальных форм с помощью специальных технических средств. Согласно анализу, проведённому в разделе 1.4 одним из перспективных устройств реализации данного способа являются разного рода активаторы [26, 186, 229, 241, 275, 285]. К преимуществам данных технических средств относят высокую бактерицидную и гельминтологическую эффективность при небольшой продолжительности воздействия, относительно низкую удельную энергоёмкость, контролируемость процесса, возможность использования химических реагентов в сниженных концентрациях, низкая зависимость влияния на эффект мутности, жёсткости и pH обрабатываемой среды. К недостаткам можно отнести необходимость поиска оптимальных параметров операции в зависимости от физико-реологических свойств обрабатываемого бесподстилочного навоза.

На основании анализа [23, 26, 53, 138, 139, 206-211, 260, 283], в таблице 2.1 представлены последовательности операционных воздействий способов подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию, в зависимости от производственной мощности хозяйства, его технологического уклада, а также направления дальнейшего использования.

Таблица 2.1 – Последовательность операционных воздействий

№	Операционные воздействия	Технологии подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Приём субстрата				+					
2	Сбор	+	+	+		+	+	+	+	+
3	Транспортировка	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	Отстаивание предсепарационное							+	+	+
5	Смешивание с наполнителем	+		+			+			
6	Буртование						+			
7	Грубое фракционное разделение								+	
8	Тонкое разделение жидкой фракции								+	
9	Компостирование тонко разделённой жидкой фракции								+	
10	Сбор тонко разделённой жидкой фракции в биологический пруд								+	
11	Загрузка в биоферментатор	+		+		+				
12	Загрузка в ферментер / газгольдер				+					
13	Аэрация						+			
14	Параллельная ферментация			+						
15	Биоферментация	+		+						
16	Хранение в навозохранилище		+							
17	Сепарация твёрдой и жидкой фракций				+		+	+		+
18	Подача жидкой фракции в активатор обеззараживания									+
19	Обеззараживание жидкой фракции в активаторе									+

продолжение таблицы 2.1

№	Операционные воздействия	Технологии подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	Накопление обеззараженной жидкой фракции в хранилище									+
21	Фракционная утилизации твёрдого компоста и жидкой фракции				+					
22	Гидролиз, кислотообразование, ацетатогенез, метаногенез				+					
23	Биотермическое обеззараживание твёрдой фракции									+
24	Хранение аэрация жидкой фракции							+		
25	Погрузка / транспортировка жидкой фракции							+		
26	Смешивание твёрдой фракции с наполнителем							+		
27	Компостирование твёрдой фракции								+	
28	Буртование твёрдой фракции							+		
29	Погрузка / транспортировка						+		+	
30	Внесение в качестве удобрения	+	+	+		+	+	+	+	+

Проанализировав таблицу 2.1 можно сделать вывод, что выбор энергоэффективного и экологически безопасного способа обеззараживания бесподстилочного навоза является компромиссной задачей, зависящей от большого числа факторов, для решения которой необходимо сформулировать параметрическую оценку эффективности [27, 29].

Анализ информационных источников [160, 161, 200, 295], показал, что с точки зрения экологической безопасности, а также реализации потенциала бесподстилочного навоза как энергоносителя перспективными способами обеззараживания бесподстилочного навоза можно считать использующие фракционное разделение, а в качестве направления дальнейшего использования внесение в качестве биоорганического удобрения. Известно, что в зависимости от производственной мощности, агроклиматических условий, а также используемого технологического уклада разделение на фракции может происходить как с использованием различных технических средств, так и в естественных условиях под действием седиментационных эффектов. В общем виде последовательность операций можно представить на рисунке 2.1. в виде последовательности следующих действий. На рисунке 2.2 а и 2.2 б представлены примеры бесподстилочного содержания животных различных половозрастных групп.

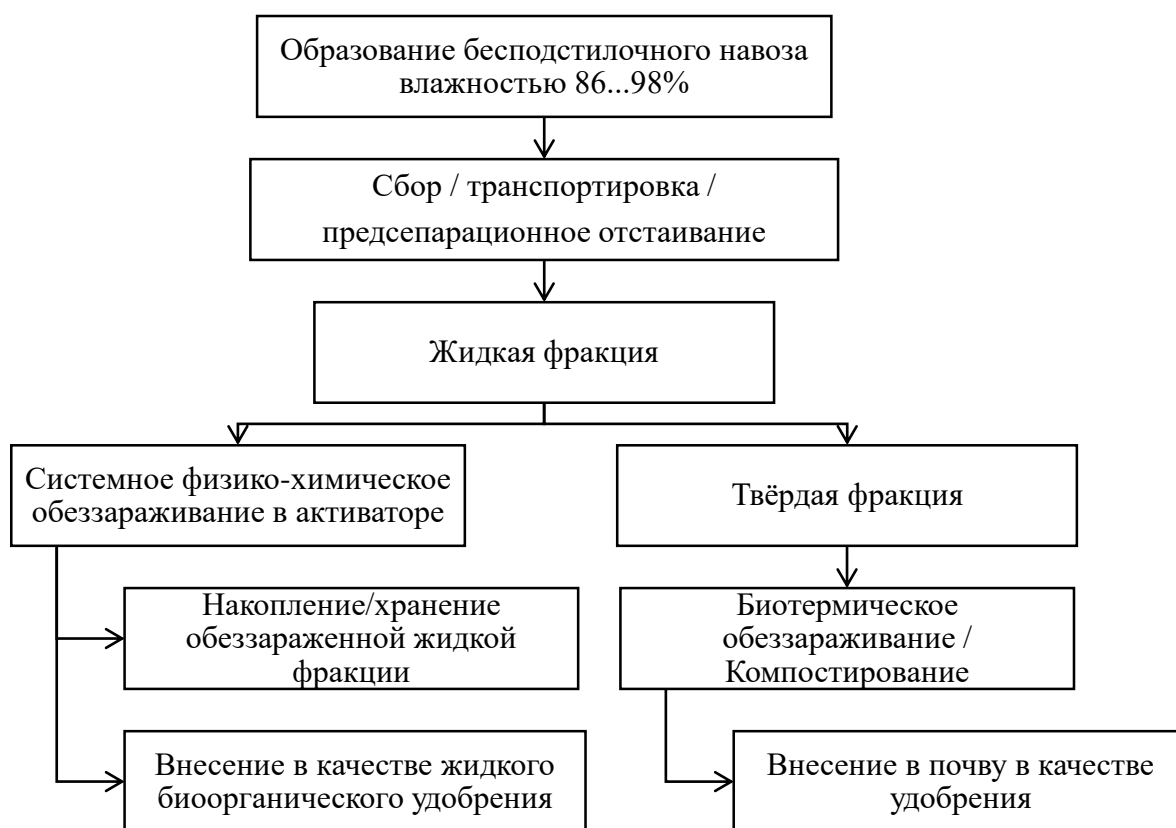


Рисунок 2.1 – Блок-схема энергетически эффективного экологически безопасного обеззараживания бесподстилочного навоза



Рисунок 2.2 – Бесподстилочное содержание животных с последующим фракционным разделением навоза (а)



Рисунок 2.2 – Бесподстилочное содержание животных с последующим фракционным разделением навоза (б)

Проанализировав блок-схему на рисунке 2.1, все операции технологического цикла можно разделить на основные и вспомогательные. К основным отнесём операционные воздействия, направленные на

преобразование санитарно-эпидемиологических, экологических и энергетических свойств обеззараживаемого бесподстилочного навоза к вспомогательным, операции, обеспечивающие технологические взаимодействия между основными блоками [29]. Таким образом, основными являются: сбор, разделение бесподстилочного навоза на фракции, системное физико-химическое обеззараживание в активаторе. Вспомогательными операциями являются: транспортировка, накопление, отстаивание, хранение, внесение.

Установлено, что последовательность и число операционных воздействий определяют энерго-экологическую интенсивность используемого способа. Перспективным инструментом решения поставленной задачи является использование теории потенциальной эффективности, основные методологические аспекты которой применительно к рассматриваемому объекту изложены ниже.

2.3. Методологические аспекты теории потенциальной эффективности применительно к интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза

Согласно результатам анализа, представленным в разделе 1.1 примем в качестве наиболее представительного и информативного критерия определяющего целевую функцию – обобщённый критерий энерго-экологической эффективности операционного воздействия, а также локальных параметров, обеспечивающих наиболее предпочтительные условия.

Известно [3, 27, 37, 147, 151, 163, 164, 197, 212, 258, 268, 276], что формализация цели является сложным процессом, требующим установку связи между количественными и качественными параметрами, а также накладываемыми на них ограничениями. Для решения поставленной задачи теория потенциальной эффективности подразумевает использование многопараметрического целеполагания. Оценка текущего и требуемого состояний технической системы с помощью многопараметрического целеполагания происходит в качестве контроля несоответствия. Контроль

несоответствия позволяет определить разницу этих состояний. Исключить разницу этих состояний, выявленную в ходе контроля несоответствия можно используя методы, реализующие комплекс мероприятий по преобразованию некоторого отведённого ресурса. При этом в качестве ресурса может быть рассмотрена совокупность энергетических, технологических, временных и т.п. затрат, использование которых позволит исключить или минимизировать имеющуюся разницу состояний технической системы. Данная совокупность действий обозначается в виде операционного воздействия.

Реальный результат U_{Re} операционного воздействия (фактический и ожидаемый) – эффект, полученный при реализации воздействия операции. Поскольку качество функционирования технических систем зависит от большого числа факторов, реальный результат реализации операционного воздействия U_{Re} зачастую может быть отличным от требуемого U_{Tr} . При этом эффективность операционного воздействия определяется соответствием реального результата, направленного на преобразование ресурсов и позволяет оценивать этот процесс как степень достижения цели.

Рассмотрим основные составляющие теории потенциальной эффективности. Основополагающим инструментом данной теории является определение показателя эффективности, характеризующего степень достижения соответствия реального состояния объекта относительно требуемого. Для нахождения данного показателя используется следующий алгоритм [27, 29, 206-212]:

– определяется показатель достижения результата выполнения n -ого операционного воздействия в виде мерного вектора Q , представляющего целевой эффект, характеризуемый затратами времени t и ресурсов P [29]:

$$Y_{Re}^n = \{Q_{Re}^n, t_{Re}^n, P_{Re}^n\}; \quad (2.1)$$

– формулируются граничные условия вектора целеполагания, позволяющие определить область допустимых значений с качественной точки зрения для n -ого операционного воздействия [29]:

$$Y_{TP}^n = \{Q_{TP0}^n, t_{TP0}^n, P_{TP0}^n\}. \quad (2.2)$$

где Q_{TP0}^n – целевой эффект n -ого операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза;

t_{TP0}^n – временные затраты реализации n -ого операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза;

P_{TP0}^n – ресурсные затраты реализации n -ого операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза [29]:

$$\begin{aligned} Q_{TP0}^n &= & t_{TP0}^n &= & P_{TP0}^n &= \\ &= \begin{cases} Q_{TPmin}^{n1} \leq Q_{TP}^{n1} \leq Q_{TPmax}^{n1}; \\ Q_{TPmin}^{n2} \leq Q_{TP}^{n2} \leq Q_{TPmax}^{n2}; \\ Q_{TPmin}^{n3} \leq Q_{TP}^{n3} \leq Q_{TPmax}^{n3}; \\ Q_{TPmin}^{n...} \leq Q_{TP}^{n...} \leq Q_{TPmax}^{n...}; \\ Q_{TPmin}^n \leq Q_{TP}^n \leq Q_{TPmax}^n. \end{cases} &= \begin{cases} t_{TPmin}^{n1} \leq t_{TP}^{n1} \leq t_{TPmax}^{n1}; \\ t_{TPmin}^{n2} \leq t_{TP}^{n2} \leq t_{TPmax}^{n2}; \\ t_{TPmin}^{n3} \leq t_{TP}^{n3} \leq t_{TPmax}^{n3}; \\ t_{TPmin}^{n...} \leq t_{TP}^{n...} \leq t_{TPmax}^{n...}; \\ t_{TPmin}^n \leq t_{TP}^n \leq t_{TPmax}^n. \end{cases} &= \begin{cases} P_{TPmin}^{n1} \leq P_{TP}^{n1} \leq P_{TPmax}^{n1}; \\ P_{TPmin}^{n2} \leq P_{TP}^{n2} \leq P_{TPmax}^{n2}; \\ P_{TPmin}^{n3} \leq P_{TP}^{n3} \leq P_{TPmax}^{n3}; \\ P_{TPmin}^{n...} \leq P_{TP}^{n...} \leq P_{TPmax}^{n...}; \\ P_{TPmin}^n \leq P_{TP}^n \leq P_{TPmax}^n. \end{cases} \end{aligned}$$

После определения показатели достижения результата, их граничный условий, необходимо ввести функцию соответствия, характеризующую в некоторой матричной шкале степень достижения цели операции:

$$\rho = f\{Y_{Re}^n, Y_{TP}^n\}. \quad (2.3)$$

Степень достижения цели при выполнении операции определим с помощью математического ожидания показателя эффективности n -ого операционного воздействия:

$$W_i^{оп} = M[f\{Y_{Re}^n, Y_{TP}^n\}]. \quad (2.4)$$

где M – математическое ожидание, определяемое через интеграл Лебега:

$$M = M[f\{Y_{Re}^n, Y_{TP}^n\}] = \int_X [f\{Y_{Re}^n, Y_{TP}^n\}] P_{[f\{Y_{Re}^n, Y_{TP}^n\}]}(dx),$$

где X – множество всех возможных значений $[f\{Y_{Re}^n, Y_{TP}^n\}]$.

Рассмотрев инструментарий теории потенциальной эффективности необходимо отметить, что критерии, используемые для повышения выполнения n -ых операционных воздействий, являются локальными и не должны противоречить глобальному критерию всей иерархической структуры

рассматриваемого операционного цикла.

Обобщив результаты исследований [27, 186, 229, 241, 275, 285], можно выделить следующие аспекты применения теории эффективности как инструмента систематизации и оптимизации процесса энерго-экологического обеззараживания бесподстильного навоза: экологический, эпидемиологический, экономический и энергетический (см. рисунок 2.3).

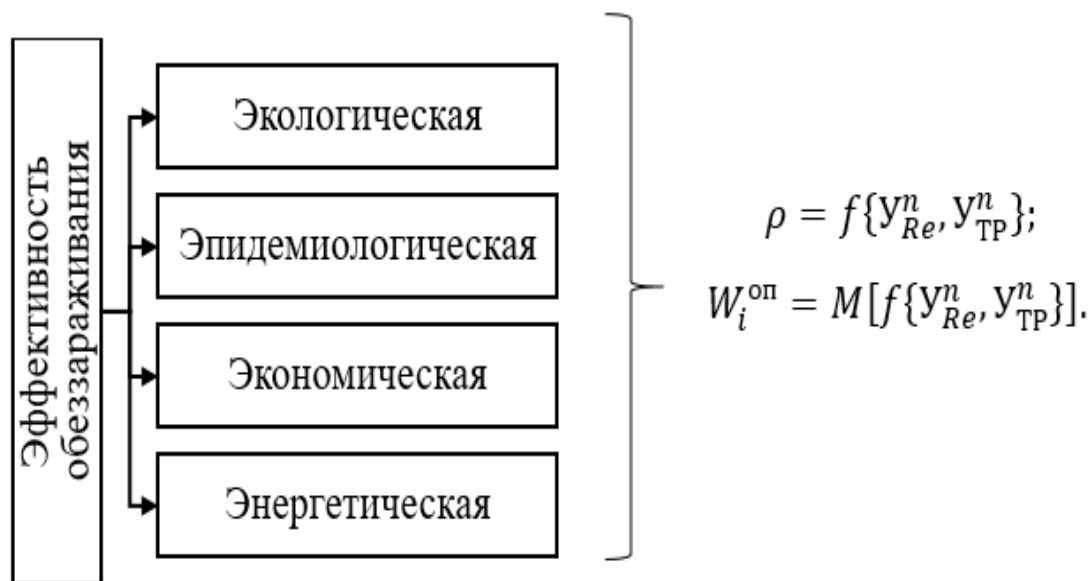


Рисунок 2.3 – Категории теории эффективности применительно к обеззараживанию бесподстильного навоза

На основании проведённого анализа инструментария теории эффективности можно сформулировать цель, определяющую эффективность энерго-экологического обеззараживания бесподстильного навоза как обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности, минимальной экологической нагрузки на окружающие и взаимодействующие с данным процессом экосистемы при минимальных энергетических затратах.

Установлено, что достичь данной цели можно путём обеспечения системного взаимодействия взаимосвязанных локальных критериев эффективности выполнения n -ого операционного воздействия и целевой направленности энергозатрат обеззараживания, т.е. глобального критерия энерго-экологической эффективности.

Поскольку система взаимодействий аспектов эффективности экологически безопасного обеззараживания бесподстилочного навоза является достаточно сложной, на основании анализа информационных источников и результатов предварительных исследований [29] в качестве наиболее информативного аспекта повышения эффективности данного процесса выделим энергетическую составляющую отнеся экологические, эпидемиологические и экономические аспекты в ограничения.

Далее рассмотрим более подробно составляющую энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза как элемента подготовки бесподстилочного навоза к обеззараживанию.

2.4. Факторно-концептуальная модель энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза

Энергетическая эффективность – комплексный показатель результативности реализации операции или процесса, подразумевающий минимизацию удельных энергетических затрат при соблюдении накладываемых технологических ограничений. Рост энергетической эффективности технического средства или операции заключается в проведении комплекса системных мероприятий, направленных на максимизацию активной составляющей общих удельных энергетических затрат, т.е. эффективного преобразования энергии из одной формы в другую, сопровождающихся достижением технологического эффекта при общей минимизации реактивных (паразитных) составляющих [29, 42, 126, 196, 206-211].

Первым этапом оценки энергетической эффективности является создание концептуальной модели, позволяющей определить целевые функции, факторы, способные оказывать наиболее существенное влияние на них и ограничения, предъявляемые к исследуемому объекту с точки зрения качества [29].

Согласно «ГОСТ Р 52777-2007 Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки», комплекс мероприятий энергетической оценки стационарных агрегатов с приводом от электрической сети переменного синусоидального тока промышленной частоты сводится к определению следующих показателей: активной и реактивной мощности; среднего коэффициента мощности и удельных энергозатрат (удельной энергоёмкости). Однако, для полноты оценки энергетической эффективности необходимо рассматривать комплекс конструктивно-технологических составляющих каждого операционного воздействия, как элемента способного оказывать влияние на параметры назначения, регламентируемые рассмотренным ГОСТом. Также на основании построенной концептуальной модели перейти к вероятностному анализу операционного воздействия, имеющего наибольший потенциал повышения энергетической эффективности. Рассмотрим более подробно составляющие, входящие в параметры назначения. Согласно анализа, выполненного в разделе 1.4, а также результатов исследований [29, 42, 126, 196, 209, 211], перспективным инструментом интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза с энерго-экологической точки зрения является использование электрофизических активаторов. Соответственно рассмотрим концепцию реализации их энергетического потенциала применительно к данному операционному воздействию.

Первичным при формировании концептуальной модели энерго-экологической эффективности операционного воздействия является представление составляющих общей потребляемой системой энергии [126, 209, 211], тремя членами, однако, для повышения адекватности модели, в ряде случаев уместно введение дополнительных параметров [29]:

$$N_{общ} = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n \quad (2.5)$$

где N_1 – мощность, затрачиваемая на выполнение операционного воздействия с требуемым технологическим эффектом, кВт;

N_2 – мощность, затрачиваемая на привод рабочих органов технологических систем, кВт;

N_3 – мощность, затрачиваемая на подачу технологического материала в соответствующее устройство, кВт;

N_n – мощность, затрачиваемая на дополнительные технологические операционные воздействия, Вт.

Далее перейдём к факторам, способным оказывать влияние на каждую из составляющих общей мощности.

Используя описанную в разделе 2.2 концепцию разделения операционных воздействий на основные и вспомогательные, произведём их предварительное энергетическое ранжирование, согласно данным [29]. Установлено, что наиболее затратными операциями с энергетической точки являются отнесённые к основным.

Для разработки аналитической концептуальной модели энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза воспользуемся тремя составляющими мощности, которые в общем виде представлены формулой (2.5).

Суммарная (номинальная) потребляемая мощность обеззараживания бесподстилочного навоза складывается из трёх основных энергетико-мощностных составляющих [29]:

$$N_{\text{сумм}UT} = N_1 + N_2 + N_3, \quad (2.6)$$

где N_1 – удельная мощность, затрачиваемая на выполнение основных операционных воздействий с требуемым технологическим эффектом, кВт;

N_2 – удельная мощность, затрачиваемая на вспомогательные операционные воздействия, т.е. подачу бесподстилочного навоза в соответствующие технические средства, реализующие основные операционные воздействия, а также системы накопления / хранения и т.п., кВт;

N_3 – удельная мощность, затрачиваемая на привод рабочих органов технологических систем, реализующих основные операционные воздействия, кВт.

В общем виде мощность, затрачиваемая на выполнение операции с требуемым технологическим эффектом при обеззараживании бесподстилочного навоза, может быть представлена как [29]:

$$N_I = N_{\text{акт.обез}}, \quad (2.7)$$

где $N_{\text{акт.обез}}$ – удельная мощность активатора обеззараживания бесподстилочного навоза, кВт·час/м³.

Удельная мощность активатора обеззараживания бесподстилочного навоза характеризуется функцией от энергии, совершившей необратимое преобразование из одной формы в другую и энергии, циркулирующей в колебательном энергетическом контуре:

$$N_{\text{акт.обез}} = f(P_{\text{акт.обез}}, Q_{\text{акт.обез}}, \cos\varphi). \quad (2.8)$$

Соответственно активная мощность является функцией зависимости от группы конструктивно-технологических параметров активатора [29]:

$$P_{\text{акт.обез}} = f \left\{ \begin{array}{l} W, Sed_{\text{исх}}, Sed_{\text{жф}}, K_1, pH_1, \omega, N_{\text{дз}}, \rho_{\text{рз1}}, m_{\text{рт1}}, \\ K_2, pH_2, NPK, ХПК, БПК, \cos\varphi, \\ V_{\text{рз.акт.обез}}, t_{\text{обез}}, n_{\text{всеп}}, \rho_{\text{рз2}}, m_{\text{рт2}}, B, f_i, Q_{\text{транс}}, \end{array} \right. \quad (2.9)$$

где W – влажность бесподстилочного навоза, %;

$Sed_{\text{исх}}, Sed_{\text{жф}}$ – седиментационный коэффициент, характеризующий однородность фазового портрета бесподстилочного навоза до и после технологического воздействия;

$K_1 = f(KOE, ОКБ_1, БОЕ_1, ТТКБ_1, ТКФСТК_1)$ – уровень экологической нагрузки (бактериологическая обсеменённость), подаваемого в активатор бесподстилочного навоза, шт;

$K_2 = f(KOE, ОКБ_2, БОЕ_2, ТТКБ_2, ТКФСТК_2)$ – уровень экологической нагрузки (бактериологической обсеменённости) бесподстилочного навоза до и после технологического воздействия, шт;

pH_1, pH_2 – уровень рН бесподстилочного навоза до и после технологического воздействия;

ρ_{pz1}, ρ_{pz2} – уровень заполненности рабочими телами рабочей зоны активатора до и после технологического воздействия, %;

m_{pt1}, m_{pt2} – масса рабочих тел до и после технологического воздействия, кг;

ω – концентрация химического реагента, мг/л;

$V_{pz.акт.обез}$ – объём рабочей зоны активатора обеззараживания, м³;

$t_{обез}$ – продолжительность воздействия, мин;

B – уровень магнитной индукции в рабочей зоне индуктора активатора, мТл;

f_i – циклическая частота колебаний электрического тока в энергетической цепи устройства, Гц;

$Q_{транс}$ – реактивная мощность трансформатора тока энергетической цепи активатора обеззараживания, ВАр.

Физическая природа реактивной составляющей активатора обеззараживания является функцией зависимости от группы конструктивно-технологических параметров активатора обеззараживания [29]:

$$Q_{акт.обез} = f \left\{ \begin{array}{l} W, Sed_{исх}, Sed_{жф}, K_1, pH_1, \omega, N_{дз}, \rho_{pz1}, m_{pt1}, \\ K_2, pH_2, NPK, ХПК, БПК, \\ V_{pz.акт.обез}, t_{обез}, n_{всеп}, \rho_{pz2}, m_{pt2}, B, f_i, Q_{транс}, \end{array} \right. \quad (2.10)$$

На основании анализа информационных источников [26, 29, 233, 288, 201] установлено, что энергозатраты N_2 будут определяться прежде всего зависимостью от физико-механических свойств обеззараживаемого энергоносителя для всех технических средств, выполняющих вспомогательные операции [29]:

$$N_2 = \frac{1}{T} \int_0^T p_2 dt, \quad (2.11)$$

где p_2 – активная мощность технических средств, реализующих вспомогательные операционные воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза

$$p_2 = (U_{\text{ттрансп}} I_{\text{ттрансп}} \sin^2(\omega t + \varphi)) + (U_{\text{тнас}} I_{\text{тнас}} \sin^2(\omega t + \varphi)) + (U_{\text{тгом}} I_{\text{тгом}} \sin^2(\omega t + \varphi)). \quad (2.12)$$

Активная мощность технических средств, реализующих вспомогательные операции обеззараживания бесподстилочного навоза, определяется как:

$$p_2 = \frac{N_2}{\sqrt{2}} = f(W, t, Sed_{\text{исх}}, K_1, \text{pH}, \text{NPK}, \text{ХПК}, \text{БПК}). \quad (2.13)$$

Реактивная мощность технических средств, реализующих вспомогательные операции обеззараживания бесподстилочного навоза, определяется как [29]:

$$q_2 = \frac{Q_2}{\sqrt{2}} = f(W, t, Sed_{\text{исх}}, K_1, \text{pH}, \text{NPK}, \text{ХПК}, \text{БПК}). \quad (2.14)$$

Удельные затраты мощности на привод рабочих органов технологических систем, реализующих основные операционные воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза, согласно [29, 233, 258], могут составлять порядка 5...7% от удельной мощности, затрачиваемой на выполнение технологических воздействий [29]:

$$N_3 = 5...7\%(N_1 + N_2). \quad (2.15)$$

Обобщив результаты анализа составляющих энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза, получим следующие составляющие:

– для основных операционных воздействий на примере обеззараживания бесподстилочного навоза с использованием активатора:

$$N_{\text{обезбпн}}^{\text{осн}} = P_{\text{акт.обез}} + Q_{\text{акт.обез}} + \frac{P_{\text{акт.обез}}}{\sqrt{(P_{\text{акт.обез}})^2 + (Q_{\text{акт.обез}})^2}}; \quad (2.16)$$

– для вспомогательных операционных воздействий

$$N_{\text{обезбпн}}^{\text{всп}} = P_{\text{всп}} + Q_{\text{всп}} + \frac{P_{\text{всп}}}{\sqrt{(P_{\text{всп}})^2 + (Q_{\text{всп}})^2}}. \quad (2.17)$$

В общем виде согласно (2.6):

$$N = N_{\text{обезбпн}}^{\text{осн}} + N_{\text{обезбпн}}^{\text{всп}}. \quad (2.18)$$

Получив концептуальное представление о факторах способных оказывать влияние на энерго-экологические характеристики операционных воздействий обеззараживания бесподстилочного навоза, перейдём к формированию условий и критерия эффективности с точки зрения предъявляемых к системе требований.

2.5. Функциональная схема формирования критерия энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза

Процесс обеззараживания бесподстилочного навоза как потенциального энергоносителя представляет ценность и интерес как инструмент удовлетворения потребностей через свои функции, проявляемые в возможных направлениях его обеззараживания. Поскольку реализация обеззараживания бесподстилочного навоза протекает в условиях непрерывно изменяющихся внешних воздействий, рациональным является представление данного объекта как многомерной динамической системы, обладающей большим количеством входных и выходных переменных. Основываясь на труды [18, 20, 193, 194, 227, 258, 261], рассмотрим входные и выходные составляющие в виде переменных.

Входные переменные определяются условиями использования технических средств, реализующих операционные воздействия технологического цикла, а также производственной мощностью фермы, соотношением половозрастных групп животных, технологией их содержания, технологией сбора образовавшихся отходов, периодом их стойлового содержания и наконец направлением дальнейшего использования. При этом наряду с вполне определенными внешними факторами, влияние которых на выходные параметры оценивается детерминистическими методами, определенное влияние на конечный результат заложено в случайных факторах.

Установлено, что для анализа и синтеза подобных объектов перспективно использование комбинированных методов, включающих совместное

применение аналитических и вероятностно-статистических инструментов, позволяющих имитировать функционирование объекта [18, 20, 193, 194, 206-211, 227, 258, 261]. Представим обеззараживание бесподстилочного навоза в виде структурной схемы функционирования (см. рисунок 2.4), имеющей вектор функции входных \vec{x} , выходных \vec{y} , управляющих \vec{u} и \vec{z} возмущающих воздействий для каждой из операций [20].

Рассмотрев структурную схему процесса обеззараживания, представленную на рисунке 2.4, можно сформулировать её имитационную математическую модель, позволяющую модельно оценить взаимодействие факторов, условий и параметров, формирующих представление о функциональном состоянии. Для этого необходимо на основании структурной модели (см. рис. 2.4) представить процесс обеззараживания бесподстилочного навоза вектор-функциями в виде соответствующих функционалов. Подробно методология имитационного моделирования объектов на основании структурно-информационной модели описана в работе [20, 258], используя закономерности которой представим вектор функционалы входных, возмущающих, управляющих воздействий, а также выходных параметров.

Функционал вектор-функции входных воздействий [20]:

$$\vec{x} = \{W_1(t), K_1(t), pH(t)\}, \quad (2.19)$$

где $W_1(t)$ – влажность бесподстилочного навоза;

$K_1(t)$ – группа параметров, характеризующая исходный уровень экологической нагрузки бесподстилочного навоза (бактериологическая обсеменённость (число КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТК и др.));

$pH(t)$ – водородный показатель бесподстилочного навоза.

Функционал вектор-функции выходных воздействий [20]:

$$\vec{y} = \{N_{НОМ}(t), K_2(t), NPK(t)\}, \quad (2.20)$$

где $N_{НОМ}(t)$ – номинальная удельная мощность обеззараживания бесподстилочного навоза;

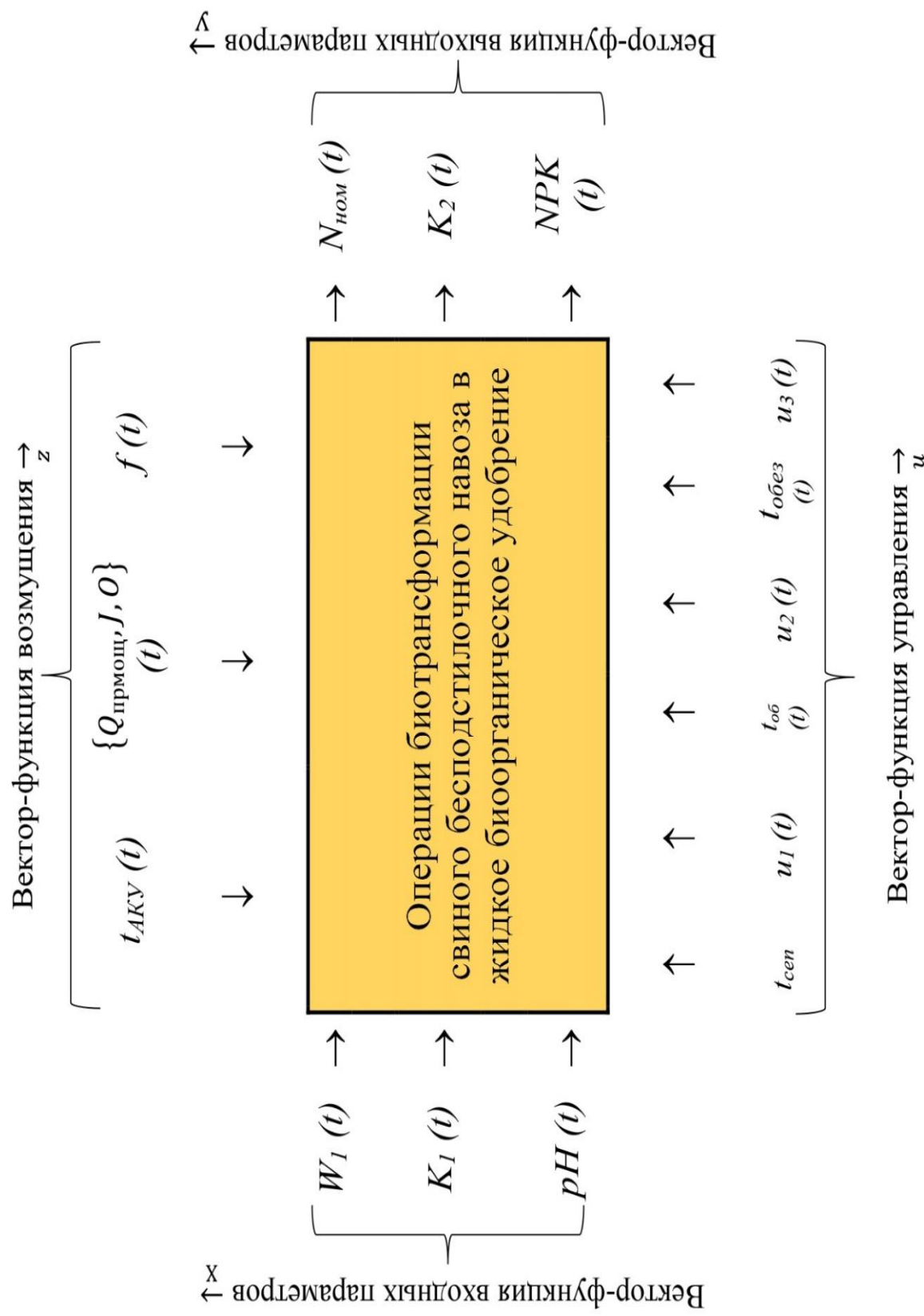


Рисунок 2.4 – Структурная схема процесса обеззараживания бесподстилочного навоза

$K_2(t)$ – группа параметров, характеризующая конечный уровень экологической нагрузки обеззараженного бесподстилочного навоза (бактериологическая обсеменённость (число КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТК и др.));

$NPК(t)$ – группа параметров, характеризующая агрохимические свойства обеззараженного бесподстилочного навоза.

Функционал вектор-функции возмущающих воздействий [20]:

$$\vec{z} = \left\{ t_{AKY}(t), \begin{bmatrix} Q \\ J \\ O \end{bmatrix} (t), f(t) \right\}, \quad (2.21)$$

где $t_{AKY}(t)$ – группа параметров, характеризующая сезон работ и агроклиматические условия региона;

$Q(t)$ – группа параметров, характеризующая производственную мощность хозяйства;

$J(t)$ – группа параметров, характеризующая способ содержания животных;

$O(t)$ – группа параметров, характеризующая способ удаления отходов;

$f(t)$ – группа параметров, характеризующая направление дальнейшего использования бесподстилочного навоза.

Функционал вектор-функции управляющих воздействий включает совокупность факторов, позволяющих оперативно изменять параметры рассмотренных операционных воздействий и обеззараживания бесподстилочного навоза в целом [20]:

$$\vec{u} = \{t_{сеп}(t), t_{обез}(t), u_3(t)\}, \quad (2.22)$$

где $t_{сеп}(t)$ – продолжительность сепарации бесподстилочного навоза (при необходимости);

$t_{обез}(t)$ – продолжительность обеззараживания бесподстилочного навоза;

$u_3(t)$ – группа конструктивно-технологических параметров, определяющих режим работы активатора обеззараживания бесподстилочного навоза.

Посредством варьирования сочетаний управляющего воздействия параметры операционного воздействия обеззараживающего бесподстилочного навоза на выходе должны соответствовать агротехническим, санитарно-эпидемиологическим и экологическим требованиям [20]. Функционал вектор-функции управляющих воздействий может определять три уровня экологической нагрузки, создаваемой обеззараженным бесподстилочным навозом, с учётом предъявляемых к нему санитарно-эпидемиологических и экологических требований (см. рисунок 2.5).

	Предельно допустимый уровень экологической нагрузки	Приемлемый уровень экологической нагрузки	Минимальный уровень экологической нагрузки
Показатели экологической нагрузки	$K_2 = f(\text{КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТК}) \rightarrow \max;$ $NPK = \text{const}$	$K_2 = f(\text{КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТК}) = K_{2\text{ном}};$ $NPK = \text{const}$	$K_2 = f(\text{КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТК}) \rightarrow \min;$ $NPK \rightarrow \max$
Показатель энергетической эффективности	$N_{\text{НОМ}} \rightarrow \min$	$N_{\text{НОМ}} = N_{\text{ОПТ}}$	$N_{\text{НОМ}} \rightarrow \max$

Рисунок 2.5 – Шкала условий энергетической эффективности обеззараживающего цикла бесподстилочного навоза

Анализ факторов позволил выделить наиболее существенные среди которых: номинальная мощность $N_{\text{ном}}$, определяющая уровень энергозатрат операционных воздействий и их эффективность с учётом приложенных ограничений и требований, величина санитарно-эпидемиологического показателя K_2 , характеризующего уровень безопасности обеззараженного бесподстилочного навоза и потенциально создаваемую им антропогенную нагрузку, величина агрохимической эффективности и потенциала обеззараженного бесподстилочного навоза NPK , характеризующая концентрацию биогенных элементов, представляющих энергетический потенциал.

В силу многофакторности и случайного характера вектор-функция \vec{y} не поддается точному аналитическому описанию, поэтому для нее применимы только вероятностные модели [20].

Проанализировав автоматизированную систему операционных воздействий обеззараживающего цикла, выделим вектор-функцию выходных воздействий (2.20), включающую: номинальную удельную мощность обеззараживающего цикла $N_{ном}$; группу параметров, характеризующую конечный уровень экологической нагрузки утилизируемого энергоносителя (бактериологическая обсеменённость (число КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТК и др.)) K_2 ; группу параметров, характеризующую агрохимические свойства утилизируемого энергоносителя $NPК$.

Анализ результатов предварительных исследований [18, 20], априорной информации [206-212, 258] позволил сформулировать следующие закономерности повышения энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза [20]:

– эффективность использования параметра $NPК$ и общая энергетическая эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза зависят от требований, характеризующих уровень санитарно-эпидемиологической безопасности энергоносителя, определяемый группой параметров K_2 , соответственно $K_2 \rightarrow \min$, и является приемлемым при соблюдении условия $K_2 \leq K_{пдж}$;

– удельные затраты мощности операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза являются основным параметром, характеризующим энергетическую эффективность и определяющим их величину, при K_2 выступает в форме ограничения, а $NPК$ может быть в виде одного из откликов, характеризующих качественную составляющую цикла.

Имея структурную схему (см. рисунок 2.4), шкалу оценки условий энергетической эффективности (см. рисунок 2.5), аналитические модели (2.19, 2.20, 2.21, 2.22), а также используя инструментарий теории эффективности,

сформулируем показатель достижения цели с учётом граничных условий, а также результатов [20, 29] следующим образом [20]:

$$\overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{TP}}} = \left\{ K_2^{\min} \leq K_2^{\text{ПДК}} \leq K_2, \right. \\ \left. t_{\text{TP}}^{\min} \leq t_{\text{TP}}^{\text{ПД}} \leq t_{\text{TP}} \right\} \rightarrow \min, \text{ при } NPK = \text{const}. \quad (2.23)$$

После введения показателя достижения результата и его граничных условий, используя функцию соответствия (2.3), определим степень достижения максимизации энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза при минимизации удельных энергозатрат [20]:

$$\rho_N = f \left\{ \overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{Re}}}, \overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{TP}}} \right\}, \quad (2.24)$$

где $\overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{Re}}}$ – удельные энергетические затраты, полученные в результате использования оценки достоверности параметров, обеспечивающих выполнения граничных условий вектора целеполагания (2.23).

Завершающим этапом, позволяющим оценить степень достижения соответствия вектора целеполагания требуемым условиям, является использование функции (2.4), которая в данном случае будет иметь вид [20]:

$$W_N^{\text{оп}} = \int_x \left[f \left\{ \overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{Re}}}, \overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{TP}}} \right\} \right] P \left[f \left\{ \overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{Re}}}, \overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{TP}}} \right\} \right] (dx) \left[f \left\{ \overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{Re}}}, \overrightarrow{N_{\text{НОМ}}^{\text{TP}}} \right\} \right]. \quad (2.25)$$

Соответственно, можно сделать заключение, что использование теории эффективности позволяет существенным образом оптимизировать удельные затраты энергии при соблюдении соответствующих ограничений: санитарно-эпидемиологических, экологических, экономических и т.п.

На основании проведённого исследования получены следующие результаты:

- аналитическая модель энергетической эффективности операционных воздействий обеззараживания бесподстилочного навоза (2.15, 2.16, 2.17);
- разработана структурная схема операционных воздействий обеззараживания бесподстилочного навоза, систематизирующая переменные

аналитических моделей (2.15, 2.16, 2.17) в форму функционалов вектор-функций входных (2.19), выходных (2.20), возмущающих (2.21) и управляющих воздействий (2.22);

- получена шкала условий оценки энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза, определяющая соответствие уровня экологической нагрузки создаваемой энергоносителем к удельным затратам энергии и соответствующим им биогенным свойствам;

- сформулированы положения роста энергетической эффективности операционных воздействий обеззараживания бесподстилочного бесподстилочного навоза.

Полученные данные представляют собой исходные данные для проведения вероятностно-статистического моделирования параметров исследуемого объекта с целью определения наиболее приоритетных с энерго-экологической точки зрения технических решений их последующей оптимизации и цифровизации.

2.6. Использование нечёткого моделирования при оценке энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза

Согласно [18, 27, 186, 241, 275, 285, 229] перспективным инструментом оценки многофакторных и разнопараметрических технических средств и способов с помощью нечётких множеств является применение их частного случая в виде функции желательности Е.К. Харрингтона, при котором натуральные значения сравниваемых параметров конвертируются в некоторую безразмерную градуировочную шкалу, выражающую желательность. К преимуществам данного инструмента можно отнести соответствие функции желательности требованиям, интеграции в общий экспертный исполнительный аппарат по следующим параметрам: количественности, возможности выражения группы параметров обобщённым критерием, однозначности, универсальности и полноты – как общей, неспецифичной характеристики объекта. Градуировка желательности

представляет собой психофизическую шкалу, функцией которой является установление соответствий между натуральными значениями частных показателей, в качестве которых выступают параметры предложенных технологий, и психофизических параметров, представляющих экспертные апостериорные оценки желательности значения показателей. Градуировка шкалы представляет соответствие наиболее предпочтительному значению критерия высокого значения желательности в диапазоне от 0 до 1. Диапазоны градуировки шкалы представлены в работах [18, 27, 186, 241, 275, 285, 229].

Рассмотрим основы конвертирования натуральных значений параметров в психофизическую градуировку желательности. Граничными условиями шкалы являются два значения $d = 0$ и $d = 1$. При этом 1 соответствует максимально желательному значению функции, а 0 максимально не желательному. Преимуществом данной градуировки является унифицированность вычислений, при которой $d = 0,63 \approx 1 - (1 / e)$. Для сравнения технологий обеззараживания бесподстилочного навоза используем следующие параметры желательности: удельные энергетические затраты, относительный уровень экологической безопасности, выраженный пролонгированным бактерицидным эффектом и уровнем эпидемиологической безопасности, а также интенсивность биотрансформационных способностей способов. Оценка интенсивности биотрансформационных способностей способов обеззараживания бесподстилочного навоза, представленных в таблице 2.1, осуществлялась с использованием следующей зависимости:

$$i_{bts} = \frac{\sum_i^n \frac{(N_i + Q_i + S_i) \cdot t_i}{q_i}}{n_{\text{КОЕ}}^{\text{ПАТ}} - \sum_i^n \left[\left(1 - \frac{n_{\text{КОЕ}}^{\text{ПАТ}} - x}{n_{\text{КОЕ}}^{\text{ПАТ}}} \right) \cdot n_{\text{КОЕ}}^{\text{ПАТ}} - x \right]}, \quad (2.26)$$

где N_i – удельные затраты активной мощности на реализацию i -го операционного воздействия технологического способа, кВт·ч;

Q_i – удельные затраты реактивной мощности на реализацию i -го операционного воздействия технологического способа, кВАр·ч;

S_i – удельные затраты полной мощности на реализацию i -го операционного воздействия технологического способа, кВА·ч;

t_i – момент времени затрачиваемый на реализацию i -го операционного воздействия технологического способа, ч;

q_i – производительность i -го операционного воздействия, кг/ч;

$n_{\text{КОЕ}}^{\text{ПАТ}}$ – число колониеобразующих единиц патогенных бактерий до реализации i -го операционного воздействия технологического способа, шт;

$n_{\text{КОЕ}-x}^{\text{ПАТ}}$ – число колониеобразующих единиц патогенных бактерий после реализации i -го операционного воздействия технологического способа, шт.

Кодирование частных значений функции желательности d_i в обобщенную функцию желательности D , осуществляется в результате свёртки, алгоритм которой подробно описан в работе [275]. Число используемых показателей может зависеть от типа систем. Сглаживание аппроксимирующей составляющей функции желательности происходит за счёт корня n -й степени. Механизм расчета функции желательности основан в кодировании натурального частного параметра y в желательность d . Реализовать которое возможно с односторонним и двухсторонним ограничением. Односторонне ограничение представляется наиболее достоверным, т. к. позволяет дать оценку многофакторных технических средств и способов [18, 27, 186, 241, 275]. Данная функция имеет вид $x \leq x_{\max}$ или $x \geq x_{\min}$, т.е. параметр y имеет либо возрастающую либо убывающую природу относительно некоторого заданного максимального или минимального значения. Расчет значений y выражается:

$$d = e^{-e^{-y'}}, \quad (2.27)$$

где d – частная функция желательности;

y' – кодированное значение частного параметра y , вычисляемое по формуле:

$$y' = b_0 + b_1 x + b_2 x^2, \quad (2.28)$$

где b_0, b_1, b_2 – коэффициенты квадратичной функции.

Прологарифмировав дважды уравнение (2.28), получим

$$y' = -\ln\left(\ln\frac{1}{d}\right) = \ln\frac{1}{\ln\frac{1}{d}}. \quad (2.29)$$

Подставляя значения y в уравнение (2.29), получим

$$b_0 + b_1x + b_2x^2 = \ln\frac{1}{\ln\frac{1}{d}}. \quad (2.30)$$

Для известных значений составляется система уравнений, из которой определяются неизвестные коэффициенты линейной функции b_0, b_1, b_2 .

$$\begin{cases} b_0 + b_1x + b_2x^2 = \ln\frac{1}{\ln\frac{1}{0,81}} \\ b_0 + b_1x + b_2x^2 = \ln\frac{1}{\ln\frac{1}{0,63}} \\ b_0 + b_1x + b_2x^2 = \ln\frac{1}{\ln\frac{1}{0,37}} \end{cases} \quad (2.31)$$

Результатом описанных выше преобразований является система квадратичных уравнений, описывающих зависимости между исследуемым показателем и безразмерными значениями, что позволяет, используя систему (2.32) вычислить y для любого значения x в рассматриваемой области интереса, а далее по модели (2.28) – показатель желательности. Поскольку показатель желательности может иметь двустороннюю и одностороннюю природу ограничений, применительно к поставленной задаче наиболее рационально использовать функцию Харрингтона с односторонним ограничением, общий вид которой описан в работах [18, 186, 212, 258]. Интерпретация значений интегрального показателя энергетической и экологической интенсивности технологических способов обеззараживания бесподстилочного навоза при его подготовке к обеззараживанию осуществляется в соответствии с градуировкой шкалы Харрингтона по следующим уровням предпочтений: «высокий» – $\geq 0,8$; «выше среднего» – \geq

0,6; «средний» – $\geq 0,37$; «ниже среднего» – $\geq 0,2$; «низкий» – > 0 . Значение обобщенной функции желательности D , рассчитывается как среднее геометрическое всех участвующих в сравнении параметров:

$$D = \sqrt[n]{d(1) * d(2) * ... * d(n)}, \quad (2.32)$$

где n – число параметров используемых при сравнении технологических способов.

Анализ работ [27, 241, 275], результатов предварительных исследований [18, 295], интервьюирования экспертов в области утилизации отходов животноводства позволил определить уровни желательности способов обеззараживания бесподстилочного навоза, а также оценки, характеризующие предпочтительность их принадлежности с точки зрения энергетических затрат и экологического эффекта. На основании изложенного в таблице 2.2 представлены характеристики способов обеззараживания бесподстилочного навоза при его подготовке к утилизации с использованием функции желательности Харрингтона.

Таблица 2.2 – Характеристика желательности способов обеззараживания бесподстилочного навоза при его подготовке к утилизации

№	Желательность d				
	Низкая	Ниже среднего	Средняя	Выше среднего	Высокая
1	0-0,20	0,21-0,37	0,38-0,63	0,64-0,80	0,81-1,0
2	Удельные затраты энергии u_1 , кВт*ч/м ³				
3	10	8	6	4	2
4	Относительный уровень экологической безопасности u_2 , %				
5	25	45	70	85	100
6	Наличие пролонгированного бактерицидного эффекта u_3 , час.				
7	0	12	48	72	168

Проанализировав данные приведённые в таблице 2.2, обобщающий интегральный показатель эффективности способов обеззараживания бесподстилочного навоза был рассчитан как среднее геометрическое частных желательностей с учетом ранжированных значений и корректировке, определяющей коэффициент значимости рассматриваемой совокупности (2.32) согласно методике [18, 275] и представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Соответствие натуральных и кодированных переменных желательности сравниваемых параметров способов обеззараживания бесподстилочного навоза

№	Параметр y_i	Желательность d_i		Номера соответствующих технологических способов обеззараживания бесподстилочного навоза
1	2	3		4
1	y_1	$d_1 = 0,80$	$x_1 = 4$	4
		$d_2 = 0,63$	$x_2 = 6$	2, 3, 5, 6, 7, 9
		$d_3 = 0,37$	$x_3 = 8$	1, 8
2	y_2	$d_1 = 0,80$	$x_1 = 85$	4
		$d_2 = 0,63$	$x_2 = 70$	1, 2, 3, 7, 8, 9
		$d_3 = 0,37$	$x_3 = 45$	5, 6
3	y_3	$d_1 = 0,80$	$x_1 = 72$	9
		$d_2 = 0,63$	$x_2 = 48$	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8
		$d_3 = 0,37$	$x_3 = 12$	4

Подставляя d_i и x_i в уравнение (2.30), получим систему уравнений для определения коэффициентов b_0, b_1, b_2 для каждого из параметров сравнения.

Для y_1 система примет вид:

$$\begin{cases} b_0 + 4b_1 + (4)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,80}} \\ b_0 + 6b_1 + (6)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,63}} \\ b_0 + 8b_1 + (8)^2 b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,37}} \end{cases} \quad (2.33)$$

Для y_2 система примет вид:

$$\begin{cases} b_0 + 85b_1 + (85)^2b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,80}} \\ b_0 + 70b_1 + (70)^2b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,63}} \\ b_0 + 45b_1 + (45)^2b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,37}} \end{cases} \quad (2.34)$$

Для y_3 система примет вид:

$$\begin{cases} b_0 + 72b_1 + (72)^2b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,80}} \\ b_0 + 48b_1 + (48)^2b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,63}} \\ b_0 + 12b_1 + (12)^2b_2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{0,37}} \end{cases} \quad (2.35)$$

В результате решения полученных систем (2.33), (2.34), (2.35) методом Крамера были получены следующие коэффициенты для системы (2.33) и y_1 :

$$\left. \begin{array}{l} b_0 = 2,840 \\ b_1 = -0,316 \\ b_2 = -0,005 \end{array} \right| y'_1 = 2,840 - 0,316x - 0,005x^2. \quad (2.36)$$

В результате решения системы (2.34) были получены следующие коэффициенты для y_2 :

$$\left. \begin{array}{l} b_0 = 0,033 \\ b_1 = -0,021 \\ b_2 = -0,00045 \end{array} \right| y'_2 = 0,033 - 0,021x - 0,00045x^2. \quad (2.37)$$

В результате решения системы (2.35) были получены следующие коэффициенты для y_3 :

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= -0,163 \\ b_1 &= -0,316 \\ b_2 &= -0,00015 \end{aligned} \right| y'_3 = -0,163 - 0,316x - 0,00015x^2. \quad (2.38)$$

Получив квадратичные функции (2.36), (2.37), (2.38) характеризующие уровень желательности сравниваемых параметров определим их частные, кодированные значения и обобщённые значения D для каждого из них. Расчётные значения искомых параметров представлены в таблице 2.4.

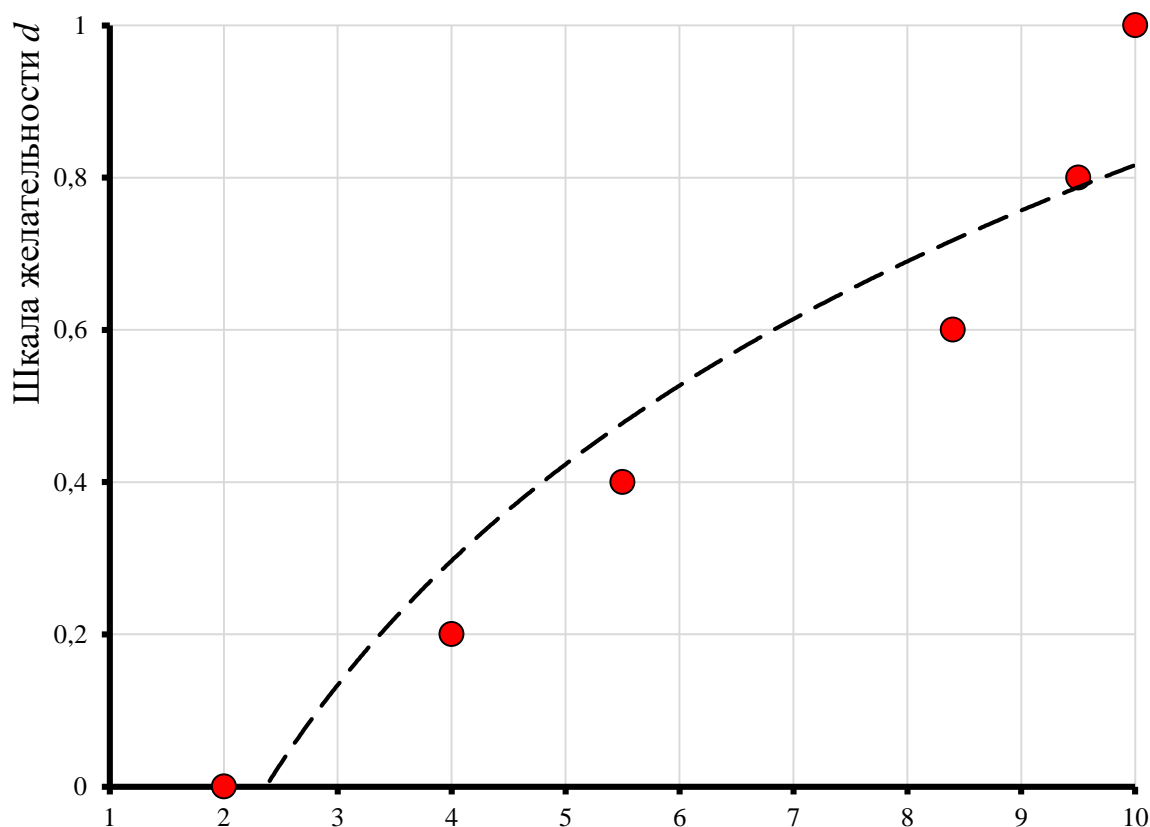
Таблица 2.4 – Параметры функции желательности сравниваемых способов

№	Параметры		Значения					
1	2		3					
1	Удельные энергетические затраты y_1	Значения частного параметра	2	4	5,5	8,4	9,5	10
		Кодированные значения частного параметра	-0,1378	-0,1115	-0,0909	-0,0493	-0,0329	-0,0253
		Частные функции желательности	0,3173	0,3269	0,3344	0,3497	0,3557	0,3585
		Обобщенная функция желательности D_1	0,3401					
2	Относительный уровень экологической безопасности y_2	Значения частного параметра	25	45	70	85	95	100
		Кодированные значения частного параметра	0,2374	0,6933	1,4326	1,9666	2,3602	2,5684
		Частные функции желательности	0,4544	0,6065	0,7876	0,8694	0,9099	0,9262
		Обобщенная функция желательности D_2	0,7361					
3	Наличие пролонгированного бактерицидного эффекта	Значения частного параметра	0	12	48	72	124	168
		Кодированные значения	-0,1629	0,0057	0,7721	1,4999	3,6722	6,1466

продолжение таблицы 2.4

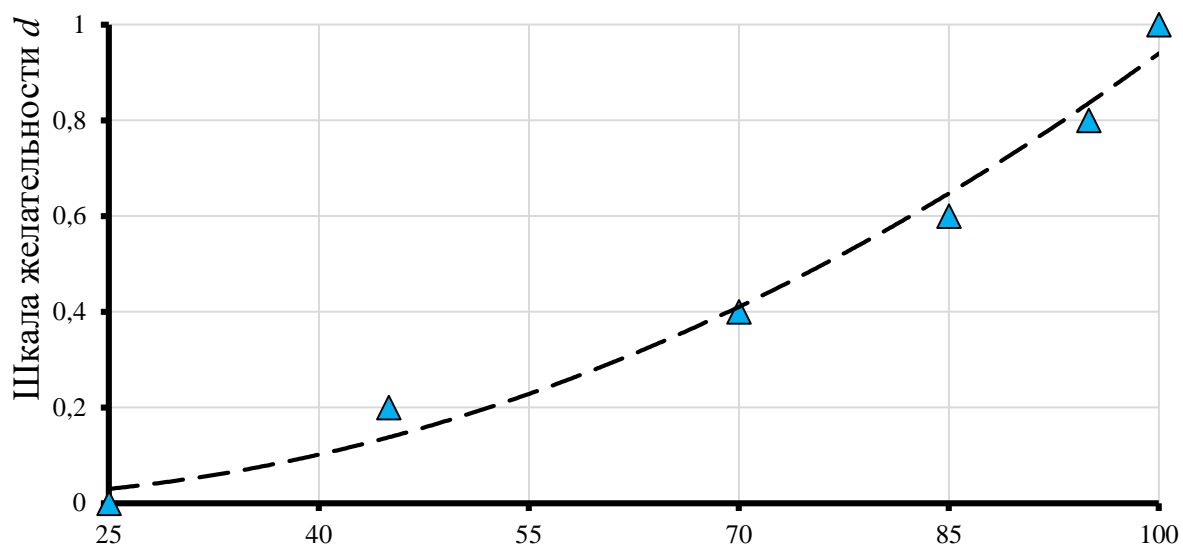
№	Параметры		Значения					
1	2		3					
		частного параметра						
		Частные функции желательности	0,3082	0,3700	0,6300	0,8000	0,9749	0,9979
		Обобщенная функция желательности D_3	0,6183					

На рисунках 2.6, 2.7, 2.8 представлена графическая интерпретация функции желательности Харрингтона для уровня энергетических затрат, уровня экологической безопасности, а также наличия в том или ином способе пролонгированного бактерицидного эффекта.



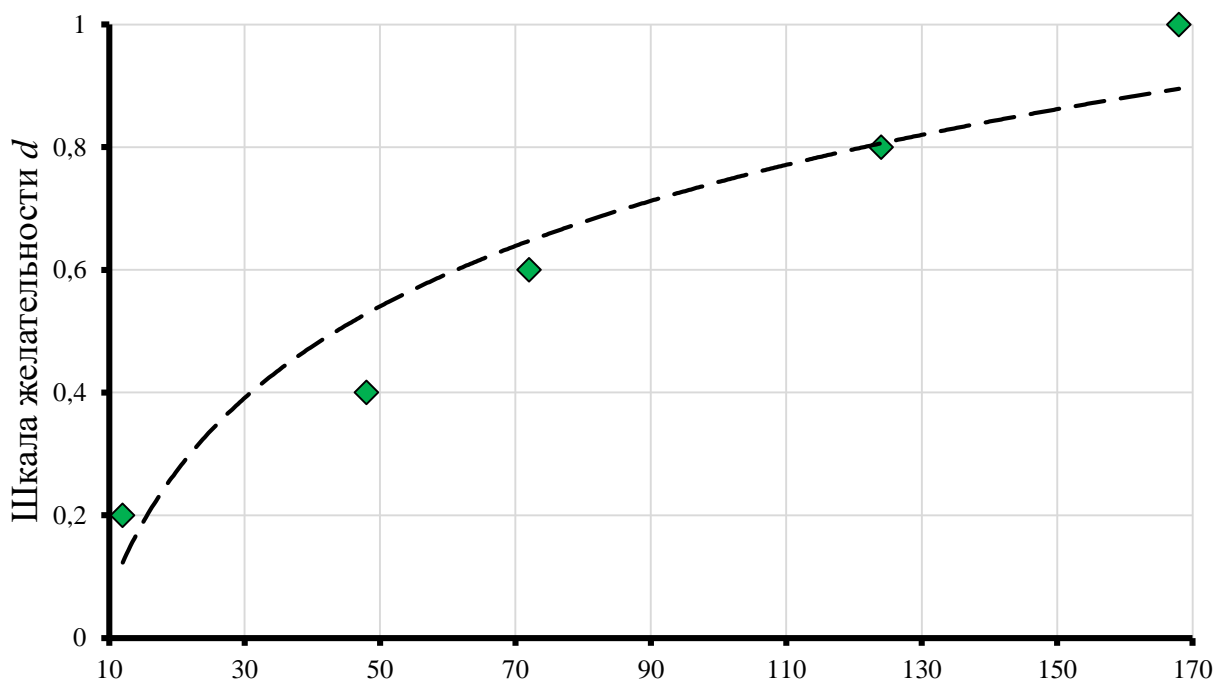
Шкала частных показателей оценки энергетического потенциала способов обеззараживания y_1' , кВт*ч/м³

Рисунок 2.6 – Графическая интерпретация функции желательности Харрингтона для оценки энергетического потенциала способов обеззараживания бесподстилочного навоза



Шкала частных показателей оценки экологического потенциала способов обеззараживания y_2' , %

Рисунок 2.7 – Графическая интерпретация функции желательности Харрингтона для оценки экологического потенциала способов обеззараживания бесподстилочного навоза



Шкала частных показателей оценки наличия пролонгированного бактерицидного эффекта способов обеззараживания y_3' , часов

Рисунок 2.8 – Графическая интерпретация функции желательности Харрингтона для оценки наличия пролонгированного бактерицидного эффекта способов обеззараживания бесподстилочного навоза при его подготовке к обеззараживанию

На рисунке 2.9 представлено сравнение способов обеззараживания бесподстилочного навоза на основании определённых оценок принадлежности, представленных в таблице 2.4. На основании проведённых расчётов результаты которых представлены в таблицах 2.3 и 2.4, анализа графической зависимости на рисунке 2.9, установлено, что интегральный показатель эффективности способов обеззараживания бесподстилочного навоза согласно шкале желательности Харрингтона, лежит в диапазоне 0,5...0,7 для способов, подготавливающих его к утилизации в органические удобрения с их интенсивным обеззараживанием.

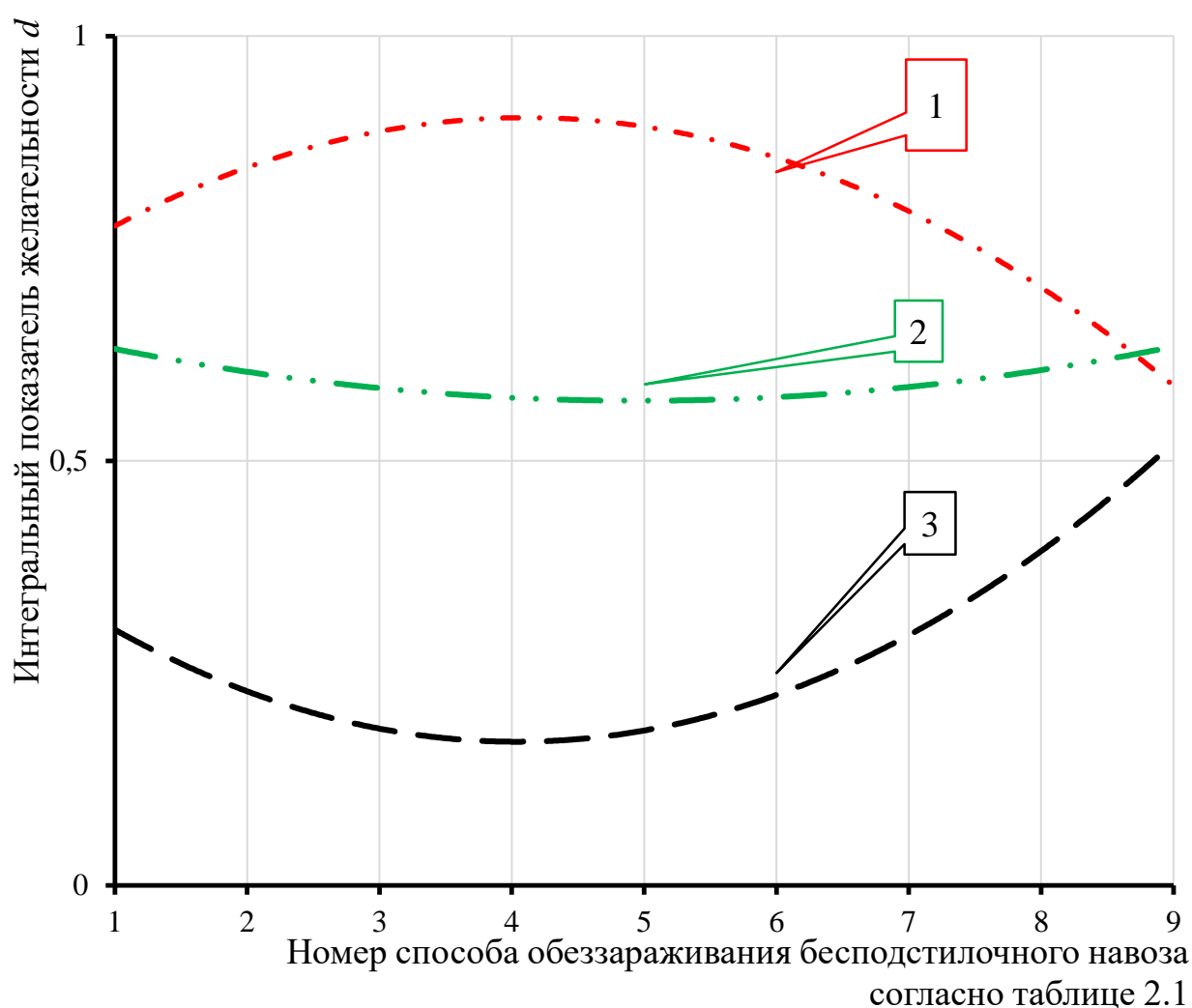


Рисунок 2.9 – Эффективность способов обеззараживания бесподстилочного навоза по показателю желательности:
1 – Уровень энергетических затрат, кВт*ч/м³;
2 – Уровень экологической нагрузки, %;
3 – Наличие пролонгированного бактерицидного эффекта, часов

С точки зрения анализа удельных энергетических затрат, относительного уровня экологической безопасности и наличия пролонгированного бактерицидного эффекта перспективным является использование способа обеззараживания 9 в электромагнитном активаторе, существенным образом, позволяющего интенсифицировать процесс биотрансформации бесподстилочного навоза в жидкое биоорганическое удобрение. Коэффициент желательности при этом составляет диапазон 0,55...0,63, что соответствует среднему уровню и является наиболее приоритетным, поскольку подразумевает развитие системы. Развитие исследуемой системы может быть достигнуто дальнейшими экспериментальными исследованиями с последующим созданием математических моделей, решением оптимизационной задачи и разработке цифровизированного программного продукта.

2.7. Выводы по главе

На основании проведённого исследования сделаны следующие выводы:

1. Проведён анализ интенсивности энерго-экологических способов обеззараживания бесподстилочного навоза на основании, которого выделены 9 наиболее типичных, соответствующих различной производственной мощности хозяйства, направлению дальнейшего использования, а также используемому технологическому укладу.

2. Сформулированы основные положения теории потенциальной эффективности (2.19), (2.20), (2.21), (2.22) применительно к энерго-экологическому обеззараживанию бесподстилочного навоза.

3. Представлена структурная схема энергоэффективного и экологически безопасного обеззараживания бесподстилочного навоза (см. рисунок 2.4).

4. Проведён анализ факторов способных оказывать влияние на энерго-экологическую эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза, среди наиболее существенных выделены: влажность бесподстилочного

навоза, а также конструктивно-технологические параметры активатора обеззараживания определяющие его режимные характеристики.

5. Разработана факторно-концептуальная модель энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза (2.16), (2.17), (2.18).

6. Проведена оценка энерго-экологической эффективности способов обеззараживания бесподстилочного навоза с использованием вероятностных подходов и нечёткого моделирования, на основании функции желательности Харрингтона установлено, что интегральный показатель эффективности технологических способов обеззараживания бесподстилочного навоза согласно шкале желательности Харрингтона, лежит в диапазоне 0,5...0,7 для способов, утилизирующих бесподстилочный навоз в органические удобрения с их интенсивным обеззараживанием. С точки зрения анализа удельных энергетических затрат, относительного уровня экологической безопасности и наличия пролонгированного бактерицидного эффекта перспективным является использование способа обеззараживания, использующего интенсивную биотрансформацию бесподстилочного навоза в жидкое биоорганическое удобрение в электромагнитном активаторе, новизна и перспективность данного способа подтверждается патентом РФ (№ 2726309 от 13.07.2020).

Развитие исследуемой системы может быть достигнуто дальнейшими экспериментальными исследованиями с последующим созданием математических моделей, решением оптимизационной задачи и разработке цифровизированного программного продукта.

3. Программа и методика экспериментальных исследований

3.1. Постановка задачи

Как показал анализ источников, выполненный в разделе 1.4, интенсификации и повышению энергетической эффективности операционных воздействий при подготовке бесподстилочного навоза к внесению посвящено достаточное количество работ, однако, вопрос повышения эффективности его обеззараживания рассмотрен недостаточно значительно полно, соответственно необходимым является проведение экспериментальных исследований. Одной из задач диссертационного исследования являлась разработка методики экспериментальных исследований с использованием запатентованных технических решений и способов. На основании анализа априорных данных, информационных источников, результатов дополнительных предварительных исследований [45, 106, 114, 123, 125-127, 131, 132, 135, 137, 152], были сформулированы следующие задачи:

1. Разработать методики экспериментальных исследований, необходимые элементы приборно-метрологического обеспечения и рекомендации по их использованию.

2. Определить плотности вероятностей распределений параметров, характеризующих санитарно-эпидемиологические и энергетические свойства бесподстилочного навоза.

3. Обосновать выбор варьируемых факторов, их областей интереса, условий, измеряемых параметров и плана экспериментальных исследований в зависимости от рассматриваемых объектов исследований.

4. Исследовать влияние параметров электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от его физико-реологических свойств.

5. Исследовать влияние применения электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза и его влияние на параметры санитарно-эпидемиологических и энергетических свойств.

3.2. Экспериментальные стенды и приборно-метрологическое обеспечение

3.2.1. Устройство и принцип действия электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза

Электромагнитный активатор согласно анализам, проведённым в разделах 1.4 и 2.6, а также результатов исследований [18-21, 28, 31, 56-60, 67, 162, 216, 280, 295, 298, 301], является достаточно перспективным техническим решением, позволяющим интенсифицировать ряд тепло- массообменных процессов, одним из которых является операция обеззараживания бесподстилочного навоза.

Конструктивно электромагнитный активатор обеззараживания состоит из двух частей: неподвижной и подвижной. Неподвижная часть представляет собой электромагнитный индуктор, создающий вращающийся переменный магнитный поток. Подвижная часть представляет собой систему из ферромагнитных элементов, роль которых могут выполнять стержни, тела сферической формы, а также дискретно-подвижные рабочие органы. Выбор типа подвижной части электромагнитного активатора обуславливается физико-реологическими свойствами обрабатываемого в нём технологического материала. В зависимости от типа используемой подвижной части могут быть получены различные эффекты, связать которые можно с соотношением согласованных и несогласованных положений подвижной части с переменным вращающимся электромагнитным полем, созданным индуктором.

Рассмотрим схему электромагнитного активатора с различными вариантами исполнения подвижной части, представленную на рис. 3.1. В общем виде, вне зависимости от типа исполнения электромагнитного активатора его конструктивную часть можно разделить на зоны: предрабочую, рабочую и пострабочую. В предрабочую зону осуществляется подача технологического материала опасного в санитарно-эпидемиологическом отношении, в рабочей зоне осуществляется непосредственное воздействие на

него и преобразование его физико-химических свойств, в пострабочей зоне осуществляется отвод обеззараженного технологического материала.

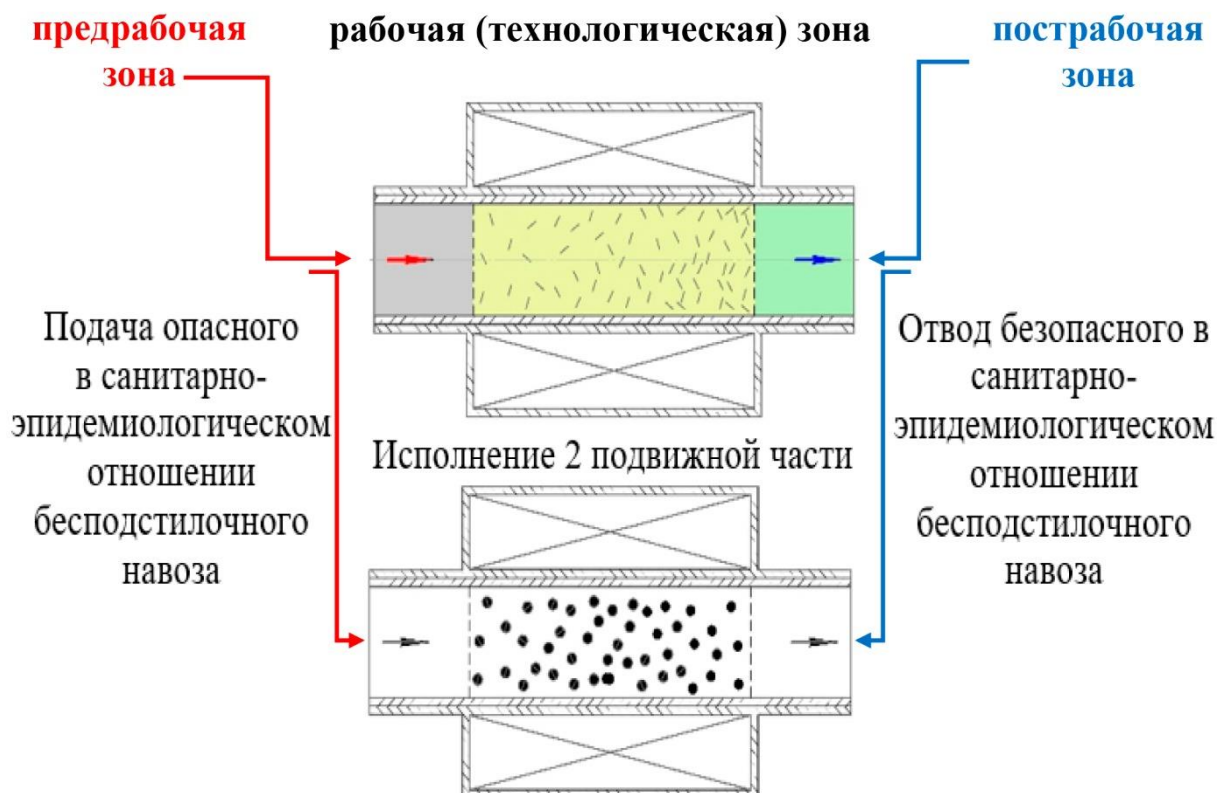


Рисунок 3.1 – Схема электромагнитного активатора

Кроме основной конструктивной части электромагнитного активатора, реализующей непосредственное воздействие на технологический материал, имеется и вспомогательная, включающая корпус, станину, а также трубу, выполненную из парамагнитного материала, установленную в расточку всех трёх зон индуктора и защищающую его электромагнитную часть от попадания технологического материала.

На рисунке 3.2 представлено исполнение электромагнитного активатора, используемые при проведении экспериментальных исследований (конструктивные элементы используемого при проведении экспериментальных исследований электромагнитного индуктора активатора с обозначением позиций представлены в приложении А, на рисунке А8). В качестве наиболее перспективного исполнения вихревого слоя были выбраны шаровый и стержневой вихревые слоя.



Рисунок 3.2 – Общий вид электромагнитного активатора исполнение 1

На рисунках А.9...А.12 в приложении А представлены результаты скоростной кино съёмки вихревого слоя образованного подвижной частью (пат. № 2668906) в зависимости от исполнения: исп. 1 – стержневой слой, исп. 2 – шаровой слой. Принцип действия электромагнитного активатора заключается в осуществлении преобразования энергии вращающегося переменного электромагнитного поля в кинетическую энергию его подвижной части. Высокая энергетическая и технологическая эффективность подобных устройств достигается за счёт отсутствия механических элементов в рабочей зоне, что позволяет осуществлять непосредственную передачу энергии от вращающегося переменного электромагнитного поля к технологическому материалу с минимальными потерями, за счёт отсутствия кинематических цепей и механических передач [130]. Электромагнитный индуктор активатора включает в себя ферромагнитный цилиндрический сердечник с электрообмотками, смещёнными друг относительно друга на угол 120° , в расточку которого вставлена втулка 3 из парамагнитного материала. Пространство внутри втулки представляет собой рабочую зону, в которой и осуществляется технологический процесс [130].

В зависимости от реализуемого операционного воздействия и

технологического материала, качество функционирования электромагнитного активатора может характеризоваться множеством параметров назначения. Однако, кроме параметров назначения, качество функционирования электромагнитного активатора характеризуется создаваемым им магнитным потоком и уровнем необходимых для этого энергозатрат. Электромагнитное поле можно оценить с помощью интенсивности, направленности и однородности. Для характеристики интенсивности воздействия электромагнитного поля используются следующие физические величины: магнитный поток, напряжённость, магнитная индукция. Наиболее информативной характеристикой магнитного поля является магнитная индукция – векторная величина \vec{B} в Тл, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля в точке. Модуль магнитной индукции переменного электромагнитного поля характеризуется следующими значениями: мгновенным, пиковым (амплитудным), средним, среднеквадратичным, средневыпрямленным. Наиболее информативным из представленных является средневыпрямленное значение магнитной индукции [130]. Согласно [56-60, 67, 126, 123, 127, 137], наиболее существенное влияние на энергетическую эффективность функционирования активатора оказывают средневыпрямленные значения радиальной B_m^p и осевой B_m^o составляющих магнитной индукции. Уровень энергозатрат определяется активной, реактивной, полной мощностью и их компонентами, зависящими от конструктивно-технологических параметров электромагнитного активатора.

В общем виде, параметром, характеризующим энергетическую эффективность электромагнитного активатора, можно представить удельную энергоёмкость операционного воздействия, реализуемого им. Суть оценки удельной энергоёмкости электромагнитного активатора, заключается в измерении амплитудных значений силы тока, напряжения и угла сдвига фаз в единицу времени на единицу объёма, что можно представить аналитически в виде формулы:

$$N_{yэ} = \frac{\left(U_m I_m \sin^2 \left(\omega t + \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p dt}{\sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_0^T p dt \right)^2 + \left(\int_0^T q dt \right)^2}} \right) \right) \cdot t}{\frac{\pi \cdot D_{pz}^2 \cdot l_{pz}}{4}}, \quad (3.1)$$

где U_m – амплитудное значение напряжения питающей сети, В;

I_m – амплитудное значение силы тока питающей сети, А;

ω – угловая частота колебаний электрического тока питающей сети, Гц;

T – время одного полного цикла колебания, сек;

p – мгновенная активная мощность, передаваемая полюсам индуктора, Вт;

q – мгновенная реактивная мощность, циркулирующая в контуре, ВАр;

t – продолжительность операционного воздействия, сек;

D_{pz} – диаметр рабочей зоны, реализующей системное физико-химическое воздействие, мм;

l_{pz} – длина рабочей зоны цилиндра, реализующего системное физико-химическое воздействие, мм.

На основании анализа информационных источников и результатов предварительных исследований [32, 45, 56, 58, 106, 114, 120, 123, 125-127, 131, 132], установлены основные электромагнитные характеристики индуктора активатора, представлены в приложении А в таблице А.9.

В качестве наиболее существенных конструктивно-технологических параметров электромагнитного активатора были выбраны [32, 114, 120, 123, 125-127, 131, 132]: тип подвижного рабочего органа (стержни и шары), уровень заполненности рабочей зоны ферромагнитными телами, масса ферромагнитных тел, уровень магнитной индукции, создаваемый в рабочей технологической зоне. Методики варьирования, области интереса указанных параметров более подробно будут представлены в разделе методики проведения экспериментальных исследований.

3.2.2. Устройство и элементная база автоматизированного контрольно-измерительного комплекса

Для проведения экспериментальных исследований использовались следующие контрольно-измерительный комплекс Phywe, включающий комплект датчиков Холла осевого, тангенциального и радиального направлений, а также измерительного модуля Cobra 3. Общий вид контрольно-измерительного комплекса представлен на рисунках 3.6 и 3.7. Методика обработки измеренных значений уровня магнитной индукции в зависимости от их типа представлена в приложении А.

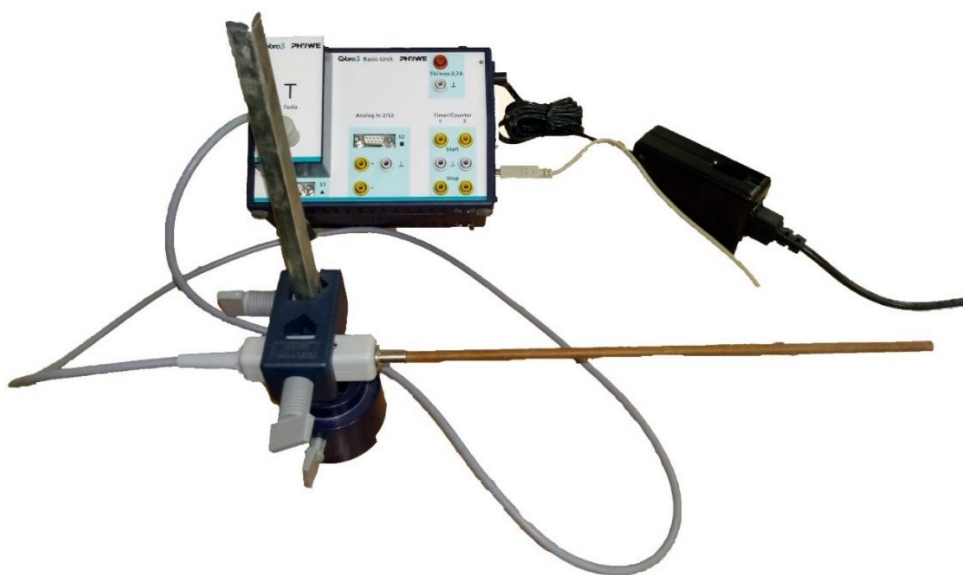


Рисунок 3.6 – Общий вид датчика Холла

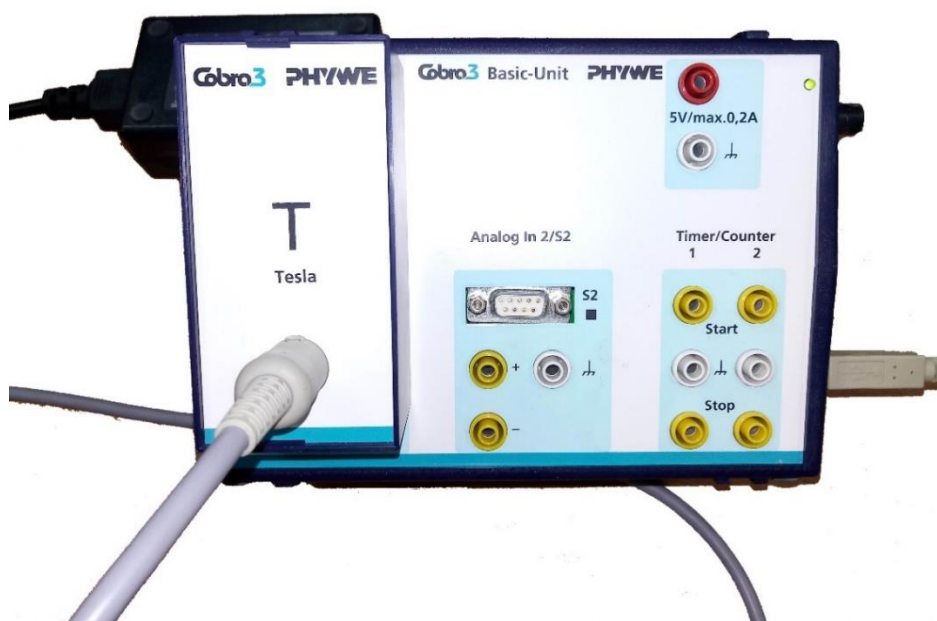


Рисунок 3.7 – Тесла-модуль Cobra 3 Phywe датчика магнитной индукции

Наиболее приемлемым является средневыпрямленное значение магнитной индукции. Под направленностью магнитной индукции понимается ориентация силовых линий в рабочей камере индуктора. Направленность магнитной индукции в рабочей камере индуктора характеризуется радиальной и осевой составляющими. Осевые составляющие магнитной индукции располагаются в плоскости, проходящей через центральную ось индуктора и направлены параллельно ей. Радиальные составляющие располагаются в плоскости перпендикулярной центральной продольной оси индуктора и направлены от неё в радиальном направлении.

В качестве параметров, характеризующих электромагнитное поле в рабочей камере индуктора, принимаются средневыпрямленные значения радиальной B_m^p и осевой B_m^o составляющих магнитной индукции.

Измерение удельной энергоёмкости осуществлялось с помощью токоизмерительных клещей типа АСМ, общий вид которых представлен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Комплект токоизмерительных клещей типа АСМ

Для обеспечения безопасности проводимых исследований и корректности получаемых данных связанных с длительностью измерений, была изготовлена текстолитовая плата, представленная на рисунке 3.9.

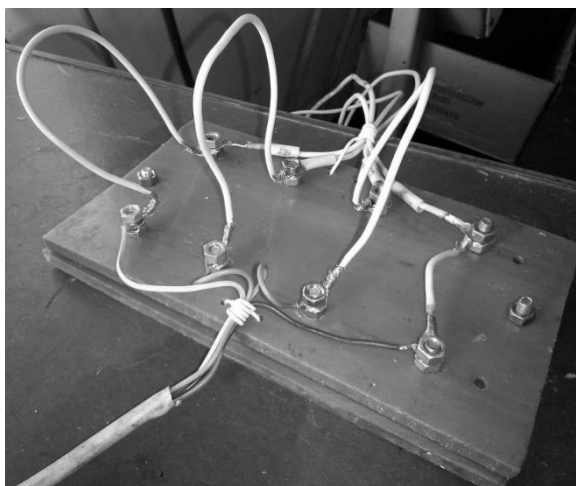


Рисунок 3.8 – Общий вид платы для измерения удельной энергоёмкости технических средств

Ниже на рисунке 3.9 представлен процесс измерения удельной энергоёмкости индуктора активатора с помощью токоизмерительных клещей типа АСМ.

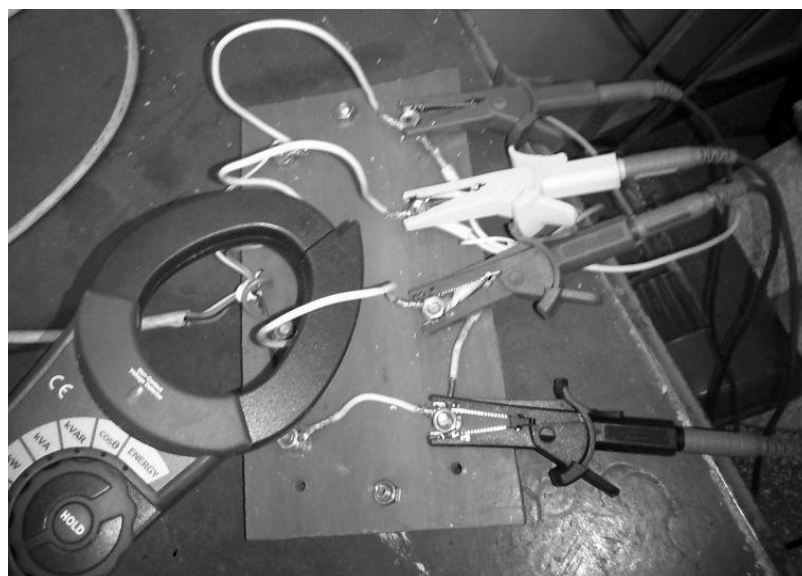


Рисунок 3.9 – Процесс измерения удельной энергоёмкости токоизмерительными клещами

В процессе измерения удельных энергетических затрат фиксировались действующие значения активной, реактивной, полной мощности, а также синуса и косинуса сдвига фаз между мгновенными значениями силы тока и напряжения. Измерение описанных выше параметров позволило в

автоматизированном режиме определять коэффициент мощности энергетической системы индуктора как отношение:

$$\cos \varphi = \frac{\left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N i_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N u_i^2(t) \cdot \Delta t \right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N i_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N u_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \sin \varphi}}, \quad (3.3)$$

где $\sin \varphi$ – коэффициент реактивной мощности равный:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}. \quad (3.4)$$

Активная мощность при этом представлялась как:

$$P = \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N i_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N u_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \frac{\left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N i_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N u_i^2(t) \cdot \Delta t \right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N i_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N u_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \sin \varphi}}. \quad (3.5)$$

Реактивная мощность при этом представлялась как:

$$Q = \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N i_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \left(\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N u_i^2(t) \cdot \Delta t \right) \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}. \quad (3.6)$$

Полная мощность при этом представлялась как:

$$\sum_k S = \sqrt{\sum_k P_k^2 + \sum_k Q_k^2}, [\text{кВА}] \quad (3.7)$$

где P – действующее значение активной мощности в энергетической цепи, кВт;

Q – действующее значение реактивной мощности в энергетической цепи, кВАр;

k – число энергетических категорий каждого типа.

Оценка уровня экологической нагрузки обеззараживаемого бесподстилочного навоза производилась путём подсчёта числа колониеобразующих единиц (КОЕ). Согласно МУ 2.1.5.800-99, ГОСТ Р 53117-2008, а также результатам предварительных исследований [19-21, 28, 41, 43, 132, 162, 280, 295, 298], анализу, проведенному в разделе 1.4, описанные параметры, характеризующие число КОЕ патогенных форм, являются наиболее представительными. В качестве метода использовался прямой посев обработанного в активаторе бесподстилочного навоза на питательную среду Эндо, в соответствии с МУК 4.2.1018-01 и ГОСТ 30712-2001. Преимуществом данного метода относительно метода мембранных фильтров является возможность использования в достаточно широком диапазоне влажности анализируемой среды и эффективность вне зависимости фазового портрета среды, что является существенным при анализе сложных полидисперсных систем типа бесподстилочного навоза. Подсчёт КОЕ выросших на питательном агаре осуществлялся с использованием оборудования представленного на рисунках 3.10 и 3.11.



Рисунок 3.10 – Термостат электрический Faithful WGLL-30BE



Рисунок 3.11 – Счётчик колониеобразующих единиц Funke-Gerber ColonyStar

Для оценки принадлежности той или иной категории выросших на питательном агаре единиц к патогенным формам использовался оксидазный тест, представленный на рисунке 3.12.



Рисунок 3.12 – Индикаторы идентификации КОЕ

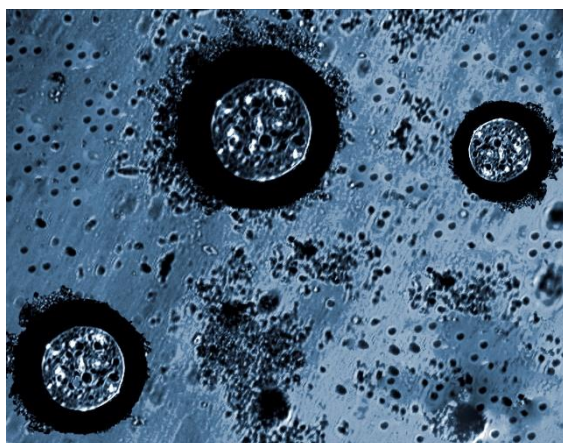
Прежде чем оценивать уровень токсичности и экологической нагрузки создаваемый исследуемым бесподстильным навозом после его обеззараживания в активаторе, осуществлялась оценка эффективности воздействия экспресс методом. Суть метода заключалась в прямом микрокопировании среды до воздействия и после, а также визуальной оценке активности. Экспресс оценка осуществлялась в соответствии с

рекомендациями, изложенными в методике определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg ФР.1.39.2006.02506. Общий вид экспресс оценки с помощью прямого микрофотоирования представлен на рисунке 3.13. Фиксация результатов прямого микрофотоирования осуществлялась с помощью цифрового видео-окуляра TourCam разрешением 3,2 Мпикс.

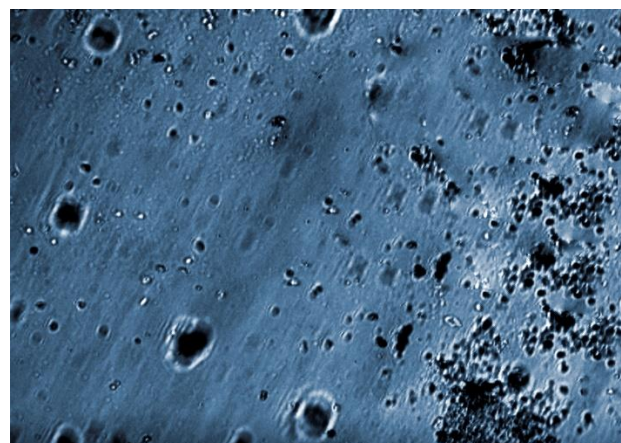


Рисунок 3.13 – Экспресс оценка экологической нагрузки бесподстилочного навоза прямым микрофотоированием

На рисунке 3.14 представлен пример результатов экспресс оценки эффективности до и после воздействия в активаторе методом прямого микрофотоирования с использованием цифрового видео-окуляра TourCam.



а) прямое микрофотоирование до воздействия



б) прямое микрофотоирование после воздействия

Рисунок 3.14 – Результаты экспресс оценки уровня экологической нагрузки бесподстилочного навоза прямым микрофотоированием

На рисунке 3.14 а) наблюдается высокая активность бактериальных форм, тогда как на рисунке 3.14 б) активность бактериальных форм отсутствует, при этом наблюдается лизис оболочек патогенов. Соответственно, для достоверной оценки уровня экологической нагрузки создаваемой данным образцом необходимо провести его более детальное лабораторное исследование в соответствии с методиками, описанными выше.

Как показал анализ [18, 19, 31], существенным фактором, оказывающим влияние на уровень экотоксикологического состояния конечного продукта, его энергетический потенциал, а также создаваемую им экологическую нагрузку на био и агроценозы является влажность бесподстилочного навоза. Для измерения влажности бесподстилочного навоза использовался влагомер Aqua-LAB AQ-M60U1, общий вид которого и характеристики представлены на рисунке 3.15.



Параметр	Значение
Диапазон измерения влажности	5...98%
Цена деления влажности	0,1 RH
Систематическая погрешность	2,5% ± 1% RH
Время выборки	менее 0,5 сек.
Питание	4 батареи 1,5 В тип AAA

Рисунок 3.15 – Общий вид влагомера Aqua-LAB AQ-M60U1

Описанные в данном разделе приборы и оборудование являются сертифицированными и поверенными, а систематическая погрешность измерений не превышала регламентированные паспортные значения.

3.3.3. Описание программных комплексов, используемых при проведении и обработке данных.

Для повышения достоверности представления данных, полученных в ходе экспериментальных исследований необходимо придерживаться следующих принципов:

Цель любого экспериментального исследования – получение закономерности или зависимости поведения одной физической величины относительно другой;

Наиболее информативное представление и интерпретирование результатов проведённых экспериментальных исследований.

Наиболее перспективными инструментами, позволяющими достичь обозначенные принципы является Microsoft Office Excel, STATISTICA и Optimum agriculture system v. 1.0. Рассмотрим более подробно используемые модули каждого из инструментов.

Наиболее простым и достоверным инструментом формализации данных с помощью метода аппроксимирующих функций является Microsoft Office Excel. Его суть заключается в выборе аппроксимирующей функции, позволяющей наиболее близко описать исследуемую формализуемую зависимость в соответствии с предъявляемыми критериями. Аналитически физический смысл аппроксимирующих функций можно сформулировать следующим образом: рассмотрим две зависимости $f(x)$ и $F(x, b_1, b_2, \dots, b_n)$, определённые на множестве M некоторого n -мерного пространства E_n . Примем, что функция F является зависимой от некоторого b_n числа факторов, при этом зависимости требуется определить таким образом, чтобы отклонение $F(x, b_1, b_2, \dots, b_n)$ от $f(x)$ было минимизировано. В каждом конкретном случае необходимо конкретизировать, что понимается под отклонением, так если отклонение представляет собой ограничение, то расстоянием между сравниваемыми функциями может выступить верхняя грань E и модуль их разности. В данном случае принимается, что $f(x)$ непрерывна по всей длине

некоторого отрезка $[a, b]$, где a и b – натуральные числа, соответственно расстояние между ними может быть представлено в виде:

$$\sqrt{\int_a^b (f - F)^2 dx}. \quad (3.8)$$

При проведении аппроксимации в данном исследовании $f(x)$ рассматривается в виде многочлена от нескольких переменных $F(x, b_1, b_2, \dots, b_n)$, соответственно всякому $e > 0$, можно сопоставить многочлен $P_n(x)$ степени $n = n(e)$, на протяжении которого выполняется неравенство

$$|f(x) - P_n(x)| < e. \quad (3.9)$$

Примем, что $f(x)$ является непрерывной функцией с периодом 2π , тогда:

$$f(x) = f(x + 2\pi), \quad (3.10)$$

тогда если $e > 0$, связь между функциями можно описать тригонометрической суммой:

$$T_n(x) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{i=1}^n (a_i \cos ix + b_i \sin ix), \quad (3.11)$$

удовлетворяющей теореме Вейерштрасса, являющейся аппроксимационной, согласно которой любую непрерывную функцию на некотором отрезке можно формализовать с помощью последовательности многочленов, равномерно сходящихся к этой функции в пределах заданного отрезка. Числа a_i и b_i определяются следующим образом при условии, что $f(x)$ непрерывна и её период составляет 2π :

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{1}{n} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos ix dx, \\ b_i &= \frac{1}{n} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin ix dx, \end{aligned} \quad (3.12)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ – коэффициенты Фурье.

Аппроксимационный тригонометрический ряд при этом будет иметь вид:

$$\frac{\alpha_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos ix + b_i \sin ix). \quad (3.13)$$

Критерии близости функций могут быть различны. Наиболее приемлемым и информативным на данном этапе является использование коэффициентов

обратной связи: корреляции – для линейных связей и детерминации – для нелинейных. Коэффициенты обратной связи могут принимать значения от -1 до $+1$. При этом, значение -1 будет говорить об отсутствии связи между величинами, 0 – о нулевой связи, а $+1$ – о наиболее тесной связи величин, т. е., чем ближе значение коэффициентов к $+1$, тем сильнее связь между двумя случайными величинами.

Рассмотрим физический смысл коэффициента корреляции при оценке тесноты обратной связи исследуемых случайных величин. Коэффициент корреляции представляет собой отношение корреляционного момента к произведению среднеквадратичных отклонений случайных величин x и y при условии их функциональной связи линейной природы $y = ax+b$:

$$r = \frac{\mu_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \leq \pm 1. \quad (3.14)$$

где μ_{xy} – корреляционный момент;

σ_x и σ_y – случайные величины x и y .

Рассмотрим физический смысл коэффициента детерминации при оценке тесноты обратной связи исследуемых случайных величин. Коэффициент детерминации представляет собой зависимость:

$$r^2 = 1 - \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \leq \pm 1. \quad (3.15)$$

В случае с функциональными связями линейной природы физический смысл коэффициента детерминации сводится к нахождению квадрата коэффициента корреляции.

Данные закономерности проецируются и на выбранные аппроксимирующие функции. Чем ближе коэффициент обратной связи к $+1$ тем, с большей достоверностью выбранная функция описывает поведение обозначенных случайных величин в рамках области исследования.

Реализовать описанные принципы в автоматизированном режиме позволяет один из модулей программного пакета Excel, общий вид которого представлен на рисунке 3.16.

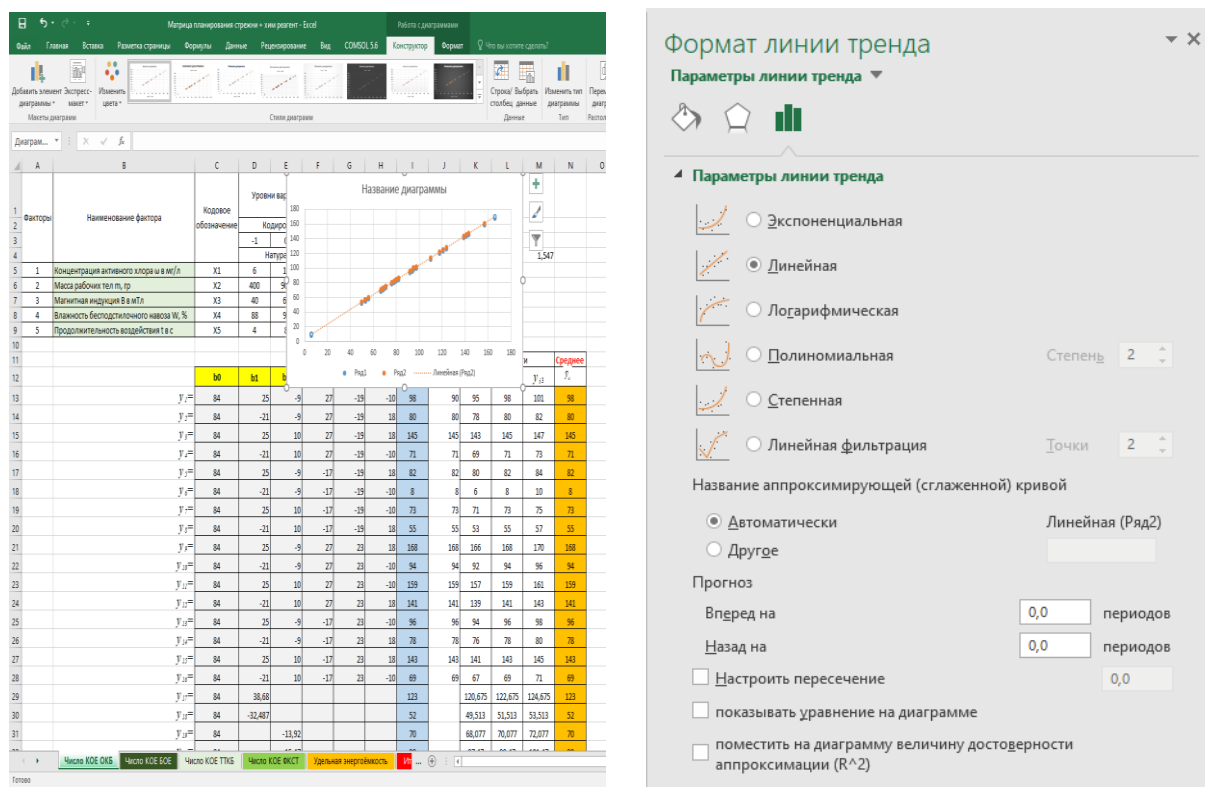


Рисунок 3.16 – Общий вид модуля выбора аппроксимирующей функции для массива исходных данных в Microsoft Office Excel

Соответственно, можно сделать вывод, что использование данного модуля позволяет существенным образом повысить эффективность первичной обработки экспериментальных данных при соблюдении принципов статистической достоверности.

Поскольку в ходе данного исследования проводился поиск связей между многофакторными и многопараметрическими системами, для адекватной формализации которых необходимо было использовать модели более высоких порядков, для повышения эффективности и достоверности опытов при их последующей обработке использовались методы регрессионного анализа. Одним из наиболее перспективных и многофункциональных инструментов автоматизированной системной математической формализации сложных объектов является программный комплекс STATISTICA. На рисунках 3.17 и 3.18 представлены интерфейсы программного комплекса STATISTICA используемые при построении статистических регрессионных моделей.

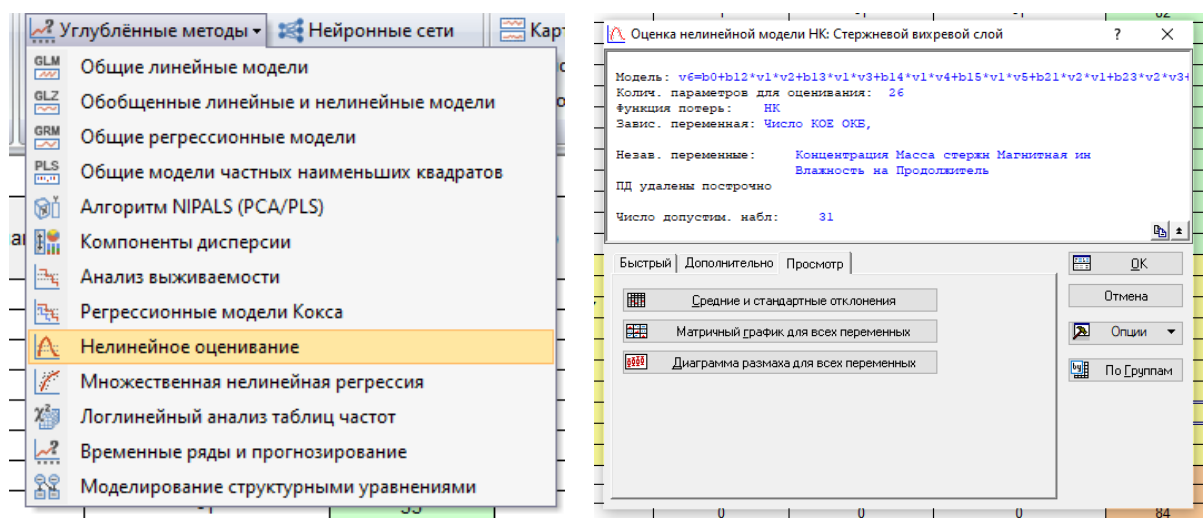


Рисунок 3.17 – Общий вид модуля регрессионного анализа программного комплекса *STATISTICA*

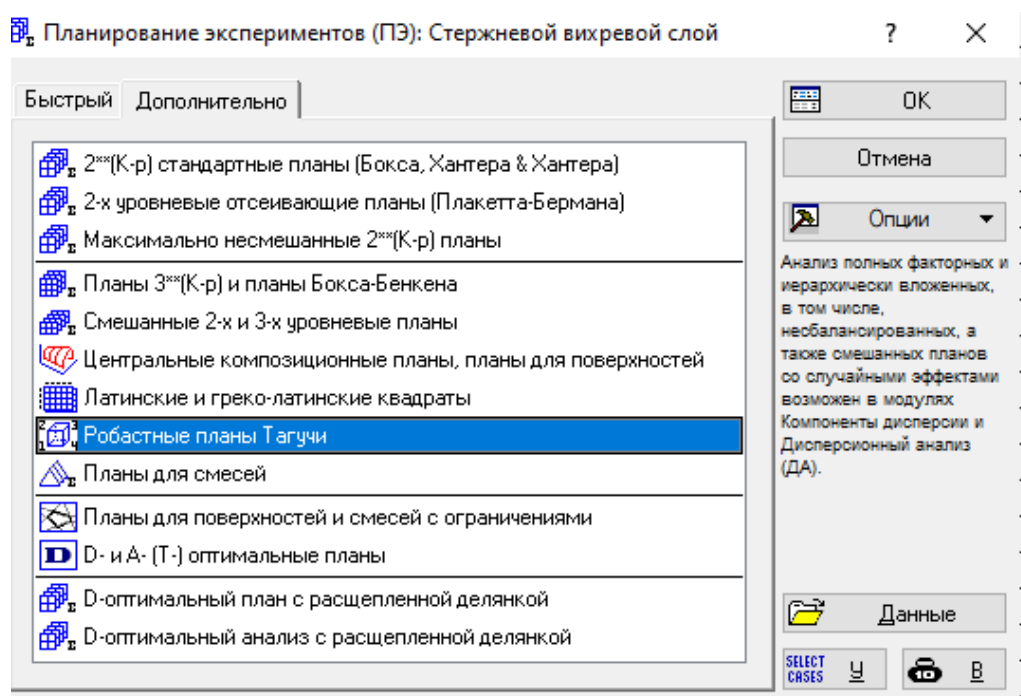


Рисунок 3.18 – Общий вид модуля планирования эксперимента программного комплекса *STATISTICA*

Использование описанных модулей программного комплекса *STATISTICA* позволяет в автоматизированном режиме производить оценку статистической достоверности полученных эмпирическим путём данных, практически на всех этапах исследования.

Поскольку эффективная реализация операционных воздействий и технологических процессов затруднительна без их цифровизации, то кроме первичной статистической обработки результатов экспериментальных исследований, полученных на их основе математических моделей, необходима разработка программных комплексов, позволяющих с учётом специфики каждого из реализуемых операционных воздействий осуществлять подбор оптимальных для существующих условий параметров. Под оптимальными параметрами в данном случае понимается подбор сочетаний входных воздействий, обеспечивающих минимизацию или максимизацию целевой функции при заданных ограничениях. При этом в качестве ограничений и целевой функции могут выступать математические модели. Для реализации поставленной задачи, на основании исследований [4, 7, 35, 44, 77, 89, 198, 203, 215], автором был реализован программный продукт Optimum agriculture system v. 1.0 (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2019616853 РФ) [215]. На рисунке 3.19 представлен интерфейс программного продукта.

Выберите число переменных и диапазоны их варьирования

X1 ≤ ≤

X2 ≤ ≤

X3 ≤ ≤

Функции-ограничения:

$f(X_1, X_2 \dots X_n) = 71,72 - 9,13 \cdot x_1 + 1,32 \cdot x_2 - 20,15 \cdot x_3 - 31,74 \cdot x_4$

$f(X_1, X_2 \dots X_n) =$

$f(X_1, X_2 \dots X_n) =$

Посчитать

↓

Объект исследования:

Активатор обеззараживания навоза

Критерии оптимальности:

☐ MAX ☒ MIN

$f(X_1, X_2 \dots X_n) = 5,59 - 2,14 \cdot x_1 - 0,44 \cdot x_2 + 2,24 \cdot x_3 +$

Введите шаг движения по поверхности отклика -

Рисунок 3.19 – Интерфейс программного продукта Optimum agriculture system v. 1.0 (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2019616853 РФ)

На основании проведенных исследований [4, 7, 35, 44, 77, 89, 198, 203, 296], установлено, что перспективными методами поиска оптимальных решений, обеспечивающих минимальную удельную энергоёмкость операции обеззараживания бесподстилочного навоза при соблюдении требуемого

уровня его санитарно-эпидемиологической безопасности являются метод полного перебора и метод поиска оптимального решения, положенные в основу разработанного программного продукта.

Взаимодействие с программным продуктом Optimum agriculture system v. 1.0 сводится к следующей последовательности действий. Вводится наименование объекта исследования, для повышения представительности и информативности взаимодействия со средой, затем вводится число входных варьируемых факторов и диапазоны их вариации, затем выбирается число ограничений, вводятся математические модели их описывающие и условия, позволяющие оценить достижение / недостижение качественных характеристик. Важным фактором при выборе численных значений ограничений является учёт соответствующих нормативных документов, регламентирующих то или иное качественное состояние при реализации операционного воздействия. После того как в программный продукт введены варьируемые факторы и заданы ограничения, необходимо выбрать условие целевой функции (минимизация / максимизация) и её форму, после чего необходимо задать шаг движения по некоторой области конечномерного пространства, ограниченного набором линейных и нелинейных неравенств, в зависимости от которого будет определяться точность получаемого результата, а также будет зависеть продолжительность расчёта. После выполнения описанных выше действий необходимо запустить расчёт, после чего на экран выведется счётчик времени, показывающий продолжительность выполнения расчёта. После реализации алгоритма поиска оптимального решения в заданных условиях, на экран будут выведены 10 сочетаний входных факторов, обеспечивающих минимизацию / максимизацию целевой функции при обозначенных ограничениях. Полученные результаты можно импортировать в файл формата docx.

Рассмотрев основные программные продукты, используемые при проведении исследований, перейдём к общим и частным методикам

экспериментальных исследований энергетически эффективного и экологически безопасного обеззараживания бесподстилочного навоза.

3.3. Методики проведения исследований и обработки экспериментальных данных.

3.3.1. Общая методика проведения экспериментальных исследований.

Для повышения эффективности проводимого исследования и достоверности полученных результатов в качестве инструмента выполнения поставленных задач использовалась математическая теория планирования эксперимента, позволяющая формализовать факторы, условия и параметры, оказывающие влияние на качество операционных воздействий. К преимуществам математической теории планирования эксперимента следует отнести возможность получения достоверного результата со статистической точки зрения при минимальном числе повторности опытов, характеризующие межфакторные и межуровневые взаимодействия входных и выходных параметров.

В общем виде алгоритм экспериментальных исследований с использованием математической теории планирования эксперимента можно свести к следующим действиям:

- выбор варьируемых факторов;
- определение области существования варьируемого фактора;
- обоснование области интереса варьируемого фактора;
- выбор параметров, характеризующих качественные составляющие реализации операционного воздействия;
- выбор параметров, характеризующих энергетические затраты на реализации операционного воздействия;
- обоснование выбора условий (контролируемых параметров) технологического процесса;

- представление блок-схемы экспериментального исследования в виде чёрного ящика или другой структурно-информационной модели;
- выбор матрицы планирования и числа повторностей в соответствии с заданным критерием оптимальности – определение максимальной силы влияния фактора на выбранный параметр назначения при его максимальной достоверности, либо оценка степени важности вклада, вносимого фактором на параметр назначения при его минимальной достоверности;
- проведение экспериментального исследования;
- статистическая обработка и представление формализованных математических статистических моделей, связывающих варьируемые факторы и параметры назначения.

После того как получены формализованные математические зависимости необходимо обеспечить получение наилучшего доступного в заданных условиях результата. Для этого необходимо осуществить выбор способа оптимизации научно-технического результата в соответствии с полученными статистическими математическими моделями.

Поскольку данные экспериментальные исследования проводятся на базе результатов, полученных в работах [32, 129, 133, 134, 136, 280], в качестве критерия оптимальности было принято решение использовать *D*-оптимальные ортогональные центральные композиционные планы типа Хартли, обеспечивающие максимальную достоверность параметров назначения.

Исходными данными для использования выбранного алгоритма являются число факторов – k , число опытов в центре плана – n_0 и общее число опытов

$$N = 2^k + 2k + n_0, \text{ (при } k < 5) \quad (3.16)$$

$$N = 2^{k-1} + 2k + n_0 \text{ (при } k \geq 5). \quad (3.17)$$

Затем определим число опытов N в ядре плана:

$$N = 2^k \text{ (при } k < 5), \quad (3.18)$$

$$N = 2^{k-1} \text{ (при } k \geq 5). \quad (3.19)$$

Параметр смещения β

$$\beta = \sqrt{\frac{N_0}{N}}. \quad (3.20)$$

«Звездное плечо» α

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(N_0N - N_0)}. \quad (3.21)$$

Для повышения достоверности значений отклика, получаемых в ходе экспериментального исследования, добавим его в матрицу ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) фиктивный столбец $x_0 = 1$, а также дополнительные столбцы парных взаимодействий $x_{ij} = x_i x_j$ и центрированные переменные $x'_i = (x_{ij})^2 - \beta$, $i = 1, \dots, k$, $j = 1, \dots, N$. Тогда число слагаемых в уравнении регрессии будет определяться как:

$$m = C_k^2 + 2k + 1 \quad (3.22)$$

где $C_k^2 = \frac{k!}{2!(k-2)!}$ – число сочетаний.

А сама математическая статистическая модель примет вид уравнения регрессии:

$$\bar{y} = b'_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{ji=1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b'_{ii} x'_i \quad (3.23)$$

Коэффициенты уравнения регрессии (3.23) определяются по формулам (где i – номер столбца, j – номер строки):

$$\begin{aligned} b_i &= \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}; \\ b'_{ii} &= \frac{\sum_{j=1}^N x'_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^N (x'_{ij})^2}; \\ b_{ik} &= \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} x_{kj}) y_j}{\sum_{j=1}^N (x_{ij} x_{kj})^2}. \end{aligned} \quad (3.24)$$

Дисперсия воспроизводимости $S_{\text{восп}}^2$ определяется по опытам в центре плана по формуле:

$$S_{\text{восп}}^2 = \frac{1}{n_0 - 1} \sum_{i=1}^{n_0} (y_{oi} - \bar{y}_0)^2 \quad (3.25)$$

где n_0 – число опытов в центре плана;

\bar{y}_0 – среднее значение отклика в центре плана.

Дисперсия воспроизводимости по коэффициентам определяются по формулам:

$$\begin{aligned} S_{bi}^2 &= \frac{S_{\text{восп}}^2}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}; \\ S_{b_{ii}}^2 &= \frac{S_{\text{восп}}^2}{\sum_{j=1}^N (x_{ij})^2}; \\ S_{b_{ik}}^2 &= \frac{S_{\text{восп}}^2}{\sum_{j=1}^N (x_{ij}x_{kj})^2}. \end{aligned} \quad (3.26)$$

Средние квадратические отклонения по коэффициентам:

$$\begin{aligned} S_{b_i} &= \sqrt{S_{bi}^2}; \\ S_{b'_{ii}} &= \sqrt{S_{b_{ii}}^2}; \\ S_{b_{ik}} &= \sqrt{S_{b_{ik}}^2}. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Расчетное значение критерия Стьюдента по каждому коэффициенту:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}. \quad (3.28)$$

В соответствии с таблицей значений распределение Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $m = n - 1$ (n – число повторности опытов) находим критическое значение $t_{\text{кр}}(\alpha; m)$. Если $t_i > t_{\text{кр}}(\alpha; m)$, то соответствующий коэффициент считается значимым. Незначимые коэффициенты из уравнения исключаются. С учетом параметра смещения β уравнение регрессии примет вид:

$$\bar{y} = b'_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{ji=1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b'_{ii} (x_{ii}^2 - \beta). \quad (3.29)$$

Адекватность полученного уравнения регрессии оценивается с помощью критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{восп}}^2}, \quad (3.30)$$

где $S_{\text{ад}}^2$ – дисперсия адекватности;

$S_{\text{восп}}^2$ – дисперсия воспроизводимости.

Уравнение считается адекватным, если составленное по формуле (3.30) расчётное отношение меньше критического теоретического:

$$F_{\text{кр}}(\alpha; m_1; m_2), \quad (3.31)$$

где α – уровень значимости, $\alpha = 0,05$;

m_1 – число степеней свободы дисперсии адекватности

$m_1 = N - L$ (N – общее число опытов, L – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии);

m_2 – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости;

$m_2 = n_0 - 1$ (n_0 – число опытов в центре плана);

$F_{\text{кр}}(\alpha; m_1; m_2)$ определяется в соответствии с таблицей критических значений распределения Фишера [4, 7, 35, 44, 77, 89, 203].

Дисперсия адекватности определяется по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{N-L} \sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y}_j)^2, \quad (3.32)$$

где N – общее число опытов;

L – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии;

y_j – экспериментальные значения отклика;

\bar{y}_j – значения откликов рассчитанных по уравнению регрессии.

Эффективное использование математической теории планирования эксперимента подразумевает нормальный закон распределения параметров назначения формируемой математической модели. С этой целью необходимо провести ряд экспериментальных исследований, позволяющий сформировать необходимую выборку соответствующего уровня репрезентативности. Минимально допустимый объём выборки, позволяющий сделать заключение

о её репрезентативности для параметров числа КОЕ составляет 100 наблюдений. Более подробно методика формирования выборки описания наблюдений представлена в работе [28]. Бесподстилочный навоз после комплексного воздействия в активаторе подвергался прямому посеву на питательную среду Эндо, согласно МУК 4.2.1018-01 и ГОСТ 30712-2001, с последующим оксидазным тестом и подсчётом выросших на питательном агаре колониеобразующих единиц. Определение плотности вероятностей осуществлялось путём проверки гипотезы о нормальном законе распределения по ГОСТ Р ИСО 22514-6-2014, ГОСТР 50779.29- 2017 (ИСО16269-6:2014) и ГОСТ 20522-2012 [28].

Проверка гипотезы о нормальном законе распределения осуществлялась на основании анализа априорной информации и эмпирических данных о плотности вероятности значений числа КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТК. Функция плотности распределения которых представляется зависимостью [28]:

$$f(p) = \frac{1}{S_p \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(p_i - \mu_p)^2}{2S_p^2}}, \quad (3.33)$$

где S_p – среднеквадратичное отклонение случайной величины p ;

μ_p – оценка математического ожидания случайной величины p .

Интегральная функция плотности распределения которых представляется зависимостью [28]:

$$F(p) = \int_{-\infty}^x f(p) dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (3.34)$$

Область принятия гипотезы определялась исходя из неравенства

$$\chi_p^2 \leq \chi_{кр}^2, \quad (3.35)$$

где χ_p^2 – расчётное значение критерия Пирсона;

$\chi_{кр}^2$ – критическое значение критерия Пирсона.

Расчётное значение критерия Пирсона можно определить исходя из зависимости [28]:

$$\chi_p^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i} \quad (3.36)$$

Число степеней свободы для критического значения критерия Пирсона [28]:

$$f_{\Pi} = k_u - r - 1, \quad (3.37)$$

где k_u – количество интервалов, на которые делится выборка;

r – количество параметров теоретической функции распределения.

Поскольку нормальный закон распределения является двухпараметрическим, т.е. включает среднеквадратичное отклонение случайной величины p и оценку её математического ожидания, то $r = 2$.

В результате проведенных экспериментов были получены выборки значений КОЕ ОКБ $p_{\text{кое окб } 1}, p_{\text{кое окб } 2}, \dots, p_{\text{кое окб } 100}$, КОЕ БОЕ $p_{\text{кое бое } 1}, p_{\text{кое бое } 2}, \dots, p_{\text{кое бое } 100}$, КОЕ ТТКБ $p_{\text{кое тткб } 1}, p_{\text{кое тткб } 2}, \dots, p_{\text{кое тткб } 100}$, КОЕ ФКСТК $p_{\text{кое фкстк } 1}, p_{\text{кое фкстк } 2}, \dots, p_{\text{кое фкстк } 100}$, включающие 100 наблюдений для каждой категории патогенных маркеров [28].

На рисунке 3.20 представлены результаты посева на питательную среду Эндо, обработанного в активаторе бесподстилочного свиного навоза и проведённого последующего оксидазного теста для числа КОЕ ОКБ, КОЕ БОЕ, КОЕ ТТКБ, КОЕ ФКСТКТ [28].

а)

б)

в)

г)

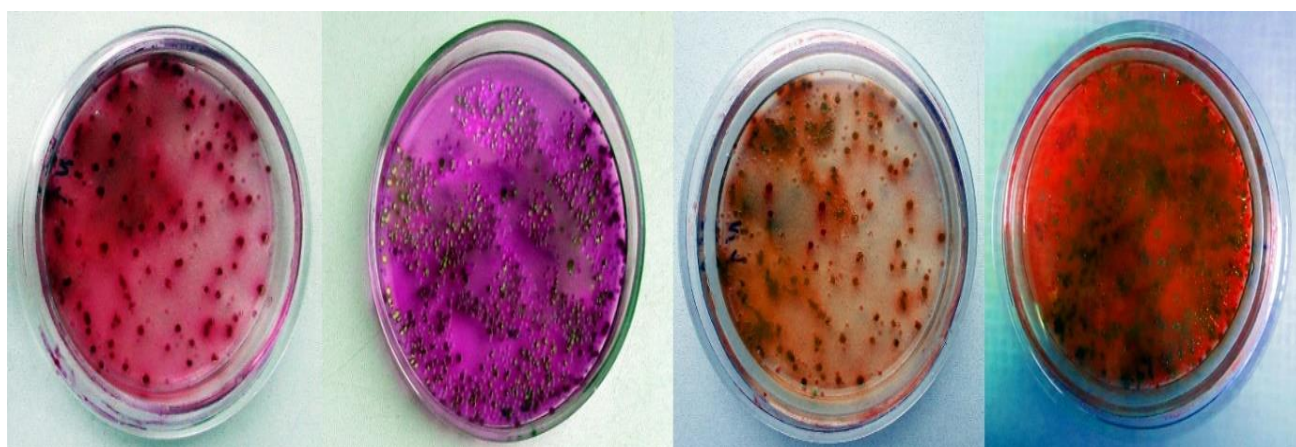


Рисунок 3.20 – Число КОЕ выросших на питательном агаре после воздействия в активаторе: а) ОКБ; б) БОЕ; в) ТТКБ; г) ФКСТКТ

В таблице А.10 приложения А представлены соответствующие статистические характеристики бесподстилочного навоза после воздействия в активаторе, а в таблице А.11 приведено их соответствие критерию согласия Пирсона, где p_{cui}^{cu} – середина интервала; m_i – теоретические частоты; m'_i – эмпирические частоты [28].

Исходя из закономерности (3.34) в таблице А.12 приложения А представлены соотношения расчётных и критических значений критерия Пирсона для патогенных маркеров свиного бесподстилочного навоза [28].

Как видно из анализа таблиц А.11-А.12 представленных в приложении А условие неравенства (3.35) выполняется для всех четырёх индикаторов. Используя (3.33) и (3.34) на рисунках 3.21-3.24 представим зависимость плотности вероятности в дифференциальной и интегральной форме для каждого из патогенных маркеров [28].

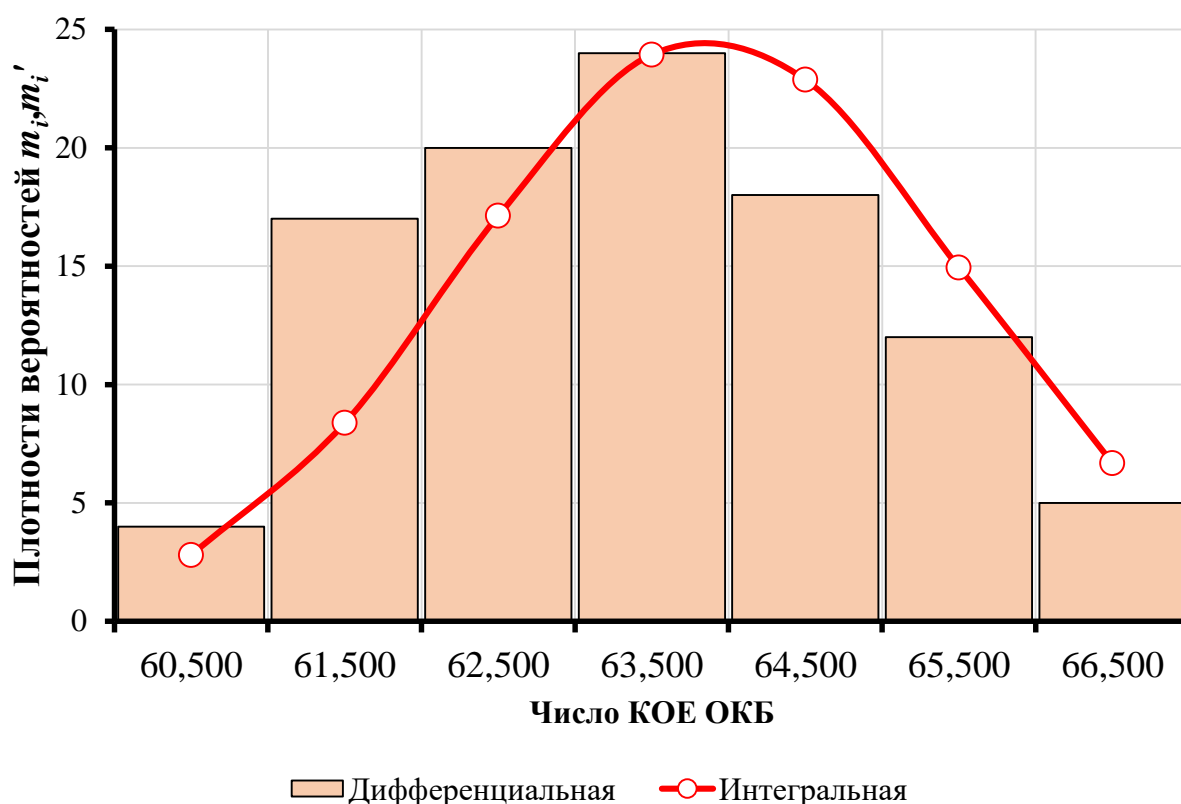


Рисунок 3.21 – Дифференциальная и интегральная зависимость распределения частоты числа КОЕ ОКБ после воздействия в активаторе

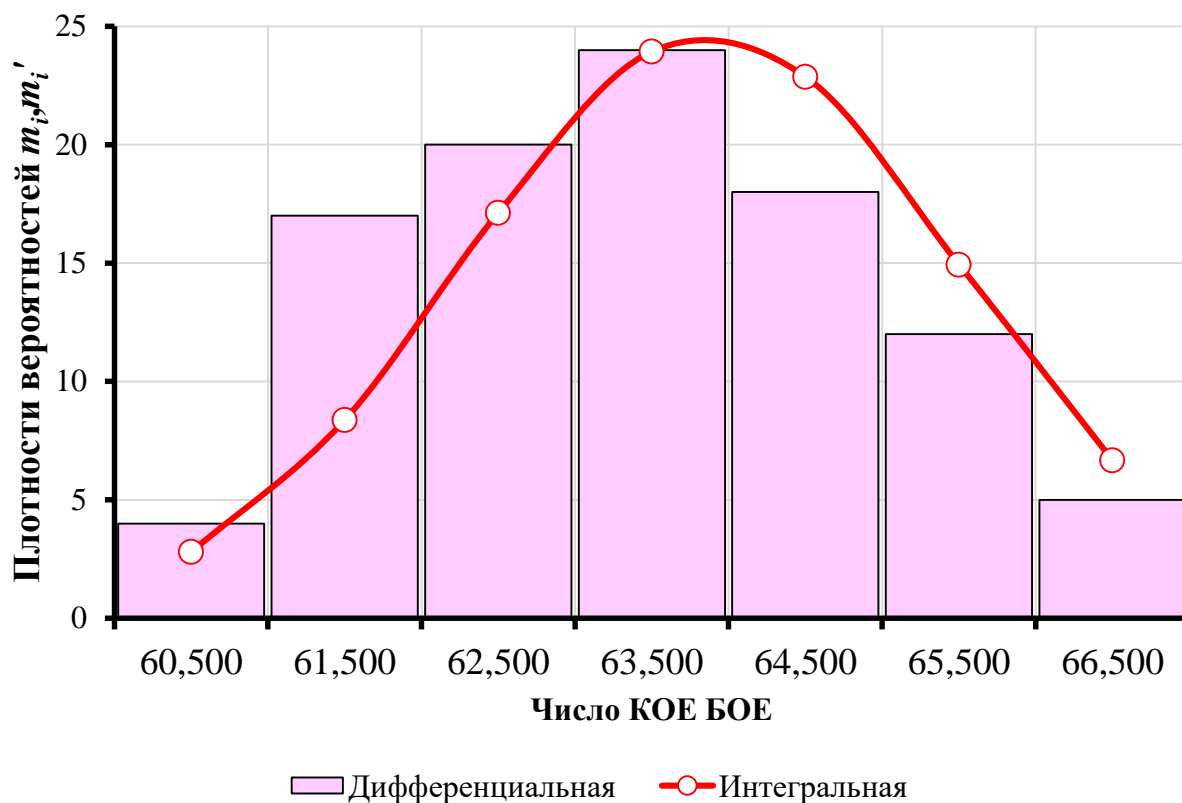


Рисунок 3.22 – Дифференциальная и интегральная зависимость распределения частоты числа КОЕ БОЕ после воздействия в активаторе

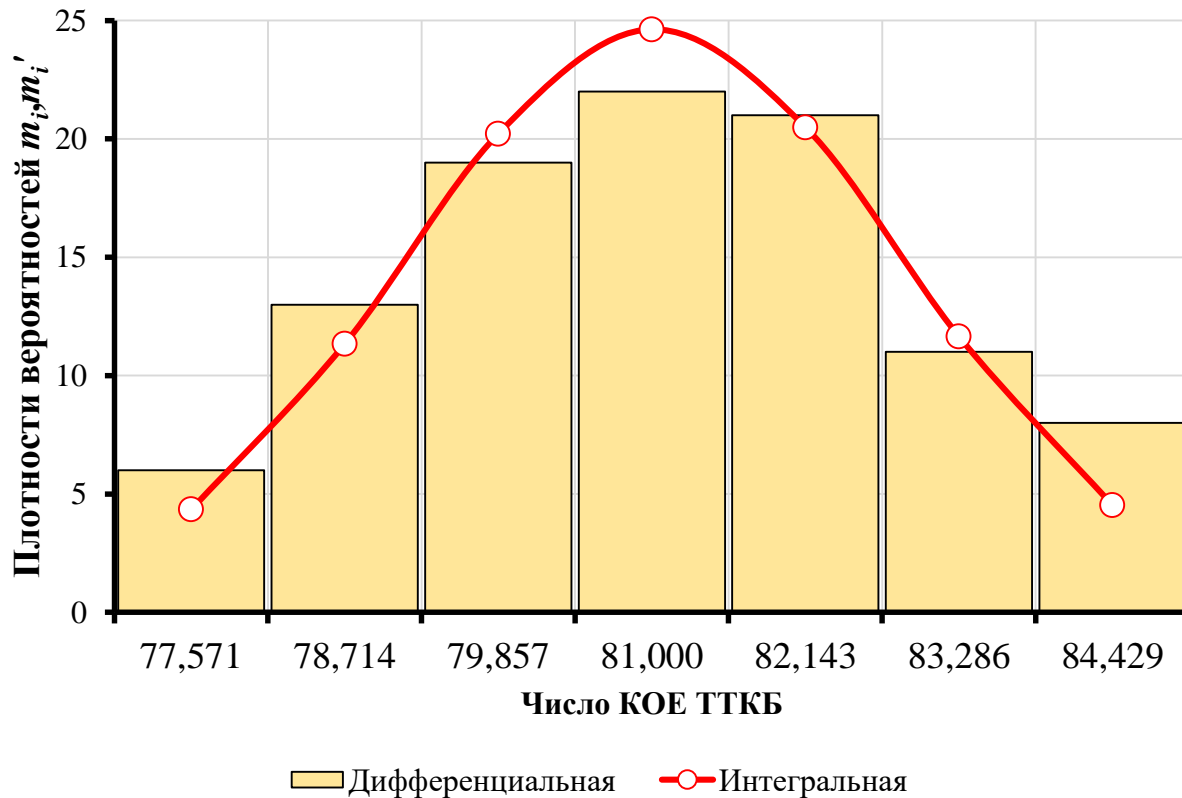


Рисунок 3.23 – Дифференциальная и интегральная зависимость распределения частоты числа КОЕ ТТКБ после воздействия в активаторе

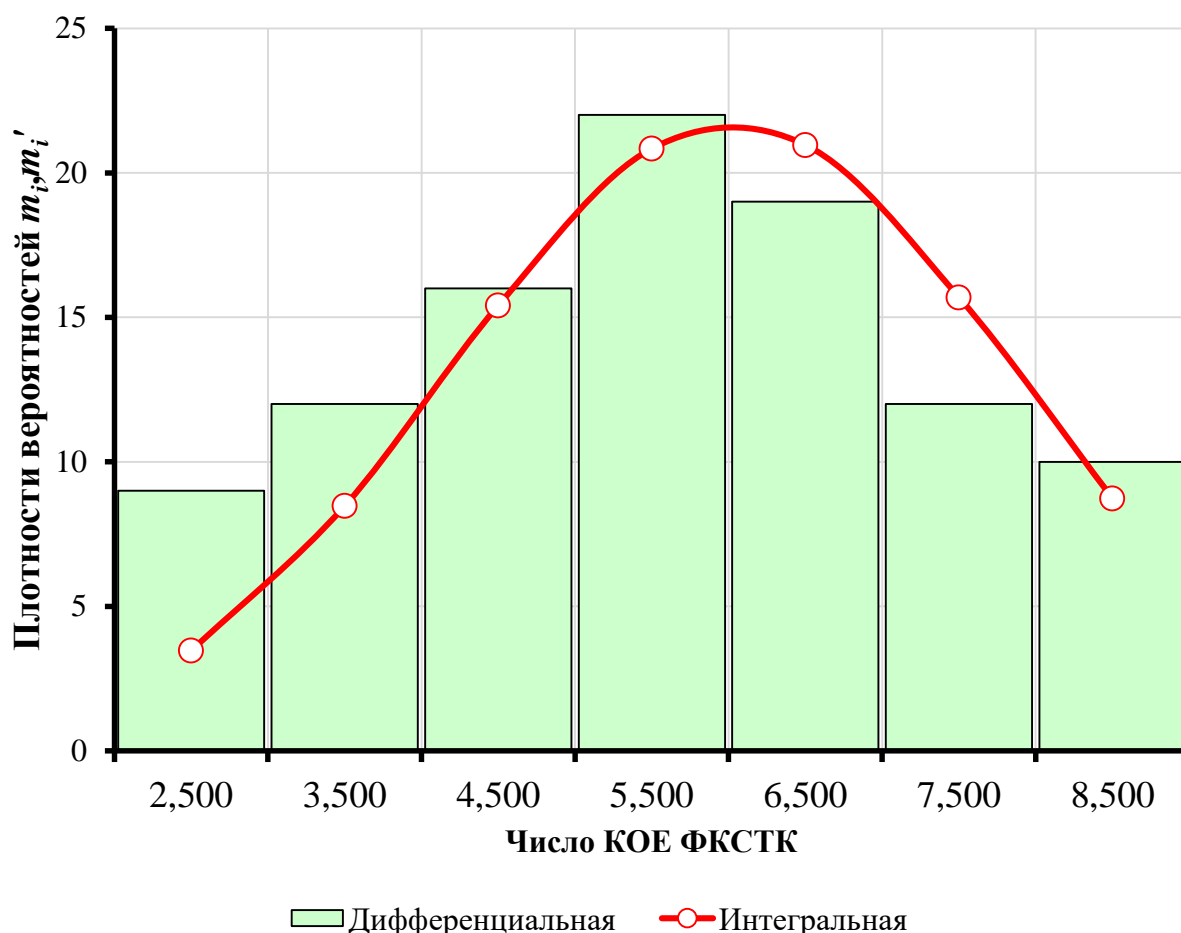


Рисунок 3.24 – Дифференциальная и интегральная зависимость распределения частоты числа КОЕ ФКСТК после воздействия в активаторе

Принятое критическое значение критерия Пирсона соответствовало $\chi^2_{кр} = 15,51$ при исследовании закона распределения плотности вероятности значений параметров, характеризующих качество обеззараживания бесподстилочного навоза. Так как во всех рассматриваемых случаях расчётные значения критерия Пирсона меньше критических, при уровне значимости $\alpha = 0,05$, то гипотезы о нормальном законе распределения плотности вероятности значений чисел колониеобразующих единиц патогенных биомаркеров после воздействия в активаторе принимались [28].

Убедившись в нормальном законе распределения плотностей вероятностей значений параметров, характеризующих надёжность эпидемиологического состояния бесподстилочного навоза после воздействия в активаторе обеззараживания, можно переходить к созданию статистических

математических моделей, представляющих исходные данные для решения оптимизационных задач экологизации процесса обеззараживания данного вида отходов [28].

После приведения основных этапов алгоритма математической теории планирования эксперимента применительно к данному экспериментальному исследованию рассмотрим частные способы его применения с частными случаями матриц планирования.

3.3.2. Методика оценки энергетической эффективности электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза

Известно [32, 45, 106, 114, 120, 123, 126, 127, 131, 137, 152], что одной из основных проблем эксплуатации электромеханических систем с энергетической точки зрения является обеспечение максимальной эффективности как условия сохранения минимального уровня ресурсозатрат при обеспечении максимальных качественных характеристик исполнительных механизмов. К данным системам также относится и электромагнитный активатор интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза. Процесс взаимодействия между данными категориями технических средств регламентируется понятием энергетической эффективности.

Энергетическая эффективность – комплекс мероприятий, связанных с оценкой, оптимизацией и прогнозированием поведения параметров технических средств, обеспечивающих максимизацию качественных показателей при минимизации энергетических затрат.

Первым этапом разработки методики исследования энергетической эффективности активатора обеззараживания бесподстилочного навоза являлось выявление факторов способных оказывать влияние на уровень удельных энергетических затрат. Поскольку исследуемая система является технологической, т.е. реализует операционное воздействие, направленное на обеззараживание бесподстилочного навоза, на основании анализа источников

и результатов предыдущих исследований доказано [32, 45, 106, 114, 120, 123, 126, 127, 131, 137, 152], что одним из ключевых параметров является удельная энергоёмкость, физический смысл которой можно свести к работе выполненной в единицу времени на единицу готовой продукции.

На основании анализа проведённого, а также результатов исследований [32, 45, 106, 114, 120, 123, 126, 127, 131, 137, 152], установлено, что существенное влияние на уровень энергетической эффективности и в частности на удельную энергоёмкость активатора обеззараживания бесподстилочного навоза способны оказывать следующие факторы:

- масса рабочих тел m , гр.;
- уровень магнитной индукции в рабочей зоне B , мТл;
- продолжительность воздействия t , с.

Из анализа работ [32, 120, 133, 136], известно, что существенное влияние на энергетическую эффективность активатора оказывают рабочие тела, в частности их геометрические характеристики, определяющие массогабаритные и электромагнитные свойства. Исследованию данного вопроса посвящено достаточно большое количество работ [32, 45, 106, 114, 120, 123, 126, 127, 131, 137, 152, 304], проанализировав которые был сделан вывод, что данные соотношения необходимо определять в каждом конкретном случае в зависимости от типа операционного воздействия. Конкретных формализованных рекомендаций, позволяющих определить геометрические и массогабаритные параметры рабочих тел, используемых в активаторе при обеззараживании бесподстилочного навоза и обеспечивающих максимальный энергетический эффект в настоящее время не найдено, соответственно, поиск данных закономерностей представляет интерес для науки и техники. Следует отметить, что аналогичным является и отсутствие исследований по формализации влияний уровня магнитной индукции в рабочей зоне индуктора активатора и продолжительностей воздействия при обеззараживании бесподстилочного навоза.

Обобщив результаты предыдущих исследований было проведено имитационное моделирование энергетических свойств индуктора активатора при его работе с жидкими средами. Подробно методология, методики и инструменты используемые в ходе моделирования описаны в работах [32, 120]. В результате имитационного моделирования, появилась возможность получить формализацию влияния выбранных факторов на энергетические характеристики индуктора активатора. Используемые при имитационном моделировании тела обладали следующими параметрами, стержни $R_{cm} = 2$ мм, $l_{cm} = 30$ мм, $R_{ш} = 3$ мм. В качестве материала была принята сталь 2013. В качестве ограничений были приняты диаметр рабочей зоны $D_{pz} = 140$ мм, число пар полюсов индуктора $p = 1$, напряжение питающей сети $U = 380$ В, циклическая частота колебаний электрического тока $f = 50$ Гц. На основании анализа результатов имитационного моделирования было установлено, что наиболее предпочтительным с точки энергетической эффективности используемой индуктора при обеззараживании бесподстилочного навоза является применение шаровых рабочих тел диаметром 6 мм. Поэтому при оценке достоверности результатов, полученных в ходе имитационного моделирования, было принято решение о проведении экспериментального исследования.

На основании проведённых анализов информационных источников, а также результатов предварительных исследований обоснованы области интереса данных факторов и диапазоны их варьирования представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Факторы и уровни их варьирования

№	Факторы	Обозн.	Нижн. – 1	Нулев. 0	Верхн. + 1	Δx_i	Δx_i нат.
1	Масса рабочих тел m , гр	x_1	600	1000	1400	400	528
2	Магнитная индукция B в мТл	x_2	40	60	80	20	26
3	Продолжительность воздействия t в с	x_3	4	8	12	4	5

Последовательность проведения экспериментального исследования энергетической эффективности активатора обеззараживания бесподстилочного навоза была следующей. В соответствии с выбранной областью научного интереса фактора, способного оказывать влияние на удельную энергоёмкость (см. таблицу 3.5) подготавливалась навеска рабочих тел шаровой формы согласно уровням варьирования и обоснованным ранее массогабаритным характеристикам. Далее данные навески загружались в рабочую зону индуктора активатора в соответствии с планом экспериментального исследования. Продолжительность воздействия определялась с помощью секундомера согласно уровням варьирования, представленным в таблице 3.5 и матрице плана эксперимента. Варьирование уровнем магнитной индукции в рабочей зоне активатора происходило с помощью автотрансформатора, изменяющего амплитуды токов и напряжений в фазных обмотках индуктора. Контроль уровня магнитной индукции в рабочей зоне индуктора активатора осуществлялся с помощью милитесламетра и методик, описанных в разделе 3.2.2. Измерение удельной энергоёмкости осуществлялось с помощью токоизмерительных клещей АСМ и специально разработанной токоизмерительной платы, подробно описанных в разделе 3.2.2.

Для повышения эффективности исследования было принято решение использовать математическую теорию планирования эксперимента, как способ получения наиболее достоверного результата формализации исследования при минимальном числе повторностей опытов. В качестве формализующей модели был принят полином (3.21). В качестве плана было принято решение использовать 3-х факторный план полнофакторного эксперимента Бокса-Бенкена, позволяющий максимально точно оценить влияние выбранных факторов x_1 , x_2 , x_3 на параметр назначения отклика. В таблице А.13 приложения А представлена матрица планирования 3-х факторного эксперимента Бокса-Бенкена.

После определения общих закономерностей и методик, позволяющих оценить влияние конструктивно-технологических параметров индуктора активатора на его энергетическую эффективность функционирования необходимо исследовать их влияние при реализации операционного воздействия при различных свойствах технологического материала.

3.3.3. Методика проведения экспериментального исследования по обеззараживанию бесподстилочного навоза

После определения факторов способных оказывать влияние на уровень энергетической эффективности функционирования индуктора активатора, их имитационного моделирования и формализации необходимо оценить их воздействие непосредственно при реализации операции обеззараживания.

Согласно исследованиям [18, 32, 114, 120, 123] индуктор активатора представляет собой электромеханическую систему, позволяющую интенсифицировать ряд тепло-массообменных процессов за счёт возникающих в рабочей зоне эффектов. Возникающие в процессе воздействия эффекты можно разделить на первичные и вторичные. К первичным можно отнести механическое, гомогенизирующее воздействие, к вторичным – кавитацию, гидроудар и др. [32, 114, 120, 123, 129]. Так же в зависимости от природы возникновения эффекты можно классифицировать на физические, химические, биологические и комбинированные. Как показал анализ источников, а также результаты исследований [18, 32, 114, 120, 123, 129] наиболее предпочтительным для реализации эффективного обеззараживания бесподстилочного навоза является реализации комбинированного системного воздействия. На основании выдвинутых требований был проведён анализ факторов способных оказывать влияние на эффективность операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе.

Установлено, что существенное влияние на энергетическую эффективность и качественные составляющие реализации операционного воздействия в активаторе обеззараживания оказывают:

- наличие химического реагента, его тип и концентрация в рабочей зоне;
- масса рабочих ферромагнитных тел, их материал, геометрия, массогабаритные характеристики и уровень заполненности ими рабочей зоны;
- уровень магнитной индукции в рабочей зоне;
- физико-реологические свойства обрабатываемого технологического материала, в данном случае влажность бесподстилочного навоза;
- продолжительность совместного воздействия.

Поскольку в ходе имитационного моделирования установлено, что существенным фактором, оказывающим влияние на качественные и энергетические характеристики операционного воздействия в активаторе обеззараживания, является тип геометрии рабочих тел, было принято решение провести исследование с шаровыми и стержневыми телами.

Поскольку эффективное и экологически безопасное использование обеззараженного бесподстилочного навоза требует наличия пролонгированного бактерицидного эффекта после воздействия, для этого необходимо рассмотреть возможные варианты использования химических реагентов, а также методики варьирования ими.

Согласно [19, 20, 28, 31, 295] установлено, что наиболее привлекательными с точки зрения лизисных свойств, санитарно-эпидемиологического эффекта, а также экологической безопасности при обеззараживании бесподстилочного навоза являются следующие реагенты: хлорная известь $Ca(Cl)OCl$, гашеная известь $Ca(OH)_2$, гипохлорит натрия $NaOCl$ и др. Хлорная известь относится к хлорсодержащим реагентам, а следовательно, обладает высокой окислительной способностью, которая заключается во взаимодействии гипохлорит ионов с веществами, входящими в состав протоплазмы клеток микроорганизмов биоценоза, что приводит их к разрушению. Гашеная известь обладает меньшей окислительной способностью относительно хлорной

известии, однако, тоже способна активировать жизнедеятельность микроорганизмов биоценоза. Использование $Ca(Cl)OCl$ и $Ca(OH)_2$ может быть обосновано их высокой окислительной способностью и способностью обеспечить устойчивое пролонгированное действие.

Далее рассмотрим общие закономерности методики получения растворов химического реагента с заданной концентрацией.

Рассмотрим методику приготовления основного раствора. Так для обеззараживания бесподстилочного навоза используются хлорная $Ca(Cl)OCl$ и гашеная $Ca(OH)_2$ в форме сухого порошка, для упрощения их последующего дозирования необходимо перевести их в жидкую форму. Основным называют разбавленный водой 10% раствор. Основной раствор готовится из реагента, содержащего 25% активного хлора (хлорная $Ca(Cl)OCl$ и гашеная $Ca(OH)_2$ известии). В зависимости от концентрации необходимо учесть условия отстаивания компонентов между их центрифугированием. Максимальный срок годности полученного раствора составляет 10 суток.

Концентрация – величина, характеризующая количественный состав раствора. Концентрацией растворённого вещества (не раствора) называют отношение количества растворённого вещества или его массы к объёму раствора (моль/л, г/л), то есть это отношение неоднородных величин. Массовая доля определялась как:

$$\omega = \frac{m_1}{m} \cdot 100\% , \quad (3.38)$$

где m_1 – масса растворённого вещества, гр;

m – масса растворителя, гр.

Массовое процентное содержание компонента, $m \%$

$$m = m_{p-pa} - m_1 , \quad (3.39)$$

где m_{p-pa} – общая масса растворителя, гр;

m_1 – масса растворённого вещества, гр.

Рассмотрим методику приготовления рабочего раствора. Рабочие растворы готовятся непосредственно перед использованием и подачей в

дозатор жидких сред перед активатором, в зависимости от влажности бесподстилочного навоза, агроклиматических условий используют концентрации от 1 до 5 %, получаемые путём добавления воды к в требуемой пропорции к основному раствору. Вычисление концентрации: для приготовления 50 мл. 7% рабочего раствора необходимо добавить 3,5 мл. основного раствора к 46,5 гр. растворителя. Для приготовления 50 мл. 5% рабочего раствора необходимо добавить 2,5 мл. основного раствора к 47,5 мл. растворителя.

Методики приготовления основных и рабочих растворов аналогичны и для других реагентов, например, гипохлорита натрия $NaOCl$ используемого в ходе данного экспериментального исследования. Дозирование реагента осуществлялось с помощью дозатора жидких сред непосредственно в бесподстилочный навоз перед его подачей в рабочую зону активатора обеззараживания.

Использование химических реагентов в сочетании с физическим воздействием реализуемым активатором обеззараживания обуславливается повышением уровня экологической безопасности операционного воздействия, при котором стоит задача снижения концентрации химического реагента минимум в 10 раз относительно традиционных способов. Под традиционным способом понимается обеззараживание бесподстилочного навоза исключительно химическим реагентом, что приводит к высокому уровню экологической нагрузки за счёт большого числа образованных побочных продуктов.

На основании анализа источников и результатов предварительных исследований [129, 130, 134, 136], были сформулированы и представлены в таблицах 3.7 (в случае со стержневыми рабочими телами) и 3.8 (в случае с шаровыми рабочими телами) области научного интереса и диапазоны варьирования факторов, оказывающих влияние на обеззараживание бесподстилочного навоза в активаторе. Методики установки и варьирования

выбранными факторами подробно описаны в разделе 3.3.1 а также в работах [4, 7, 35, 44, 77, 89, 203].

Таблица 3.7 – Факторы и уровни их варьирования

№	Факторы	Обозн.	Нижн. – 1	Нулев. 0	Верхн. + 1	Δx_i	Δx_i нат.
1	Концентрация активного хлора ω в мг/л	x_1	10	13	16	3	5
2	Масса стержней $m_{ст}$, гр	x_2	600	1000	1400	400	708
3	Магнитная индукция B в мТл	x_3	40	60	80	20	35
4	Влажность бесподстилочного навоза W , %	x_4	88	93	98	5	9
5	Продолжительность воздействия t в с	x_5	6	9	12	3	5

Таблица 3.8 – Факторы и уровни их варьирования

№	Факторы	Обозн.	Нижн. – 1	Нулев. 0	Верхн. + 1	Δx_i	Δx_i нат.
1	Концентрация активного хлора ω в мг/л	x_1	10	13	16	3	5
2	Масса шаров $m_{ш}$, гр	x_2	600	1000	1400	400	708
3	Магнитная индукция B в мТл	x_3	40	60	80	20	35
4	Влажность бесподстилочного навоза W , %	x_4	88	93	98	5	9
5	Продолжительность воздействия t в с	x_5	6	9	12	3	5

Для повышения эффективности и достоверности данного экспериментального исследования также использовалась математическая теория планирования эксперимента. В качестве плана был выбран d -оптимальный план Хартли 5 Na_5 со звёздными точками, являющийся наиболее предпочтительным для последующего решения оптимизационной задачи на основе полученных при обработке статистических математических моделях.

Также выбранный план обеспечивает максимальную достоверность выбранных откликов, характеризующих параметры назначения, определяющие общее качество операционного воздействия, в данном случае с энергетической и санитарно-эпидемиологической точек зрения.

В таблице А.14 в приложении А представлена матрица планирования 5-ти факторного эксперимента Хартли 5 в кодированных переменных со звёздными точками. В качестве условий всех проводимых экспериментальных исследований были приняты промышленная частота циклических колебаний электрического тока в питающей сети индуктора, материал рабочих тел, агроклиматические условия формирования исходного технологического материала в виде бесподстилочного навоза. После описания методик экспериментальных исследований, областей варьирования факторами, параметров, характеризующих качество, а также ограничений перейдём к анализу полученных результатов.

3.4. Выводы по главе

1. Разработаны методики экспериментальных исследований, изготовлены необходимые элементы приборно-метрологического обеспечения и составлены рекомендации по их использованию.

2. Определены плотности вероятностей распределений параметров, характеризующих санитарно-эпидемиологические свойства, в частности числа КОЕ ОКБ (при $\chi_{\text{расч}} = 4,47$), КОЕ БОЕ (при $\chi_{\text{расч}} = 7,73$), КОЕ ТТКФ (при $\chi_{\text{расч}} = 2,61$), КОЕ ФКСТК (при $\chi_{\text{расч}} = 5,99$) относительно критического значения критерия Пирсона $\chi_{\text{кр}} = 15,51$, что соответственно подтверждает гипотезу о нормальном законе распределения и позволяет использовать применительно к исследованию определённые методы статистической обработки данных, например, математическую теорию планирования эксперимента, аналогичным образом подтверждена гипотеза о нормальном законе распределения энергетических свойств бесподстилочного навоза.

3. Обоснован выбор варьируемых факторов, области научного интереса, условия проведения эксперимента, измеряемые параметры и планы экспериментальных исследований в зависимости от рассматриваемых объектов исследований.

4. Проведены исследования влияния параметров электромагнитного активатора обеззараживания жидкой фракции бесподстилочного навоза в зависимости от его физико-реологических свойств на эффективность его обеззараживания.

5. Доказана эффективность применения электромагнитного активатора по средствам достижения санитарно-эпидемиологического и энергетического эффектов, соответствующих нормативным документам при обеззараживании бесподстилочного навоза.

4. Результаты экспериментальных исследований и их анализ

4.1. Постановка задачи

Согласно методикам, разработанным в главе 3 установлено, что оценка эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза является сложной многофакторной задачей, требующей обоснования ряда конструктивно-технологических параметров систем его реализующих. Одной из задач диссертационного исследования являлось проведение экспериментальных исследований согласно разработанным методикам с последующим обоснованием эффективных конструктивно-технологических параметров способа обеззараживания бесподстилочного навоза. На основании этого были сформулированы следующие частные задачи, решение которых обеспечивает достижение поставленных в разделе 1.6 глобальных задач 3 и 4:

1. Экспериментально и имитационными методами оценить энергетическую эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от типа вихревого слоя.

2. Формализовать результаты экспериментального и имитационного моделирования энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от типа вихревого слоя.

3. Разработать математические модели формализации обеззараживания бесподстилочного навоза в стержневом вихревом слое на основании результатов проведённых экспериментальных исследований.

4. Разработать математические модели формализации обеззараживания бесподстилочного навоза в шаровом вихревом слое на основании результатов проведённых экспериментальных исследований.

5. Предложить инструменты обоснования параметров энергоэффективной интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым и шаровым вихревым слоем на основании разработанных математических моделей с использованием методов оптимизации.

6. Обосновать параметры энергоэффективной интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым или шаровым вихревым слоем.

4.2. Анализ результатов оценки энергетической эффективности электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза

Согласно методике, представленной в разделе 3.3, а также результатам экспериментальных исследований [18, 20, 31, 32, 120, 125-127, 131, 132, 135, 137, 152, 304], установлены факторы способные оказывать влияние на энергетическую эффективность электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза.

Прежде чем переходить к экспериментальным исследованиям энергетической эффективности было принято решение провести их имитационное моделирование. В качестве перспективных способов исследования данного вопроса являются имитационное моделирование, а также экспериментальное исследование электрических и механических характеристик. Проанализировав информационные источники [18, 20, 31, 32, 120, 125-127, 131, 132, 135, 137, 152, 304], было принято решение провести совместное исследование энергетических характеристик электромагнитного активатора обеззараживания бесподстилочного навоза с помощью моделирования и экспериментально.

В качестве инструмента имитационного моделирования энергетических характеристик был выбран программный пакет Comsol Multiphysics, преимуществом которого является возможность сочетать в рамках единой модели различные физические явления и оценивать взаимодействие между ними, с целью реализации метода конечных элементов.

Экспериментальные исследования оценки достоверности результатов имитационного моделирования проводились с использованием математической теории планирования эксперимента на основании методик и

планов, подробно описанных в главе 3, а также в работах [18, 20, 31, 32, 120, 125-127, 131, 132, 135-137, 152, 304].

Моделирование электромагнитных характеристик катушек индуктора осуществлялось методом конечных элементов, при котором к индуктору электрического аппарата с несогласованной дискретно-подвижной частью была применена обобщённая модель электромеханического преобразователя. Суть модели заключается в замене n -фазных и n -полюсных обмоток двухфазной двухполюсной, как для подвижной несогласованной части, так и для неподвижной. Преимуществами данного способа является использование свойства ортогонального расположения обмоток неподвижной и подвижной частей, позволяющего создавать идентичный вращающий электромагнитный момент вне зависимости от сложности геометрии, а также получать основные виды вращающегося магнитного потока, воспроизводимого в устройстве.

Согласно [18, 20, 31, 32, 120, 125-127, 131, 132, 135-137, 152, 304], установлено, что наиболее существенными параметрами, оказывающими влияние на электромагнитные характеристики индуктора вихревого электрического аппаратов с несогласованной подвижной частью, являются тип геометрии рабочих тел: стержни, шары, дискретно-подвижные рабочие органы, а также уровень заполненности ими технологического пространства.

Расчёт уровня заполненности технологической зоны рабочими телами в случае их стержневого исполнения производился по следующей формуле [126]:

$$\rho_{zn} = \frac{V_{pm} \cdot 100}{V_{pz}} = \frac{(\pi \cdot l_{cm} \cdot R_{cm}^2) \cdot 100}{\pi \cdot h_{pz} \cdot R_{pz}^2}, \quad (4.1)$$

где V_{pm} – объём рабочих тел, мм³;

V_{pz} – объём рабочей зоны, мм³;

l_{cm} – длина стержня, мм;

R_{cm} – радиус стержня, мм;

h_{pz} – длина рабочей, мм;

R_{pz} – радиус рабочей зоны, мм.

Расчёт уровня заполненности технологической зоны рабочими телами в случае их шарового исполнения производился по следующей формуле:

$$\rho_{zn} = \frac{V_{pm} \cdot 100}{V_{pz}} = \frac{\left(\frac{4}{3}\pi \cdot R_{шара}^3\right) \cdot 100}{\pi \cdot h_{pz} \cdot R_{pz}^2}, \quad (4.2)$$

где $R_{шара}$ – радиус шара, мм.

Используемые в ходе имитационного моделирования рабочие тела обладали следующими параметрами, стержни $R_{ст} = 2$ мм, $l_{ст} = 30$ мм, $R_{ш} = 3$ мм. В качестве материала была принята сталь 2013 из библиотеки программного продукта Comsol Multiphysics. В качестве ограничений были приняты диаметр рабочей зоны $D_{pz} = 140$ мм, число пар полюсов индуктора $p = 1$, напряжение питающей сети $U = 380$ В, циклическая частота колебаний электрического тока $f = 50$ Гц [7, 126].

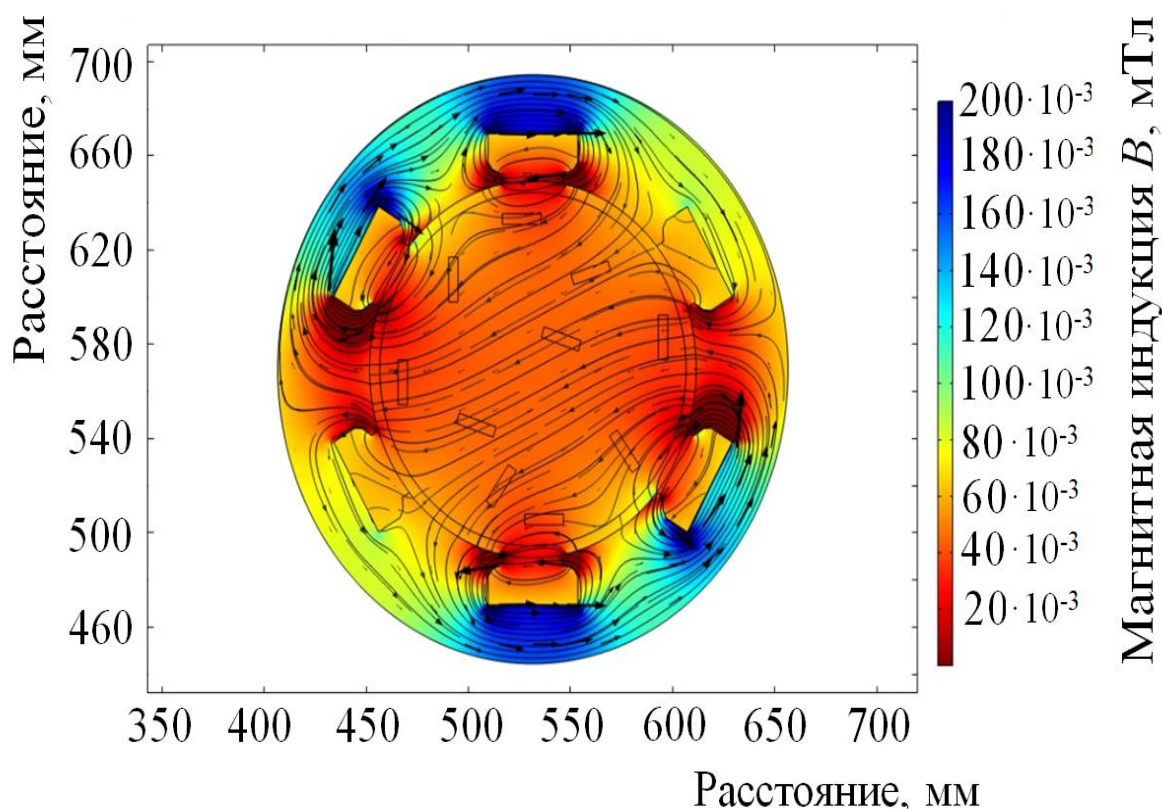


Рисунок 4.1 – Распределение магнитного потока в индукторе электрического вихревого аппарата при минимальном уровне заполненности технологической зоны стержневыми рабочими телами

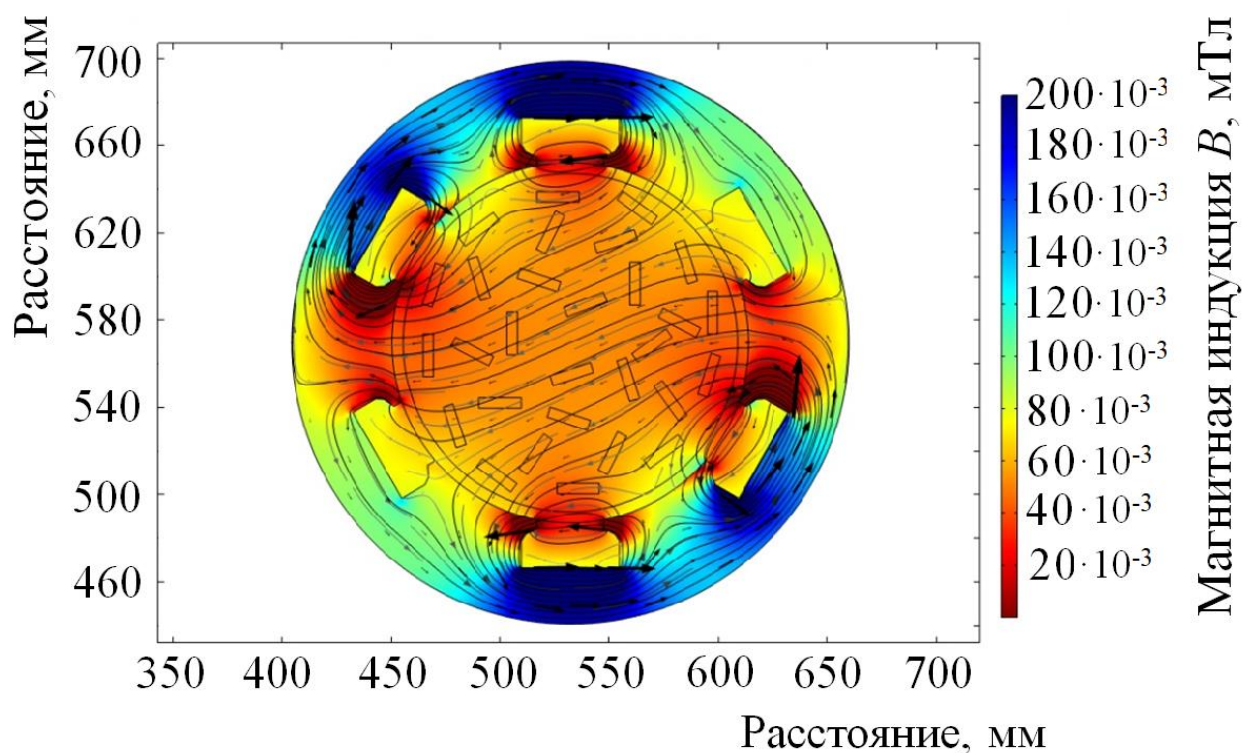


Рисунок 4.2 – Распределение магнитного потока в индукторе электрического вихревого аппарата при максимальном уровне заполненности технологической зоны стержневыми рабочими телами

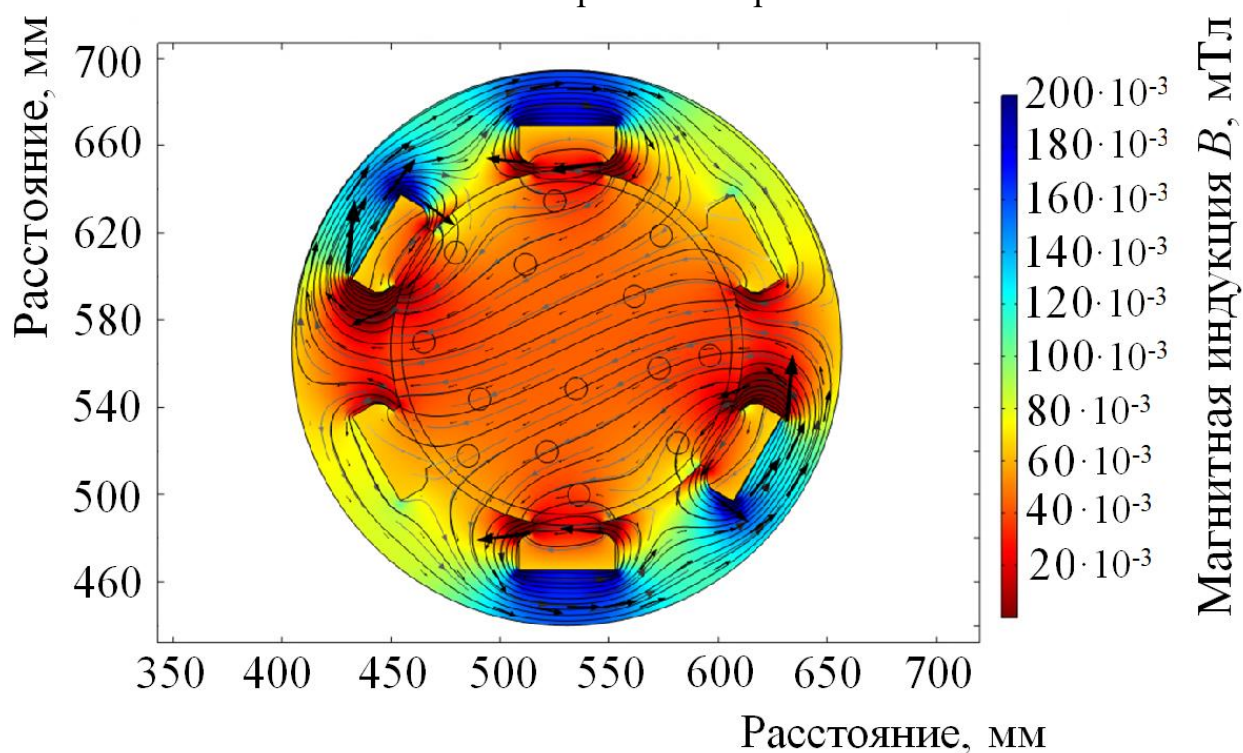


Рисунок 4.3 – Распределение магнитного потока в индукторе электрического вихревого аппарата при минимальном уровне заполненности технологической зоны шаровыми рабочими телами

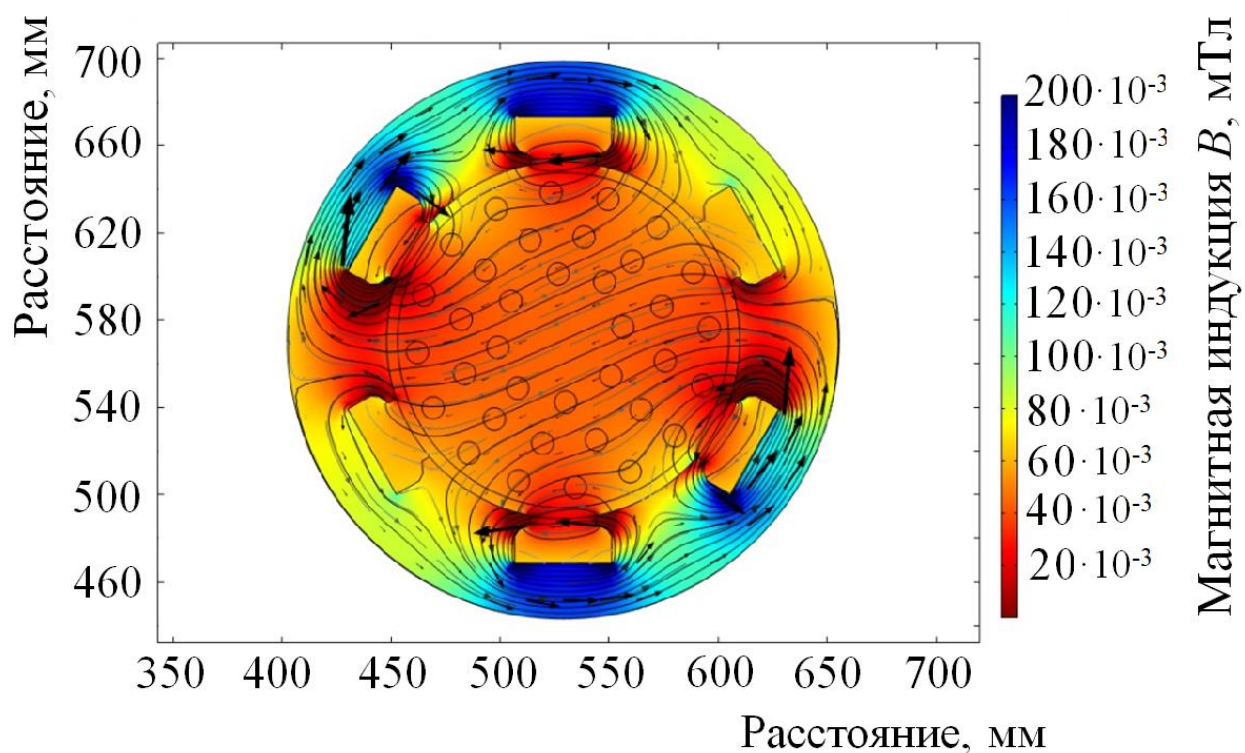


Рисунок 4.4 – Распределение магнитного потока в индукторе электрического вихревого аппарата при максимальном уровне заполненности технологической зоны шаровыми рабочими телами

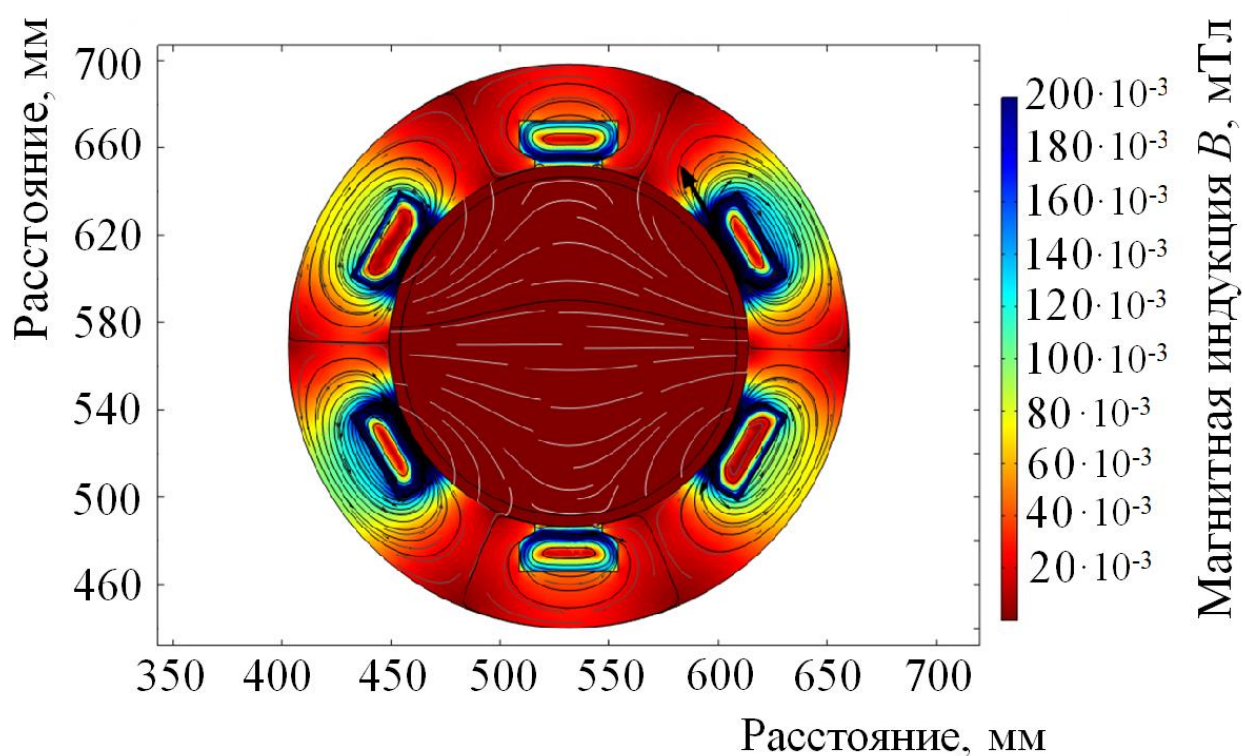


Рисунок 4.5 – Распределение магнитного потока в индукторе электрического вихревого аппарата без рабочих тел в технологической зоне

Анализ результатов моделирования представленных на рисунках 4.1...4.5 позволил сделать следующие выводы:

1. Распределение магнитного потока, оцениваемое с помощью вектора магнитной индукции в центральной точке технологической зоны (530 мм по горизонтали и 570 мм по вертикали) отличается в зависимости от типа исполнения геометрии рабочих тел.

2. Выбранные координаты сравнения центральной точки технологической зоны объясняются наибольшим сопротивлением на данном участке. При минимальном уровне заполненности технологической зоны стержневыми рабочими телами уровень магнитной индукции составляет $B \approx 38...40$ мТл, при максимальном $B \approx 54...57$ мТл, тогда как при минимальном уровне заполненности технологической зоны шаровыми рабочими телами уровень магнитной индукции составляет $B \approx 50$ мТл, при максимальном $B \approx 68...72$ мТл, без рабочих тел не более $B \approx 15...20$ мТл.

3. Объяснить данные расхождения можно с помощью различных массо-инерционных характеристик рабочих тел.

На основании изложенного можно сделать вывод, что с энергетической точки зрения наиболее предпочтительным является использование шаровых рабочих тел, однако в зависимости от области применения и требований, предъявляемых к качеству, конечного продукта необходимо оптимизировать параметры рабочих тел в каждом конкретном случае.

Используя закономерности, полученные в ходе имитационного моделирования в среде Comsol Multiphysics, перейдём к экспериментальной оценке достоверности полученных результатов согласно методикам, представленным в разделе 3.3.

В таблице Б.1 приложения Б представлена матрица планирования Бокса-Бенкена экспериментального исследования оценки энергетических характеристик индуктора в натуральных переменных.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов на параметр удельной энергоёмкости,

характеризующей уровень энергетической эффективности активатора формализованы с помощью математической модели, представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах в натуральных переменных, ограничения для которой в виде диапазонов вариации входных параметров представлены в таблице 3.8:

$$N_{уд} = 6,75 - 0,21m_{ш} + 1,21B + 1,03t - 0,65m_{ш}^2 + 0,16t^2. \quad (4.3)$$

Графическая интерпретация результатов исследования в виде математической модели (4.3), связывающей влияние варьируемых факторов на параметр удельной энергоёмкости активатора при формировании стержневого вихревого слоя представлена на рисунках 4.6...4.7.

На рисунке 4.6 представлена графическая интерпретация влияния уровня магнитной индукции в технологической зоне индуктора активатора и массы рабочих тел, в данном случае шаровой формы на уровень удельной энергоёмкости активатора и энергетических характеристик необходимых для реализации операционного воздействия.

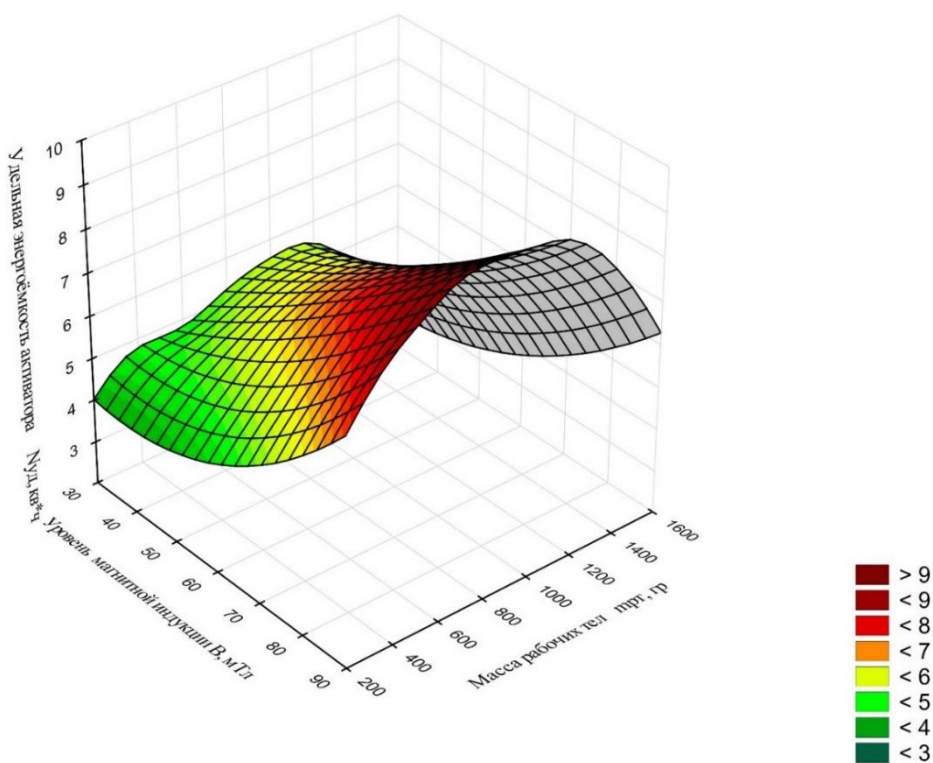


Рисунок 4.6 – Влияние уровня магнитной индукции и массы рабочих тел на удельную энергоёмкость активатора при оценке его энергетической эффективности

На рисунке 4.7 представлена графическая интерпретация влияния уровня магнитной индукции в технологической зоне индуктора активатора и продолжительности на уровень удельной энергоёмкости и энергетических характеристик формируемого системой вихревого слоя необходимого для реализации операционного воздействия.

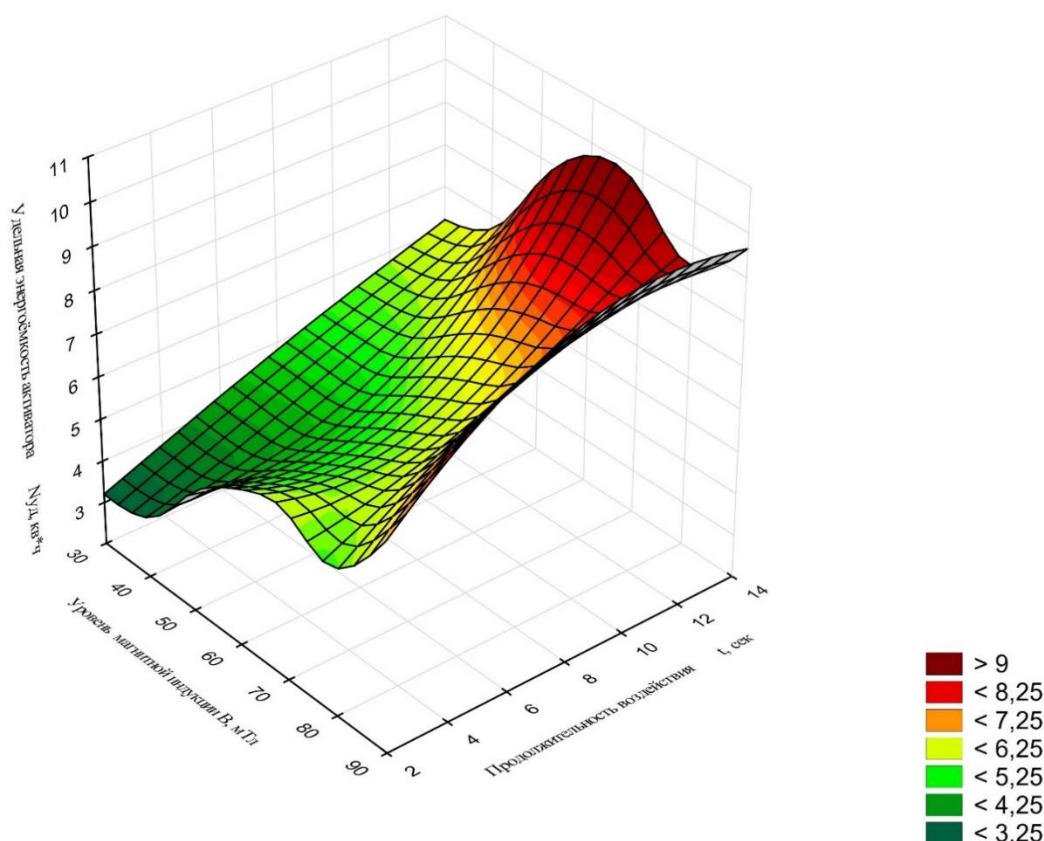


Рисунок 4.7 – Влияние уровня магнитной индукции и продолжительности воздействия (времени работы) на удельную энергоёмкость активатора при оценке его энергетической эффективности

Анализ зависимости, представленной на рисунке 4.6 показал, что уровень магнитной индукции в технологической зоне индуктора при изменяющейся массе вихревого слоя из рабочих тел шаровой формы оказывает нелинейное влияние на уровень удельной энергоёмкости. С увеличением массы шаров с 200 гр. до 600 гр. наблюдается рост удельной энергоёмкости, тогда как в диапазоне от 1 000 гр. до 1 400 гр. наблюдается снижение удельной энергоёмкости. Следует отметить, что данное исследование проводилось исключительно на электромагнитной системе индуктора без реализации операционного воздействия.

Анализ зависимости, представленной на рисунке 4.7 показал, что уровень магнитной индукции в технологической зоне индуктора при изменяющейся продолжительности (времени работы индуктора) также оказывает нелинейное влияние на уровень удельной энергоёмкости. При этом установлено, что продолжительность воздействия оказывает прямо пропорциональное влияние на уровень удельной энергоёмкости системы. Отметим, что данное исследование также проводилось исключительно на электромагнитной системе индуктора без реализации операционного воздействия.

Согласно [18, 20, 31, 32, 120, 125-127, 131, 132, 135, 137, 152, 304], известно, что существенным параметром, определяющим энергетическую эффективность электромагнитных систем, в частности индуктора активатора вихревого слоя, является коэффициент мощности. Физический смысл коэффициента мощности можно свести к отношению энергии совершившей необратимое преобразование из одной формы в другую к полной энергии, затраченной на реализацию того или иного операционного воздействия. С этой целью было проведено экспериментальное исследование по определению влияния коэффициента мощности на энергетические характеристики индуктора активатора, методика проведения которого подробно описана в работах [120, 126]. Ниже рассмотрим основные результаты данного исследования.

После определения оценок коэффициентов, определяющих уровень влияния исследуемых факторов, а именно массы шаровых рабочих тел варьируемой в диапазоне от 0 до 1 400 гр. на параметр $\cos \varphi$, определении их статистических характеристик, определяющих адекватность полученных зависимостей уравнения приняли вид [126]:

– для зависимости $\cos \varphi$ от массы ферромагнитных рабочих тел в индукторе:

$$\cos \varphi = -3E - 0,8 \cdot m^2 + 3E - 0,5 \cdot m + 0,2627. \quad (4.4)$$

Графическая интерпретация зависимости (4.4) представлена на рисунке 4.8, где в соответствии с условиями имитационного моделирования масса

шаровых рабочих тел в технологической зоне представлена в виде её заполненности, согласно модели (4.2).

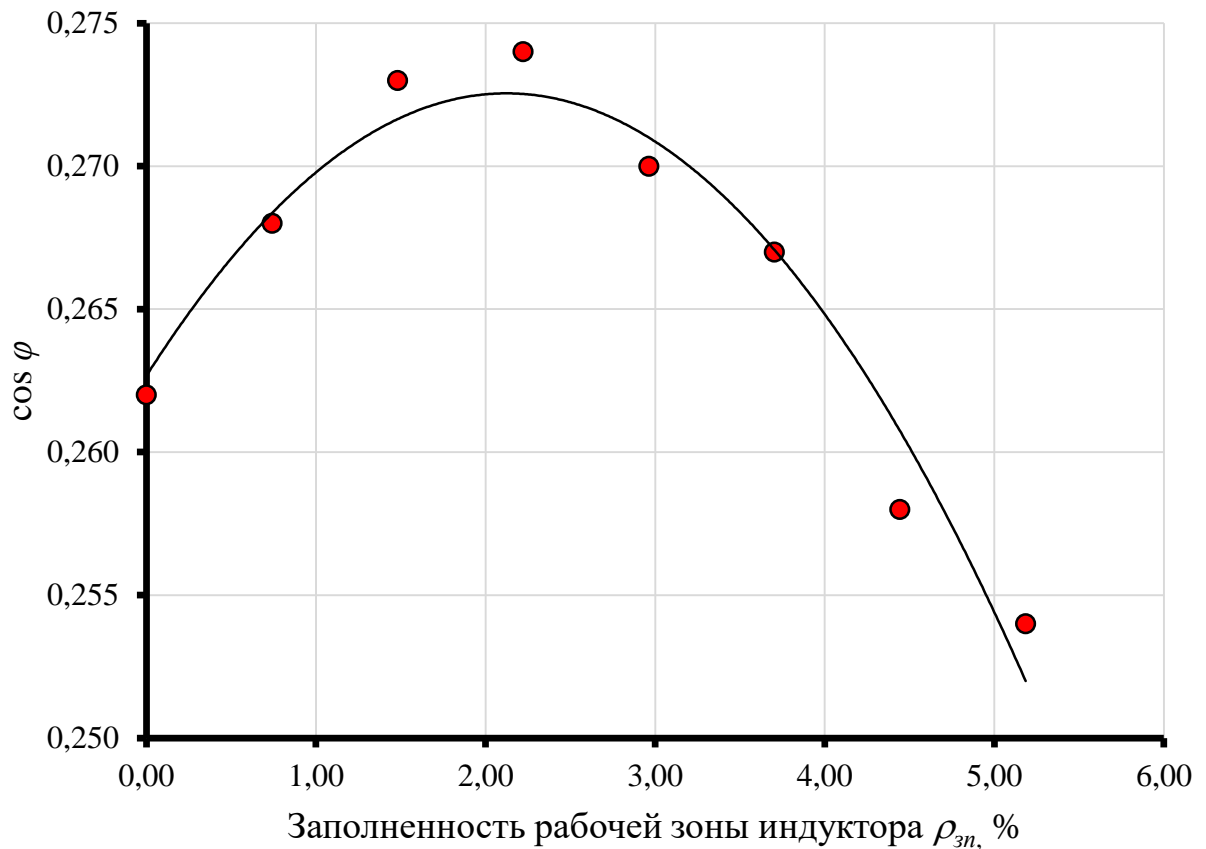


Рисунок 4.8 – Зависимость $\cos \varphi$ от заполненности рабочей зоны ферромагнитными телами шаровой формы

Анализ модели (4.4) и рисунка 4.8 позволил сделать следующие выводы [126]:

- $\cos \varphi$ оказывает существенное влияние на коэффициент мощности индуктора;
- масса стержней и уровень заполненности ими рабочей зоны существенным образом влияют на $\cos \varphi$, наибольшее значение которого наблюдается при $m = 600$ г и $\rho_{зн} = 2,5 \%$;
- полученная математическая модель (4.4) позволяет прогнозировать поведение $\cos \varphi$ в рамках исследуемой области с коэффициентом детерминации $r^2 = 0,95$, а также могут выступить в роли целевой функции при решении оптимизационной задачи;
- увеличение $\cos \varphi$ и рост коэффициента мощности индуктора возможны

за счёт оптимизации параметров рабочих тел, уровня заполненности ими рабочей зоны индуктора, а также путём параллельной установки дополнительных ёмкостных элементов, взаимно компенсирующих индуктивно-реактивную составляющую устройств каждой из фаз питания, ёмкость которых может быть определена по следующей формуле

$$C = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p dt}{\omega \cdot U^2} (tg \varphi_1 - tg \varphi_2). \quad (4.5)$$

где U – действующее значение напряжения питающего цепь индуктора, В;
 $tg \varphi_1$ – начальный тангенс угла сдвига фаз между током и напряжением;
 $tg \varphi_2$ – конечный тангенс угла сдвига фаз между током и напряжением.

На основании результатов исследований [18-20, 28, 31, 126, 295, 304] и анализа информационных источников [18, 20, 31, 32, 120, 125-127, 131, 132, 135, 137, 152, 304], что подбор оптимальных сочетаний входных параметров в данном случае – массы шаров, уровня магнитной индукции и продолжительности воздействия необходимо осуществлять путём решения оптимизационной задачи целевой функции, ограничениями в которой будут выступать математические модели, связывающие конструктивно технологические факторы системы с параметрами, определяющими качество реализации операционного воздействия. Соответственно для оценки достоверности полученных результатов перейдём к экспериментальному исследованию интенсификации обеззараживания в активаторе.

4.3. Анализ результатов обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе стержневым вихревым слоем

Результаты экспериментального исследования операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе стержневым вихревым слоем согласно методике, представленной в главе 3 представлены в таблице 3.7.

Рассмотрим подробно результаты влияния интервалов варьирования выбранных факторов на параметры, характеризующие качество реализации

воздействия. Под качеством реализации операционного воздействия в данном исследовании принято соотношение максимального допустимого уровня санитарно-эпидемиологических свойств при минимальном уровне экологической нагрузки и минимальных затратах электроэнергии.

Согласно нормативным документам МУ 2.1.5.800-99, ГОСТ Р 53117-2008, методикам, описанным в главе 3, а также результатам исследований [18-21, 31, 32, 120, 125-127, 131, 132, 135-137, 152, 280, 304], наиболее представительными параметрами, позволяющими оценить уровень санитарно-эпидемиологического состояния и экологической нагрузки, создаваемой бесподстилочным навозом являются: число колониеобразующих единиц (КОЕ), бляшкообразующих единиц (БОЕ), общих колиформных бактерий (ОКБ), термотолерантных колиформных бактерий (ТТКБ). При этом параметром, позволяющим оценить уровень энергетических затрат электроэнергии является удельная энергоёмкость активатора, методика измерения и оценки которой представлены в главе 3, а также подробно описана в исследованиях [18-21, 31, 32, 120, 125-127, 131, 132, 135-137, 152, 280, 304].

В таблице Б.2 приложения Б представлена матрица планирования *D*-оптимального плана Хартли 5 в натуральных переменных с зафиксированными в ходе экспериментального исследования откликами.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе на параметр числа КОЕ БОЕ формализованы с помощью математической модели, представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах, в качестве ограничений для которой выступили диапазоны вариации параметров, представленных в таблице 3.7:

– число КОЕ БОЕ в кодированных переменных:

$$y_1 = 81,14 + 11,23x_1 + 11,23x_2 + 6,34x_3 - 15,42x_4 + \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned}
& +14,30x_5 - 8,29x_3^2 - 6,52x_5^2 - 8,00x_1x_2 - 8,00x_1x_3 - \\
& -7,38x_1x_4 - 7,38x_1x_5 - 0,74x_2x_3 - 7,38x_2x_4 - 7,38x_2x_5 - \\
& -7,38x_3x_4 - 7,38x_3x_5 - 8,00x_4x_5
\end{aligned}$$

– число КОЕ БОЕ в натуральных переменных:

$$\begin{aligned}
Y_{\text{КОЕ БОЕ}}^{\text{CT}} = & -2114,33 + 71,54\omega + 0,51m_{\text{CT}} + 12,60B + 16,23W + \\
& + 91,59t - 0,02B^2 - 0,72t^2 - 0,06\omega m_{\text{CT}} - 0,13\omega B - \\
& - 0,49\omega W - 0,82\omega t - 0,001m_{\text{CT}}B - 0,0037m_{\text{CT}}W - 0,0062m_{\text{CT}}t - \\
& - 0,073BW - 0,12Bt - 0,53Wt
\end{aligned} \tag{4.7}$$

Анализ результатов, формализованных с помощью математической модели (4.6) показал, что на параметр числа КОЕ БОЕ оказывают влияние следующие факторы, проранжировать которые по степени важности согласно полученных оценок коэффициентов регрессионной математической модели в кодированных переменных (4.6) можно следующим образом x_4, x_1, x_2, x_5, x_3 , а также для эффектов парных взаимодействий $x_1x_2, x_1x_3, x_4x_5, x_1x_4, x_1x_5, x_2x_4, x_2x_5, x_3x_4, x_3x_5, x_2x_3$. Раскодировать которые можно с помощью таблицы 3.7, представленной в главе 3.

Результаты расчёта статистических характеристик оценки достоверности математической модели (4.7) представлены в таблице Б.3 в приложении Б. Согласно сравнения расчётного и критического значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha = 0,05$ который достоверно описывает влияние исследуемых факторов на параметр числа КОЕ БОЕ. При этом расчётное значение критерия Фишера $F_{\text{расч}} = 4,113$, критическое значение Фишера $F_{\text{кр}} = 5,891$. Поскольку расчётное значение критерия Фишера меньше критического ($F_{\text{расч}} \leq F_{\text{кр}}$), то адекватность полученной модели подтверждена. Графическая интерпретация результатов исследования в виде математической модели (4.7), связывающей влияние варьируемых факторов на параметр числа КОЕ БОЕ при обеззараживании бесподстилочного навоза стержневым вихревым слоем в активаторе, представлена на рисунках 4.9...4.15.

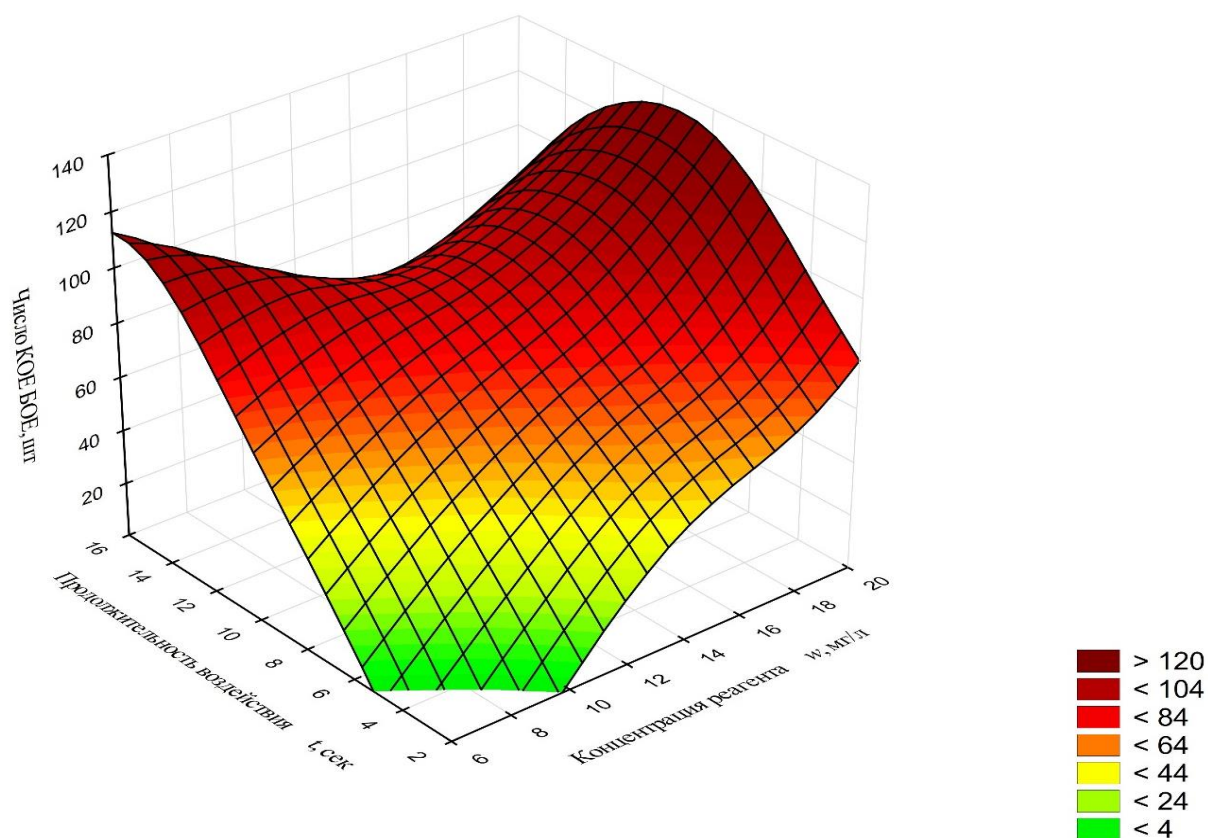


Рисунок 4.9 – Влияние продолжительности воздействия и концентрации реагента на число КОЕ БОЕ

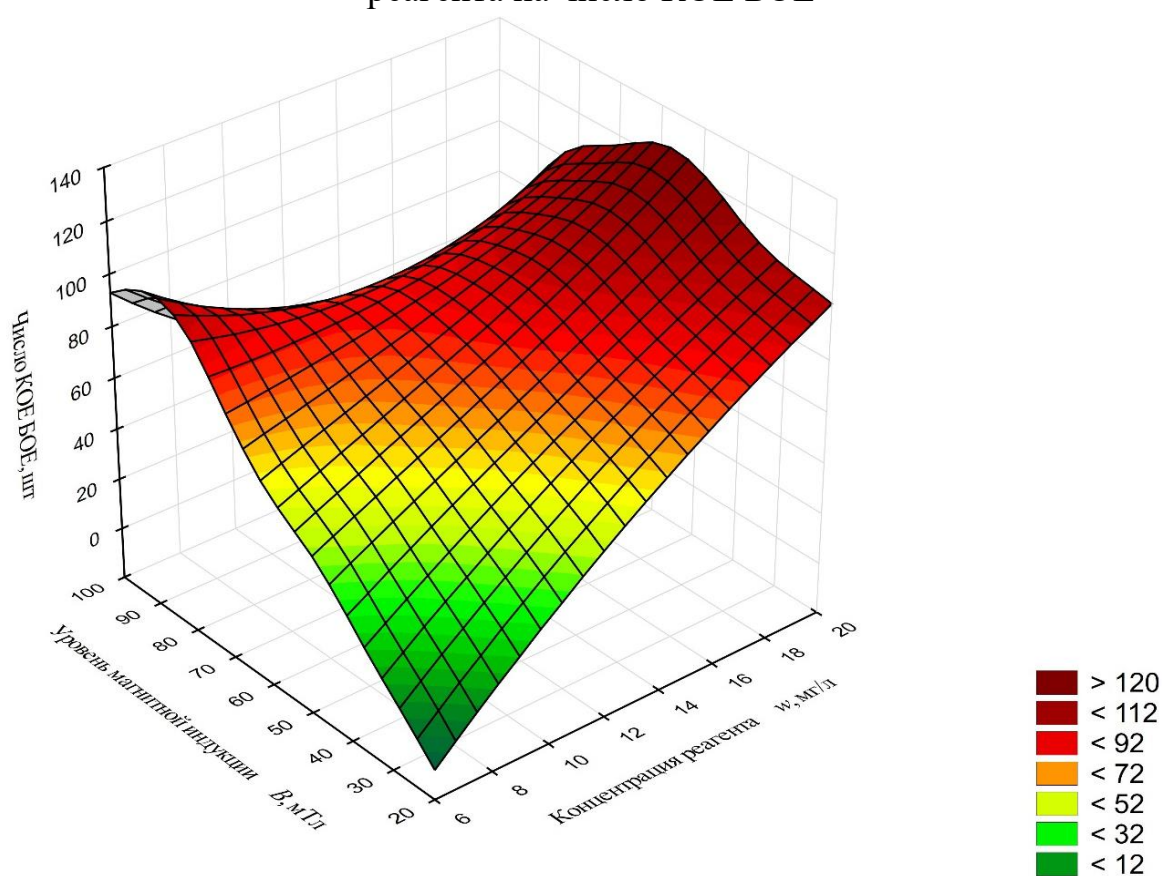


Рисунок 4.10 – Влияние уровня магнитной индукции и концентрации реагента на число КОЕ БОЕ

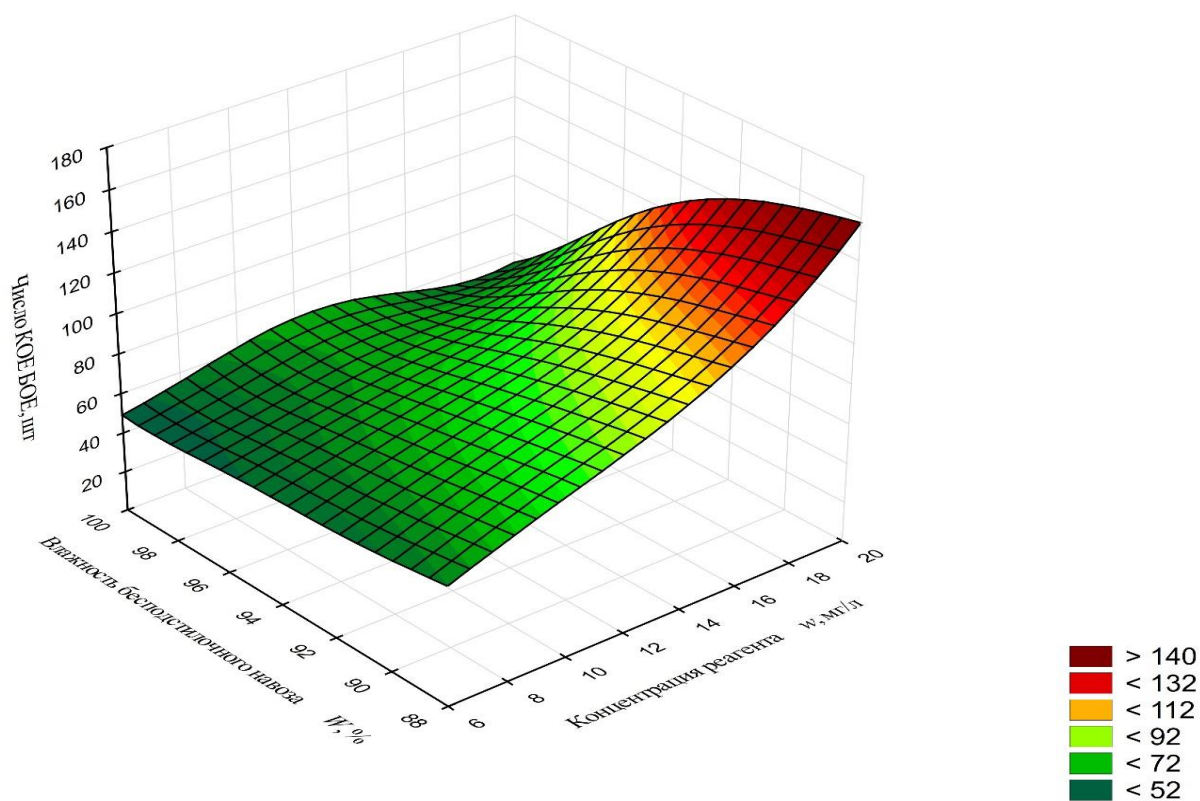


Рисунок 4.11 – Влияние влажности бесподстилочного навоза и концентрации реагента на число КОЕ БОЕ

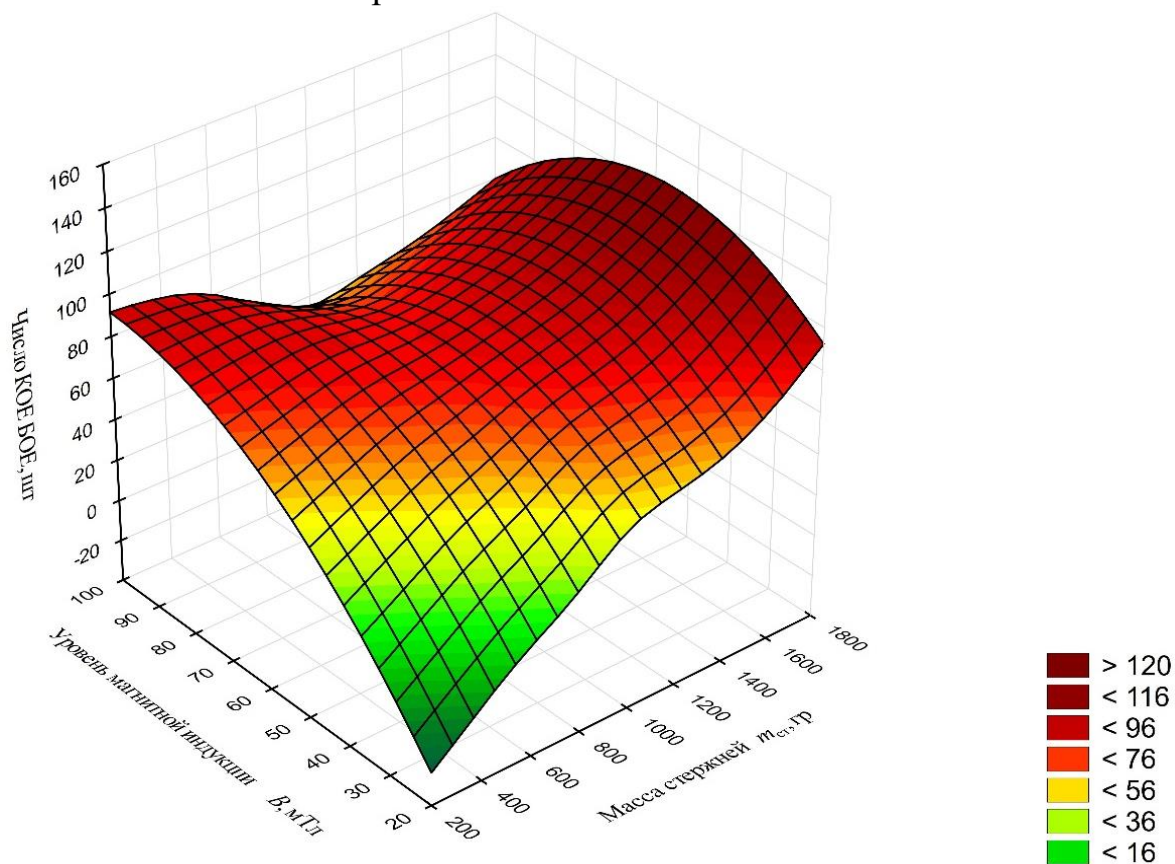


Рисунок 4.12 – Влияние уровня магнитной индукции и массы стержней на число КОЕ БОЕ

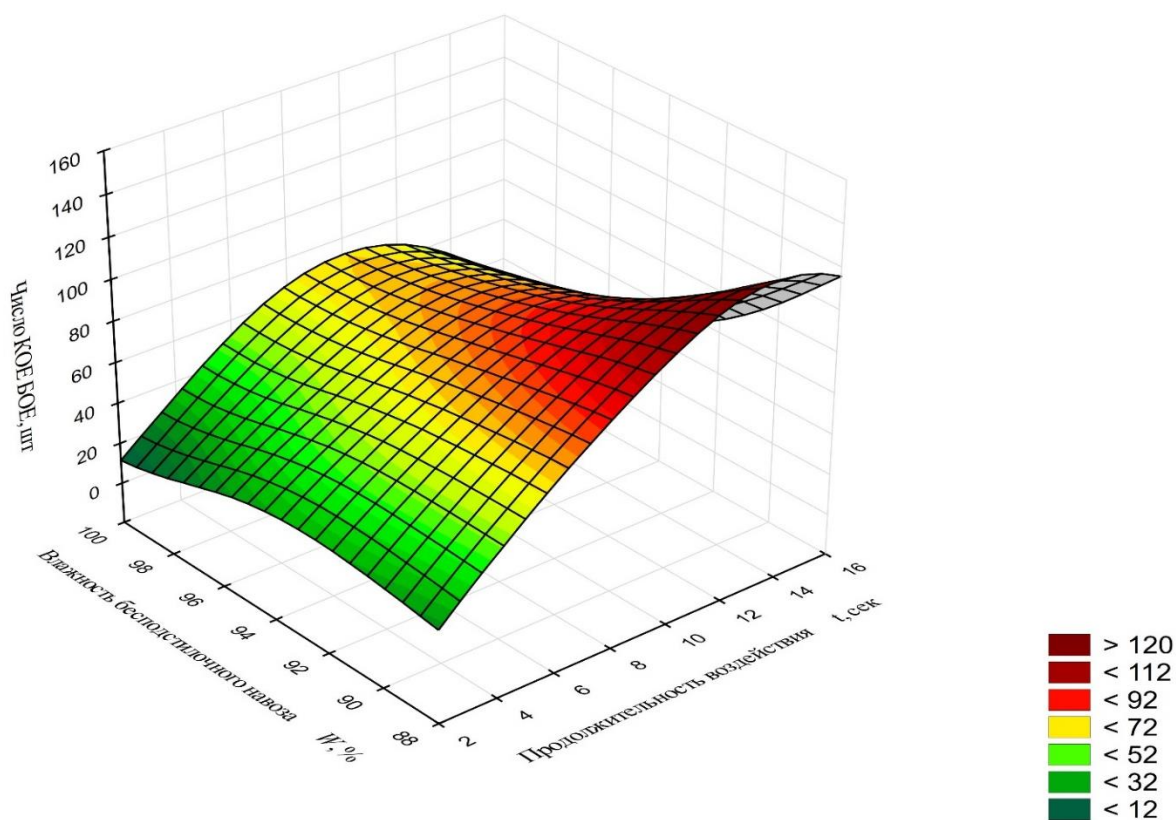


Рисунок 4.13 – Влияние влажности бесподстилочного навоза и продолжительности воздействия на число КОЕ БОЕ

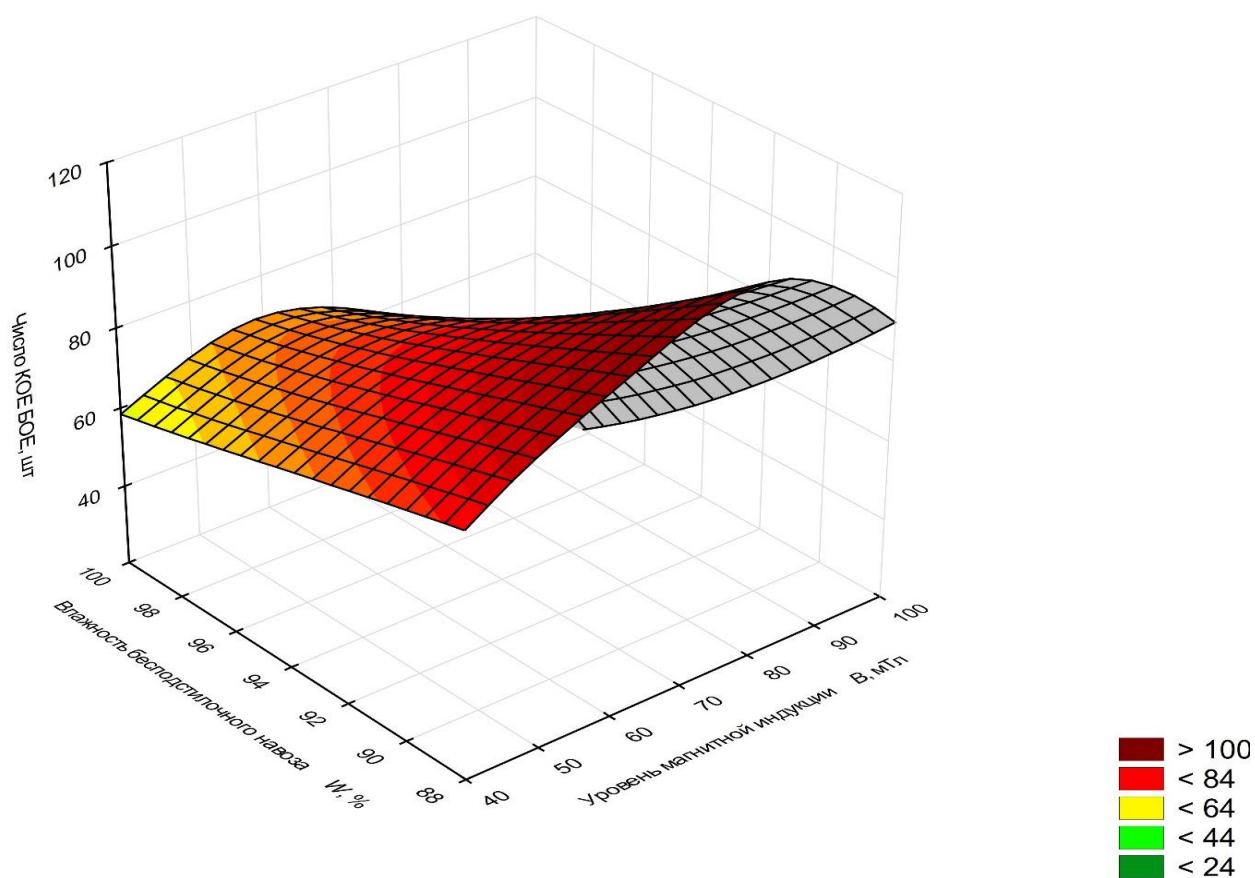


Рисунок 4.14 – Влияние влажности бесподстилочного навоза и уровня магнитной индукции на число КОЕ БОЕ

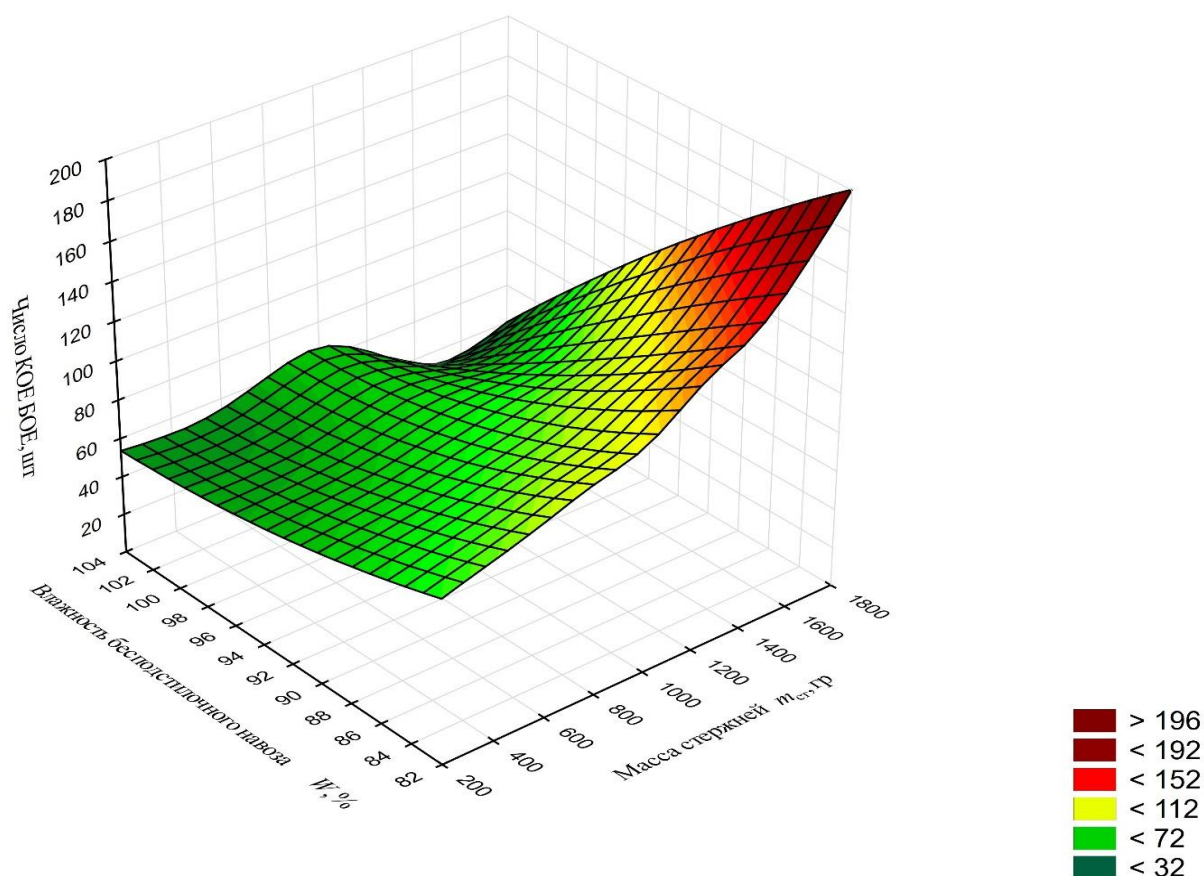


Рисунок 4.15 – Влияние влажности бесподстилочного навоза и массы стержней на число КОЕ БОЕ

Анализ рисунка 4.9 позволил сделать вывод, что изменение продолжительности воздействия в рабочей зоне активатора при воздействии стержневым вихревым слоем совместно с изменением концентрации подаваемого на входе в рабочую зону реагента относительно параметра числа КОЕ БОЕ происходит нелинейно, о чём свидетельствует наличие квадратичных членов в уравнении (4.7).

Анализ рисунка 4.10 позволил сделать вывод, что изменение фактора уровня магнитной индукции в рабочей зоне активатора при воздействии стержневым вихревым слоем оказывает нелинейное влияние на число КОЕ БОЕ, а изменение концентрации подаваемого на входе реагента относительно параметра числа КОЕ БОЕ происходит прямо пропорционально.

Анализ рисунка 4.11 позволил сделать вывод, что изменение влажности бесподстилочного навоза при воздействии на него стержневым вихревым слоем оказывает линейное влияние на изменение числа КОЕ БОЕ, а влияние

концентрации реагента оказывает прямо пропорциональное влияние на число КОЕ БОЕ.

Анализ рисунка 4.12 позволил сделать вывод, что изменение фактора массы рабочих тел в виде стержней в технологической зоне активатора происходит нелинейно. При превышении отметки 1 400 гр., наблюдается превышение критических значений числа КОЕ БОЕ, т.е. операционное воздействие становится неэффективным с санитарно-эпидемиологической точки зрения. Соответственно, для определения массы стержневого вихревого слоя, обеспечивающего максимальный санитарно-эпидемиологический эффект необходимо решить оптимизационную задачу на основании полученных математических моделей. Изменение числа КОЕ БОЕ относительно уровня магнитной индукции также происходит нелинейно.

Анализ рисунка 4.13 позволил сделать вывод, что изменение фактора влажности подаваемого в активатор бесподстилочного навоза оказывает нелинейное влияние на конечное число КОЕ БОЕ, продолжительность совместного физико-химического воздействия при этом оказывает прямо пропорциональное влияние на число КОЕ БОЕ.

Анализ рисунка 4.14 позволил сделать вывод, что изменение влажности бесподстилочного навоза, подаваемого в активатор, позволяет оценить нелинейное влияние на число КОЕ БОЕ.

Анализ рисунка 4.15 позволил сделать вывод, что изменение фактора числа КОЕ БОЕ практически не зависит от влажности подаваемого в технологическую зону бесподстилочного навоза. При этом наблюдается нелинейный рост числа КОЕ БОЕ в зависимости от массы стержней, критические значения числа КОЕ БОЕ наблюдаются при превышении массы стержней отметки 1 100 гр. ... 1 200 гр. и влажности бесподстилочного навоза в 82 ... 86%, что можно объяснить снижением вращающегося момента создаваемого индуктором и как следствие нарушения прямой распределённой последовательности чередования перемещений равных объёмов стержней в соответствии с чередованием фаз обмоток полюсов индуктора, что приводит

к созданию так называемых «мёртвых зон» в технологическом пространстве активатора.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе на параметр числа КОЕ ОКБ формализованы с помощью математической модели, представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах, в качестве ограничений для которой выступили диапазоны вариации параметров, представленных в таблице 3.7:

– число КОЕ ОКБ в кодированных переменных:

$$y_2 = 84,85 + 10,78x_1 + 10,87x_2 + 5,49x_3 - 15,42x_4 + \\ + 13,90x_5 - 8,14x_3^2 - 6,34x_5^2 - 8,63x_1x_2 - 8,63x_1x_3 - \\ - 7,38x_1x_4 - 7,38x_1x_5 - 8,63x_2x_3 - 7,38x_2x_4 - 7,38x_2x_5 - \\ - 7,38x_3x_4 - 7,38x_3x_5 - 8,63x_4x_5 \quad (4.8)$$

– число КОЕ ОКБ в натуральных переменных:

$$Y_{КОЕОКБ}^{СТ} = -2210,18 + 72,55\omega + 0,58m_{CT} + 13,63B + 16,60W + \\ + 95,00t - 0,02B^2 - 0,70t^2 - 0,007\omega m_{CT} - 0,14\omega B - \\ - 0,49\omega W - 0,82\omega t - 0,001m_{CT}B - 0,0037m_{CT}W - 0,0062m_{CT}t - \\ - 0,073BW - 0,12Bt - 0,57Wt \quad (4.9)$$

Анализ результатов формализованных с помощью математической модели (4.9) показал, что на параметр числа КОЕ ОКБ оказывают влияние следующие факторы проранжировать которые по степени важности согласно полученных оценок коэффициентов регрессионной математической модели в кодированных переменных (4.8) можно следующим образом x_4, x_5, x_2, x_1, x_3 , а также для эффектов парных взаимодействий $x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3, x_4x_5, x_1x_4, x_1x_5, x_2x_4, x_2x_5, x_3x_4, x_3x_5$. Раскодировать которые можно с помощью таблицы 3.7 представленной в главе 3.

Результаты расчёта статистических характеристик оценки достоверности математической модели (4.9) представлены в таблице Б.4 в приложении Б.

Согласно сравнения расчётного и критического значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha = 0,05$ который достоверно описывает влияние исследуемых факторов на параметр числа КОЕ ОКБ. При этом расчётное значение критерия Фишера $F_{расч} = 4,827$, критическое значение Фишера $F_{кр} = 5,891$. Поскольку расчётное значение критерия Фишера меньше критического ($F_{расч} \leq F_{кр}$), соответственно адекватность полученной модели подтверждена.

Графическая интерпретация результатов исследования в виде математической модели (4.9), связывающей влияние варьируемых факторов на параметр числа КОЕ ОКБ при обеззараживании бесподстильного навоза стержневым вихревым слоем в активаторе, представлена на рисунках 4.16...4.22.

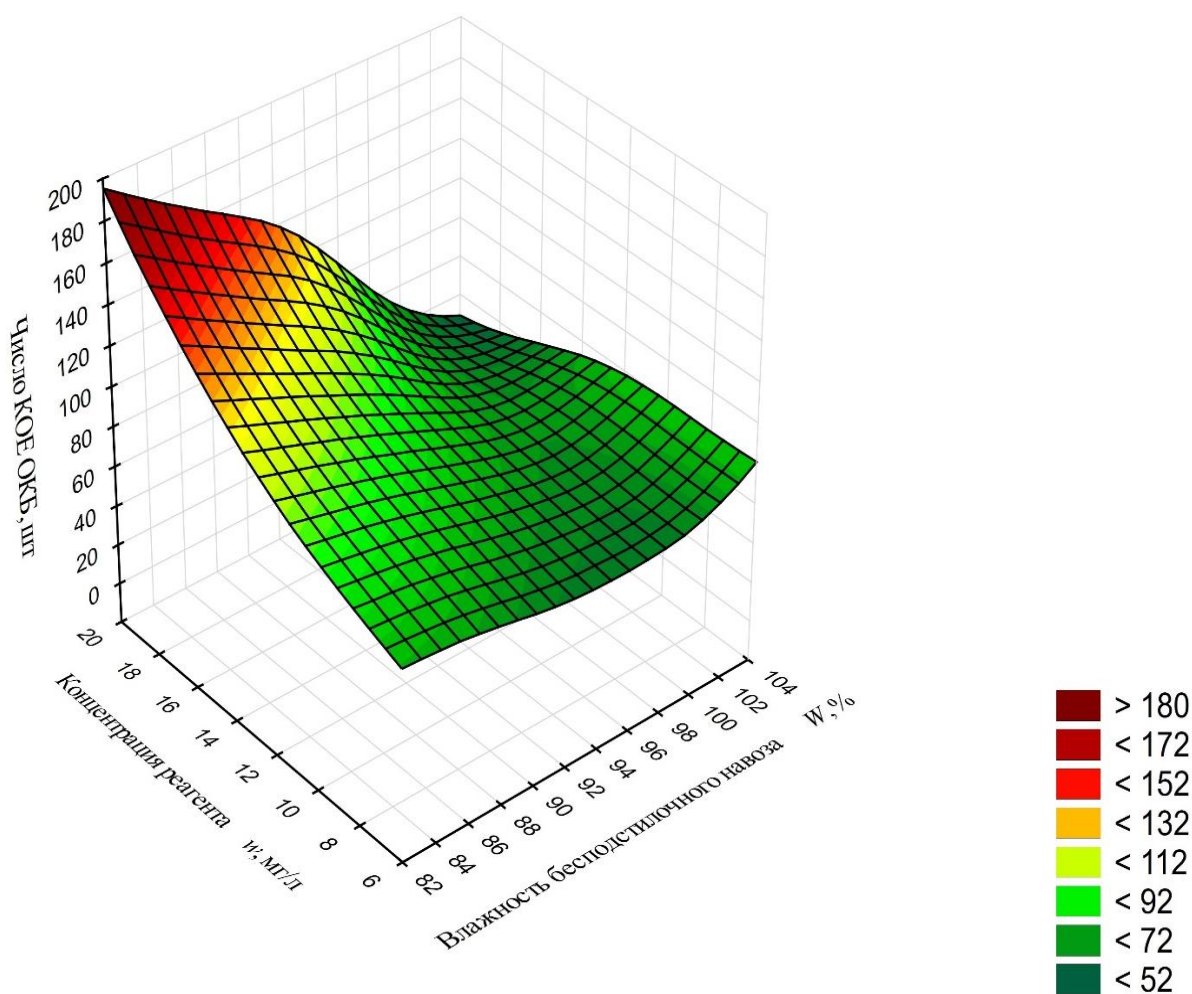


Рисунок 4.16 – Влияние концентрации реагента и влажности бесподстильного навоза на число КОЕ ОКБ

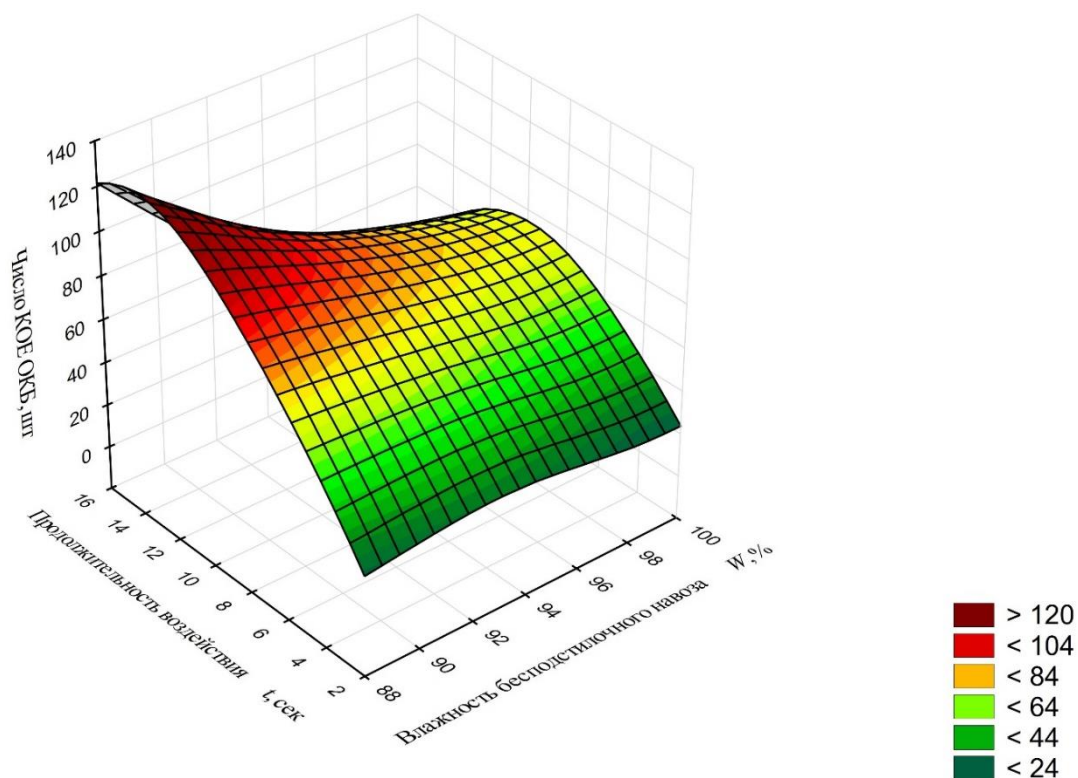


Рисунок 4.17 – Влияние продолжительности воздействия и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ОКБ

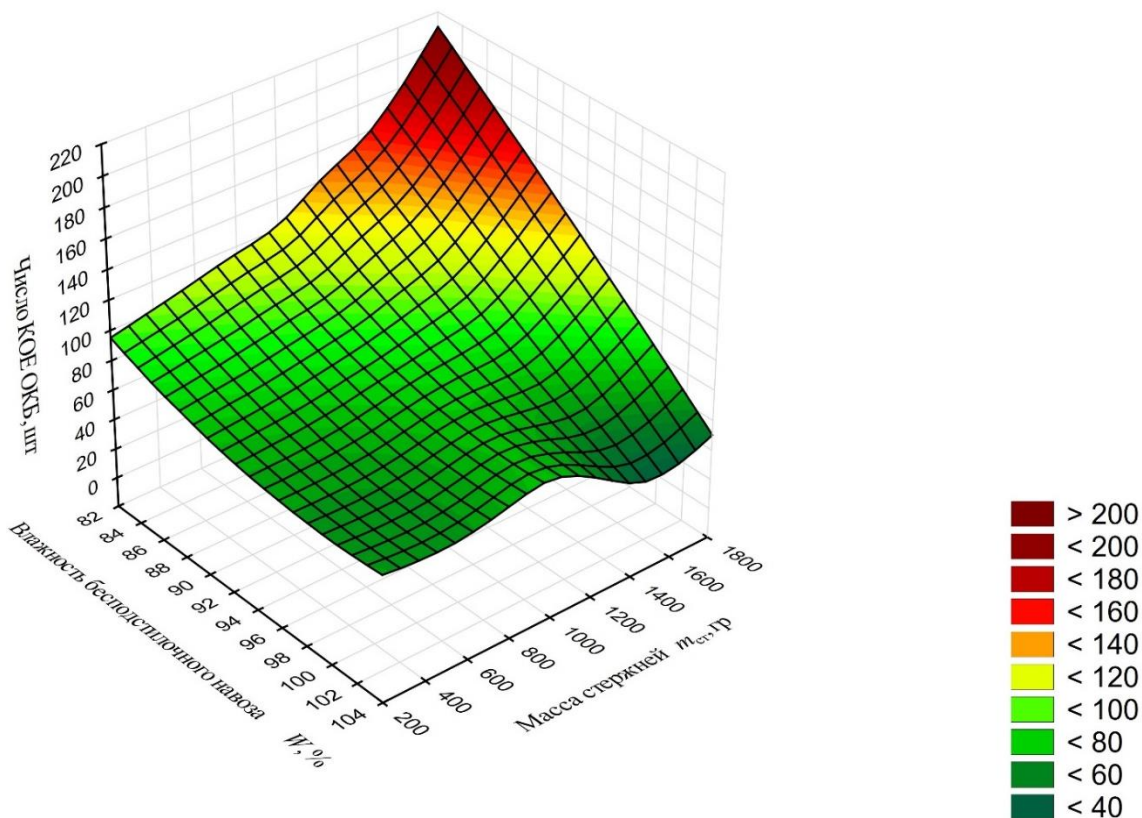


Рисунок 4.18 – Влияние влажности бесподстилочного навоза и массы стержней на число КОЕ ОКБ

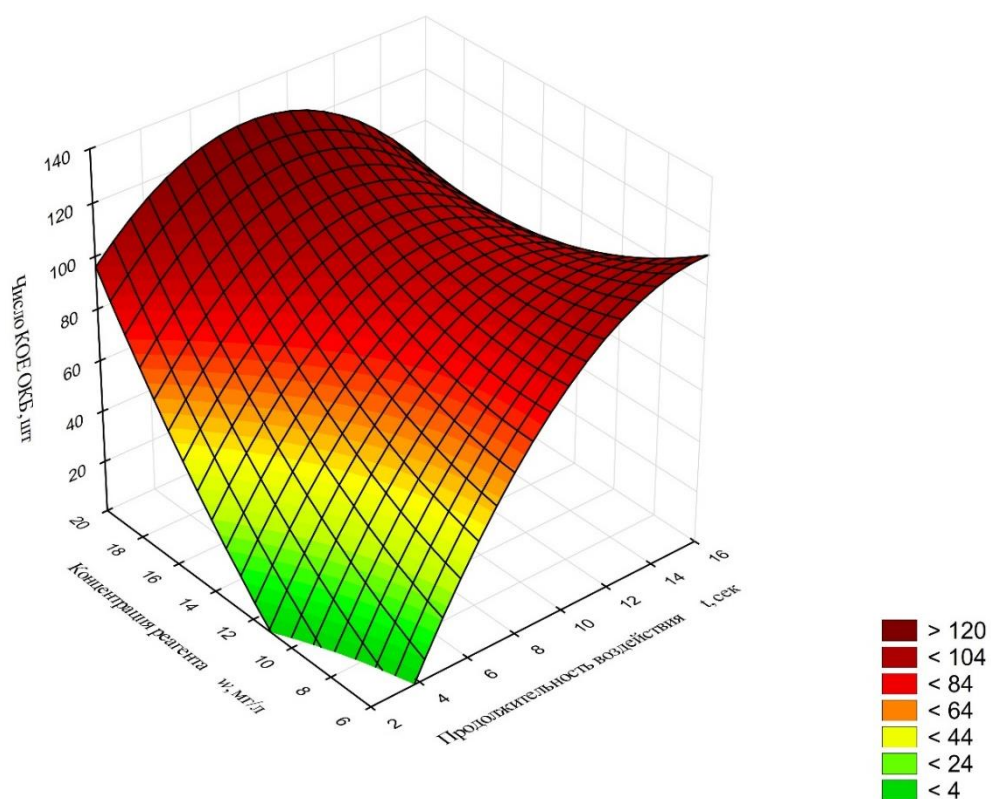


Рисунок 4.19 – Влияние концентрации реагента и продолжительности совместного воздействия на число КОЕ ОКБ

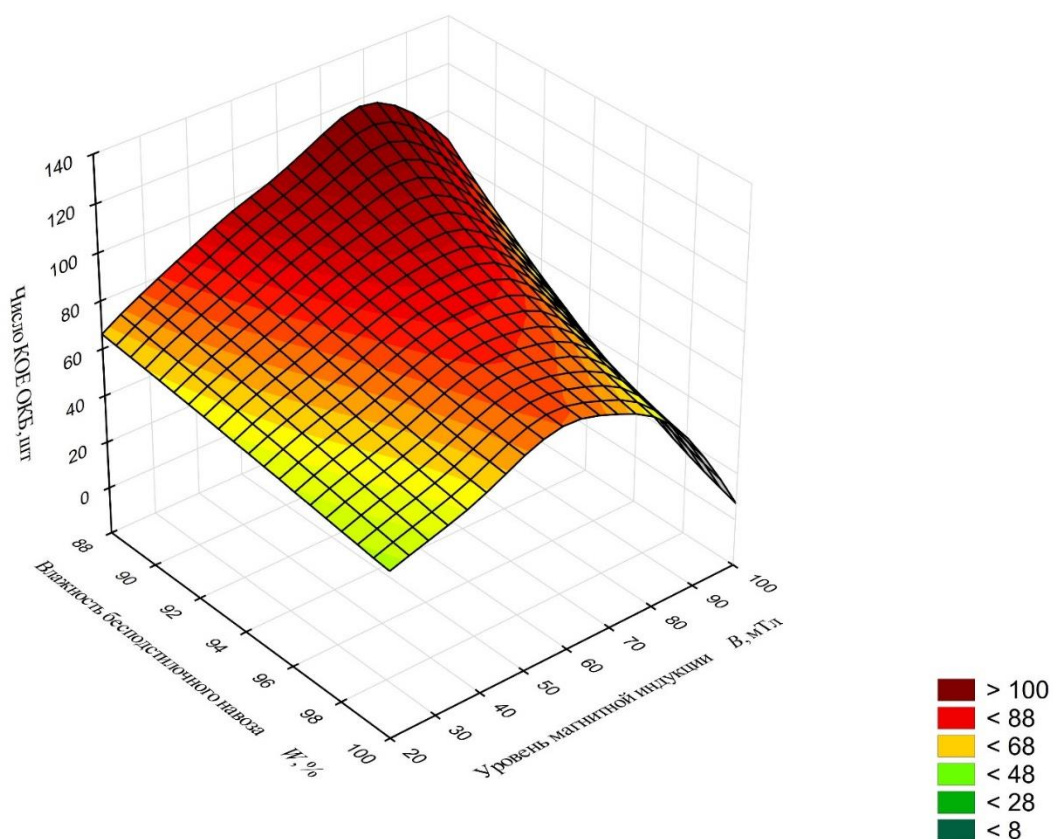


Рисунок 4.20 – Влияние влажности бесподстильного навоза и уровня магнитной индукции на число КОЕ ОКБ

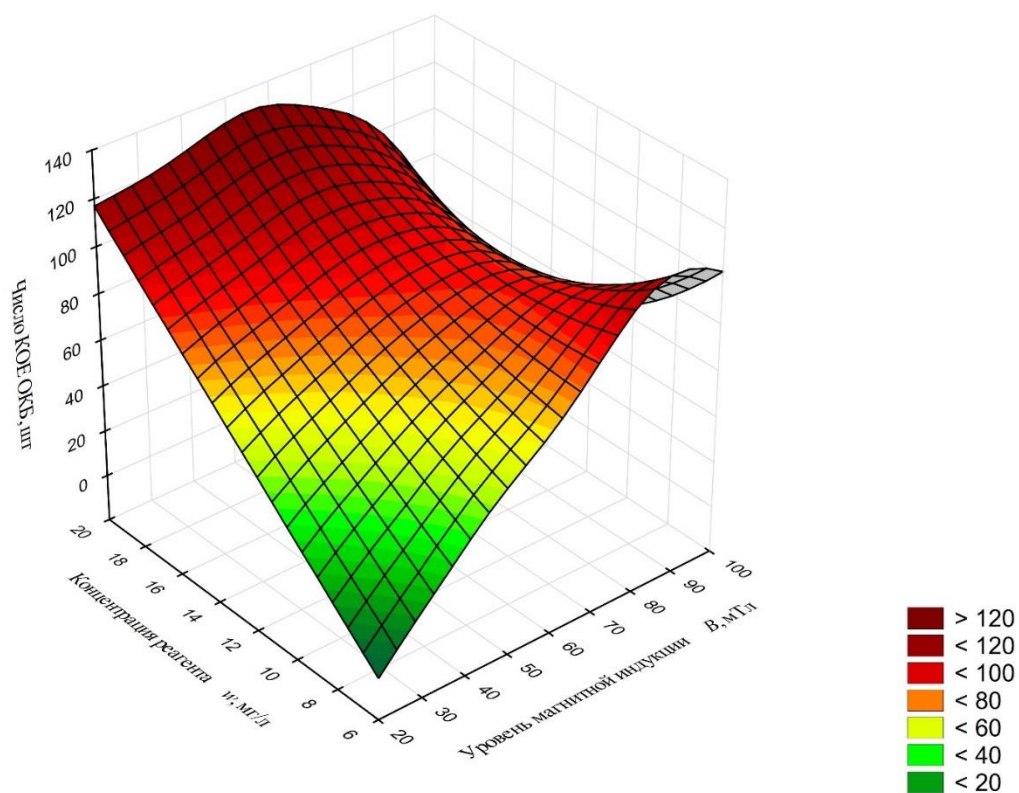


Рисунок 4.21 – Влияние концентрации реагента и уровня магнитной индукции на число КОЕ ОКБ

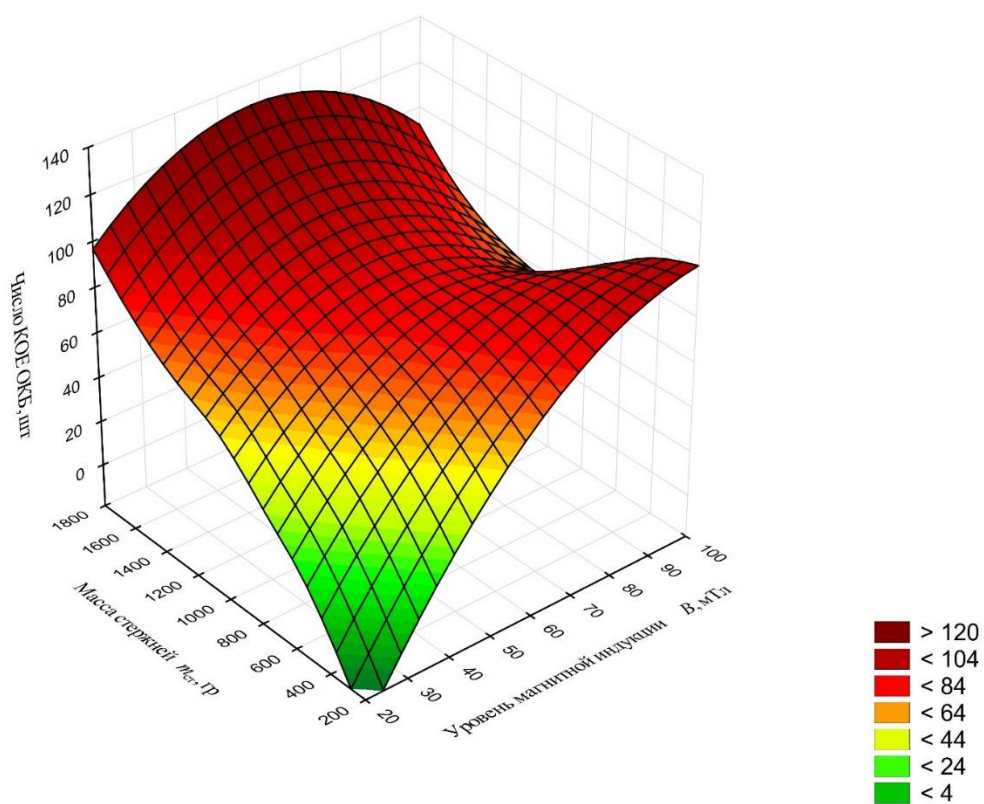


Рисунок 4.22 – Влияние массы стержней и уровня магнитной индукции на число КОЕ ОКБ

Анализ рисунка 4.16 позволил графически оценить влияние концентрации реагента и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ОКБ в нём после его обеззараживания в активаторе. Проанализировав зависимость, можно сделать вывод, что несмотря на статистическую значимость фактора x_1 , увеличение концентрации реагента при физико-химическом обеззараживании в активаторе приводит к снижению санитарно-эпидемиологической эффективности относительно данного типа бактерий, соответственно, согласно [18-21, 31, 32, 120, 125-127, 130-132, 135-137, 152, 280, 304], рациональным является его использование только в случае необходимости обеспечения пролонгированного бактерицидного эффекта.

Анализ зависимости, представленной на рисунке 4.17 характеризующей влияние продолжительности воздействия и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ОКБ подтвердил, что увеличение продолжительности воздействия приводит к снижению числа КОЕ ОКБ. Рост числа КОЕ ОКБ наблюдается в диапазоне влажности бесподстилочного навоза от 88 % до 94%, затем происходит их снижение.

Анализ зависимости, представленной на рисунке 4.18 характеризующей влияние массы стержней на число КОЕ ОКБ также подтверждает характер влияния влажности и массы стержней на число КОЕ ОКБ, на основании чего можно сделать вывод о необходимости решения оптимизационной задачи определения максимально эффективной массы стержней, обеспечивающей максимальный энерго-экологический эффект.

Анализ рисунка 4.19 позволил сделать вывод, что рост концентрации реагента и продолжительности совместного воздействия приводит к снижению эффективности системного воздействия вихревого слоя активатора, объяснить которое можно путём возникновения зон застоя рабочих стержней, связанных с образованием уплотнений бесподстилочного навоза на стенках рабочей зоны.

Анализ рисунка 4.20 позволил сделать вывод, что характер природы влияния влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ОКБ не

отличается существенным образом от его влияния на число КОЕ БОЕ. При этом характер изменений числа КОЕ ОКБ в зависимости от уровня магнитной индукции в рабочей зоне активатора носит квадратичный характер [29, 126].

Анализ рисунка 4.21 позволил сделать вывод, что изменение влияния концентрации реагента на число КОЕ ОКБ в зависимости от уровня магнитной индукции в рабочей зоне активатора происходит аналогично согласно зависимости, описанной выше для числа КОЕ БОЕ, а также числа КОЕ ОКБ при рассмотрении её влияния относительно других факторов. При увеличении уровня магнитной индукции в рабочей зоне активатора более 65...70 мТл происходит снижение эффективности лизиса числа КОЕ ОКБ, объяснить которое можно введением стержней в состояние избыточного технического насыщения, что также препятствуют их интенсивному полюсному чередованию [29].

Анализ зависимости на рисунке 4.22 подтвердил выдвинутую выше гипотезу о том, что характер природы влияния уровня магнитной индукции и массы рабочих тел в виде стержней в активаторе на число КОЕ ОКБ носит нелинейный характер и для обеспечения оптимального энерго-экологического эффекта требуется решение оптимизационной задачи.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе на параметр числа КОЕ ТТКБ формализованы с помощью математической модели, представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах, в качестве ограничений для которой выступили диапазоны вариации параметров, представленных в таблице 3.7:

– число КОЕ ТТКБ в кодированных переменных:

$$\begin{aligned} y_3 = & 88,31 + 10,80x_1 + 9,36x_2 + 4,81x_3 - 15,42x_4 + \\ & + 13,59x_5 - 7,92x_3^2 - 6,12x_5^2 - 9,13x_1x_2 - 9,13x_1x_3 - \\ & - 7,38x_1x_4 - 7,38x_1x_5 - 9,13x_2x_3 - 7,38x_2x_4 - 7,38x_2x_5 - \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$-7,38x_3x_4 - 7,38x_3x_5 - 9,13x_4x_5$$

– число КОЕ ТТКБ в натуральных переменных:

$$\begin{aligned} Y_{\text{КОЕ ТТКБ}}^{\text{CT}} = & -2239,67 + 73,47\omega + 0,58m_{\text{CT}} + 13,70B + 16,90W + \\ & + 97,56t - 0,019B^2 - 0,68t^2 - 0,007\omega m_{\text{CT}} - 0,15\omega B - \\ & - 0,49\omega W - 0,82\omega t - 0,001m_{\text{CT}}B - 0,0037m_{\text{CT}}W - 0,0062m_{\text{CT}}t - \\ & - 0,073BW - 0,12Bt - 0,60Wt \end{aligned} \quad (4.11)$$

Анализ результатов формализованных с помощью математической модели (4.11) показал, что на параметр числа КОЕ ТТКБ оказывают влияние следующие факторы, проранжировать которые по степени важности согласно полученных оценок коэффициентов регрессионной математической модели в кодированных переменных (4.10) можно следующим образом: x_5, x_4, x_3, x_1, x_2 , а также для эффектов парных взаимодействий: $x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3, x_4x_5, x_1x_4, x_1x_5, x_2x_4, x_2x_5, x_3x_4, x_3x_5$. Раскодировать их можно с помощью таблицы 3.7 представленной в главе 3.

Результаты расчёта статистических характеристик оценки достоверности математической модели (4.11) представлены в таблице Б.5 в приложении Б. Согласно сравнения расчётного и критического значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha = 0,05$ она достоверно описывает влияние исследуемых факторов на параметр числа КОЕ ТТКБ. При этом расчётное значение критерия Фишера $F_{\text{расч}} = 4,279$, а критическое значение Фишера $F_{\text{кр}} = 5,873$, так как расчётное значение критерия Фишера меньше критического ($F_{\text{расч}} \leq F_{\text{кр}}$), то адекватность полученной модели подтверждена.

Графическая интерпретация результатов исследования в виде математической модели (4.11), связывающей влияние варьируемых факторов на параметр числа КОЕ ТТКБ при обеззараживании бесподстилочного навоза стержневым вихревым слоем в активаторе, представлена на рисунках Б.1...Б.7 в приложении Б.

Анализ зависимостей представленных в приложении Б на рисунках Б.1-Б.7 показал характер природы изменения числа КОЕ ТТКБ в зависимости от

массы стержней в рабочей зоне и влажности бесподстилочного навоза является аналогичным, как и для числа КОЕ БОЕ, КОЕ ОКБ, а именно начиная с массы стержней превышающей отметку 1 400 гр., происходит существенное снижение эпидемиологической нагрузки сопровождаемое ростом числа КОЕ, эффективность операционного воздействия падает при влажности бесподстилочного навоза менее 90 %, что объясняется возрастающим механическим сопротивлением обрабатываемой среды.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе на параметр удельной энергоёмкости активатора со стержневым вихревым слоем формализованы с помощью математической модели, представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах, в качестве ограничений для которой выступили диапазоны вариации параметров, представленных в таблице 3.7:

– удельная энергоёмкость активатора со стержневым вихревым слоем в кодированных переменных:

$$y_4 = 9,04 + 2,19x_2 + 3,07x_3 + 0,60x_1^2 + 1,08x_3^2 + 1,00x_5^2 \quad (4.12)$$

– удельная энергоёмкость активатора со стержневым вихревым слоем в натуральных переменных:

$$Y_{уд.э}^{ст.} = 24,34 + 0,005m_{ст} - 0,1705B + 0,066\omega^2 + 1,08B^2 + 1,00t^2 \quad (4.13)$$

Анализ результатов, формализованных с помощью математической модели (4.13) показал, что на параметр удельной энергоёмкости активатора со стержневым вихревым слоем оказывают влияние следующие факторы, проранжировать которые по степени важности согласно полученных оценок коэффициентов регрессионной математической модели в кодированных переменных (4.12) можно следующим образом x_3 , x_2 , x_1 , x_5 . Раскодировать которые можно с помощью таблицы 3.7 представленной в главе 3.

Результаты расчёта статистических характеристик оценки достоверности математической модели (4.13) представлены в таблице Б.6 в приложении Б. Согласно сравнения расчётного и критического значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha = 0,05$ достоверно описывает влияние исследуемых факторов на параметр удельной энергоёмкости активатора со стержневым вихревым слоем. При этом расчётное значение критерия Фишера $F_{расч} = 4,084$, критическое значение Фишера $F_{кр} = 5,774$. Поскольку расчётное значение критерия Фишера меньше критического ($F_{расч} \leq F_{кр}$), соответственно адекватность полученной модели подтверждена.

Графическая интерпретация результатов исследования в виде математической модели (4.13), связывающей влияние варьируемых факторов на параметр удельной энергоёмкости активатора со стержневым вихревым слоем при обеззараживании бесподстилочного навоза в активаторе, представлена на рисунках 4.23...4.32.

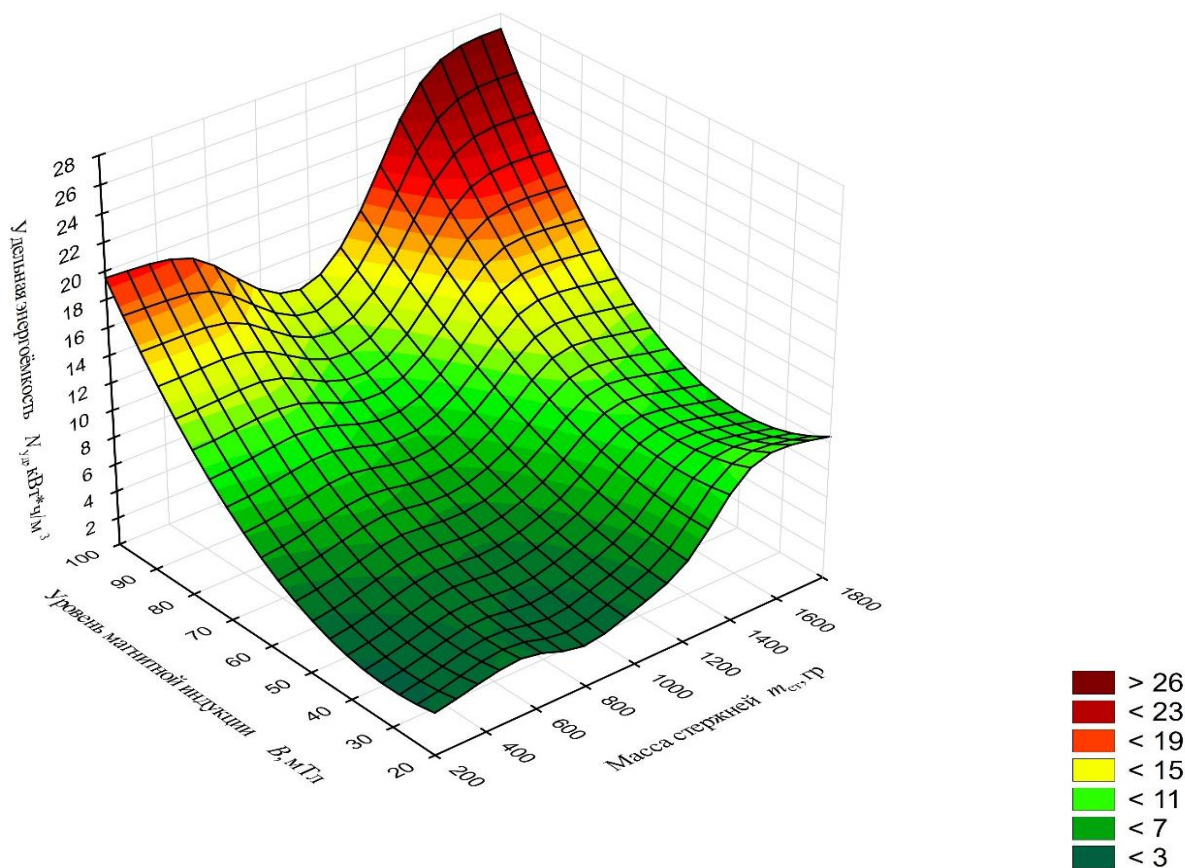


Рисунок 4.23 – Влияние уровня магнитной индукции и массы стержней на удельную энергоёмкость операционного воздействия

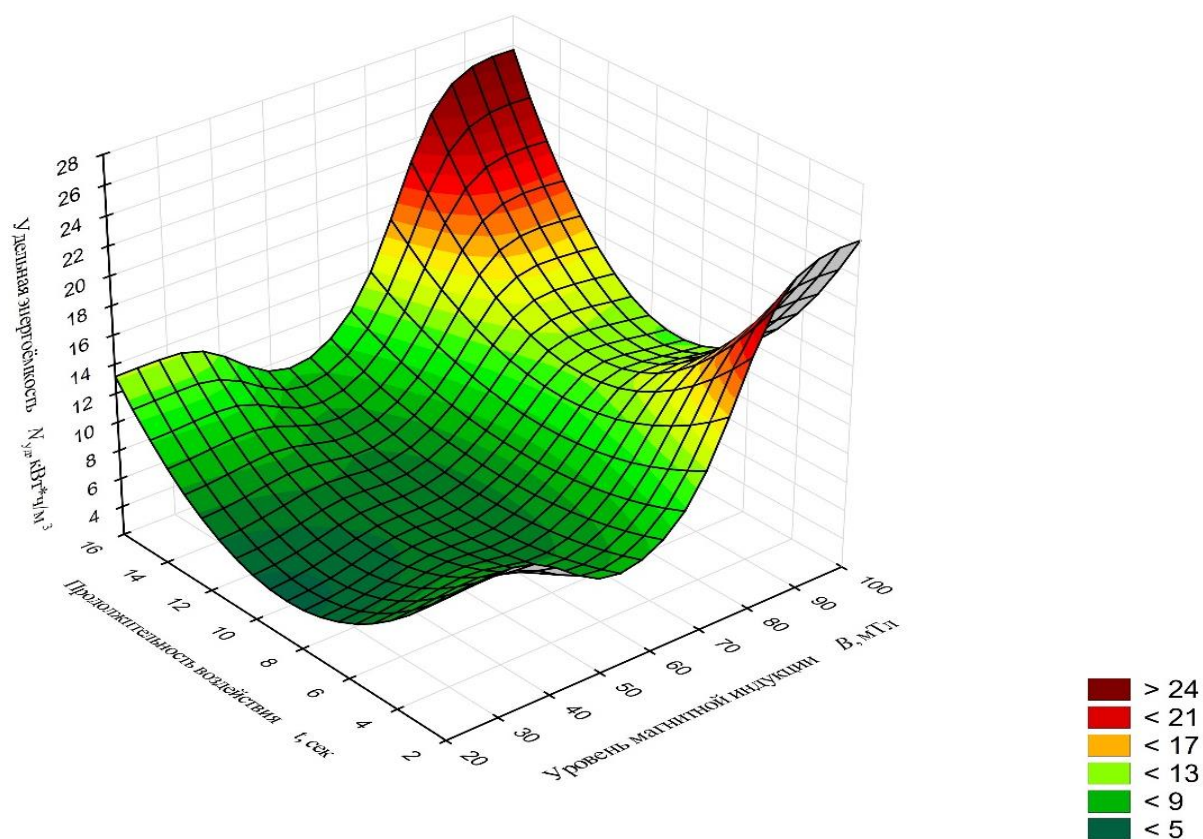


Рисунок 4.24 – Влияние продолжительности воздействия и уровня магнитной индукции на удельную энергоёмкость операционного воздействия

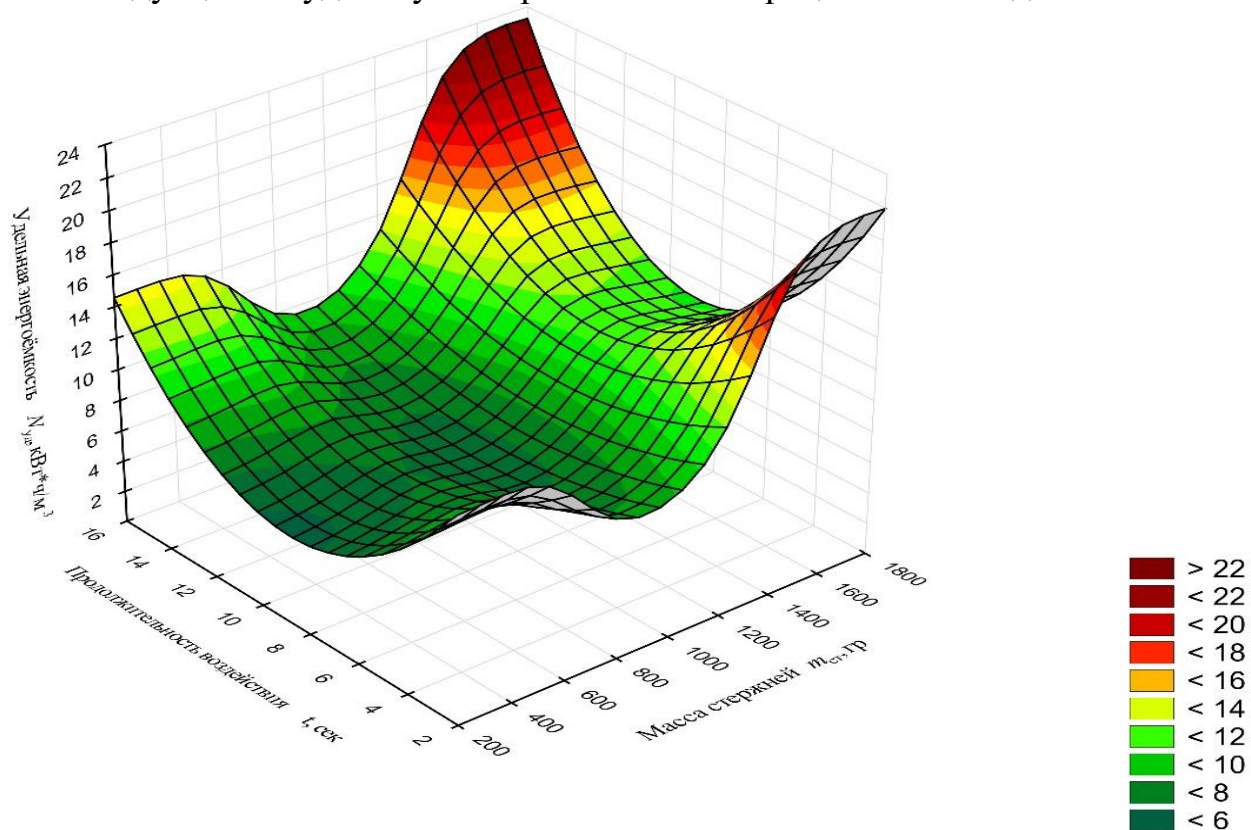


Рисунок 4.25 – Влияние продолжительности воздействия и массы стержней на удельную энергоёмкость операционного воздействия

Проанализировав рисунок 4.23 можно сделать вывод, что оба фактора оказывают влияние на параметр назначения, при этом влияние уровня магнитной индукции прямо пропорционально, соответственно, с увеличением магнитной индукции происходит рост удельной энергоёмкости индуктора и как следствие эффективность реализуемого операционного воздействия. Влияние массы рабочих тел стержневой формы на уровень удельной энергоёмкости носит более сложный характер, при увеличении массы стержней с 200 до 450...500 гр. происходит увеличение энерго затрат, на участке с 500 ... 600 гр. до 800 гр. наблюдается спад энергетических затрат, затем начиная с 790...830 гр. происходит рост удельных энергетических затрат до критического уровня $\approx 1\ 600$ гр. после достижения которого удельная энергоёмкость достигает максимальных значений и изменяется в дальнейшем незначительно. Анализ данной зависимости подтверждает необходимость решения оптимизационной задачи определения оптимальных сочетаний варьируемых факторов для обеспечения максимального энерго-экологического эффекта.

Измерение удельной энергоёмкости активатора осуществлялось в процессе реализации операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза, согласно методике, описанной в разделе 3, с использованием измерительных средств и оборудования прошедших поверку и сертификацию.

Анализ рисунков 4.24 и 4.25 позволил сделать вывод, что уровень магнитной индукции в рабочей зоне, продолжительность воздействия и масса стержней оказывают влияние на уровень энергетических затрат. Для определения сочетания уровней их варьирования, обеспечивающих максимальный энерго-экологический эффект, необходимо сформулировать и решить оптимизационную задачу, в основу которой следует заложить полученную математическую модель (4.13).

На основании проведённых экспериментальных исследований интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым вихревым слоем в активаторе установлено следующее:

1. Получены математические модели в виде квадратичных полиномов адекватно критерию Фишера, характеризующие и формализующие влияние концентрации реагента, массы стержней, уровня магнитной индукции в технологической зоне, влажности бесподстилочного навоза, а также продолжительности воздействия;

2. Установлено, что увеличение массы стержней квадратичным образом влияет на возрастание удельной энергоёмкости операционного воздействия, а также уровень санитарно-эпидемиологической безопасности бесподстилочного навоза, характеризуемый рассматриваемыми числами КОЕ, таким образом при превышении отметки массы стержней в 970 гр. ... 1 000 гр. наблюдается существенный рост удельной энергоёмкости и санитарно-эпидемиологической нагрузки при падении уровня экологической безопасности. Объяснить данное явление можно за счёт образования так называемых «мёртвых зон» в технологической зоне активатора обусловленных воздействием комплекса сил, представляющих сопротивление для движения потока бесподстилочного навоза.

3. Полученные математические модели (4.7), (4.9), (4.11), (4.13) представляют собой исходные данные для решения оптимизационной задачи поиска сочетаний варьируемых факторов, обеспечивающих максимальный уровень санитарно-эпидемиологической нагрузки и экологической безопасности обеззараживаемого материала при минимально возможных удельных затратах энергии, а также формирования цифровизированной системы оценки и прогнозирования энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного.

4.4. Анализ результатов обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе шаровым вихревым слоем

Результаты экспериментального исследования операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе шарового вихревого слоя согласно методике, представленной в главе 3 представлены в таблице 3.8.

Рассмотрим подробно результаты влияния интервалов варьирования выбранных факторов на параметры назначения, характеризующие качество реализации воздействия. Под качеством реализации операционного воздействия в данном исследовании аналогично раздела 4.3 принято соотношение максимально допустимого уровня санитарно-эпидемиологических свойств при минимальном уровне экологической нагрузки и затратах электроэнергии.

Согласно нормативным документам МУ 2.1.5.800-99, ГОСТ Р 53117-2008, методикам, описанным в главе 3, а также результатам исследований [18-21, 31, 32, 120, 125-127, 130-132, 135-137, 152, 280, 304], наиболее представительными параметрами, позволяющими оценить уровень санитарно-эпидемиологического состояния и экологической нагрузки, создаваемой бесподстилочным навозом при его обеззараживании шаровым вихревым слоем аналогично разделу 4.3 являются: числа КОЕ БОЕ, ОКБ, ТТКБ.

Наиболее представительным параметром, позволяющим оценить уровень затрат электроэнергии при обеззараживании бесподстилочного навоза аналогично разделу 4.3 является удельная энергоёмкость активатора. Методика измерения и оценки которой представлены в главе 3, а также подробно описаны в результатах исследований [130, 304].

В таблице 4.3 показаны результаты экспериментальных исследований обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым вихрем слоем в активаторе. Результаты представляют собой матрицу планирования в натуральных переменных.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым вихревым слоем в активаторе на параметр КОЕ БОЕ формализованы с помощью математической модели, представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах, в качестве ограничений для которой выступили диапазоны вариации параметров, представленных в таблице 3.8:

– число КОЕ БОЕ в кодированных переменных:

$$\begin{aligned}
 y_1 = & 80,49 + 9,63x_1 + 11,56x_2 + 6,73x_3 - 15,42x_4 + \\
 & + 14,46x_5 - 8,19x_3^2 - 6,39x_5^2 - 7,68x_1x_2 - 7,68x_1x_3 - \\
 & - 7,38x_1x_4 - 7,38x_1x_5 - 7,68x_2x_3 - 7,38x_2x_4 - 7,38x_2x_5 - \\
 & - 7,38x_3x_4 - 7,38x_3x_5 - 7,68x_4x_5
 \end{aligned} \tag{4.14}$$

– число КОЕ БОЕ в натуральных переменных:

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{КОЕБОЕ}}^{\text{ш}} = & -2134,81 + 70,42\omega + 0,56m_{\text{ш}} + 13,38B + 16,03W + \\
 & + 89,40t - 0,02B^2 - 0,71t^2 - 0,006\omega m_{\text{ш}} - 0,13\omega B - \\
 & - 0,49\omega W - 0,82\omega t - 0,001m_{\text{ш}}B - 0,0037m_{\text{ш}}W - 0,0062m_{\text{ш}}t - \\
 & - 0,073BW - 0,12Bt - 0,51Wt
 \end{aligned} \tag{4.15}$$

Анализ результатов формализованных с помощью математической модели (4.15) показал, что на параметр КОЕ БОЕ оказывают влияние следующие факторы проранжировать которые согласно полученных оценок коэффициентов регрессионной математической модели в кодированных переменных (4.13) можно следующим образом: x_5 , x_4 , x_3 , x_2 , x_1 , а также для эффектов парных взаимодействий x_1x_2 , x_1x_3 , x_4x_5 , x_1x_4 , x_1x_5 , x_2x_4 , x_2x_5 , x_3x_4 , x_3x_5 , x_2x_3 . Раскодировать которые можно с помощью таблицы 3.7 представленной в главе 3.

Результаты расчёта статистических характеристик оценки достоверности математической модели (4.15) представлены в таблице Б.8 в приложении Б. Согласно сравнения расчётного и критического значения критерия Фишера F

при уровне значимости $\alpha = 0,05$ который достоверно описывает влияние исследуемых факторов на параметр КОЕ БОЕ. При этом расчётное значение критерия Фишера $F_{расч} = 3,718$, критическое значение Фишера $F_{кр} = 5,891$. Поскольку расчётное значение критерия Фишера меньше критического ($F_{расч} \leq F_{кр}$), соответственно адекватность полученной модели подтверждена.

Так как природа полученных зависимостей влияния конструктивно-технологических факторов на параметры назначения, характеризующие уровень санитарно-эпидемиологической безопасности и энергетической эффективности операционного воздействия, имеет высокую корреляцию с результатами, полученными в предыдущем разделе при проведении опытов со стержневым вихревым слоем, графической интерпретации в данном разделе будут подвергнуты только отличные от описанных выше факторы. В данном случае это зависимости, представляющие влияние массы шаровых рабочих тел и смежных с ними факторов на параметры назначения (определяющие санитарно-эпидемиологическую безопасность – КОЕ БОЕ, КОЕ ОКБ, КОЕ ТТКБ и энергетическую эффективность – удельные энергетические затраты электроэнергии.). Зависимости влияния варьируемых факторов на параметры назначения, не интерпретированные графически при необходимости можно получить исходя из математической модели (4.15).

Графическая интерпретация результатов исследования в виде математической модели (4.15) связывающей влияние варьируемых факторов на параметр числа КОЕ БОЕ при обеззараживании бесподстилочного навоза шаровым вихревым слоем в активаторе представлена на рисунках 4.33...4.34.

На рисунке 4.26 представлено влияние уровня магнитной индукции в рабочей зоне активатора и массы шаровых рабочих тел формирующих вихревой слой на число КОЕ БОЕ.

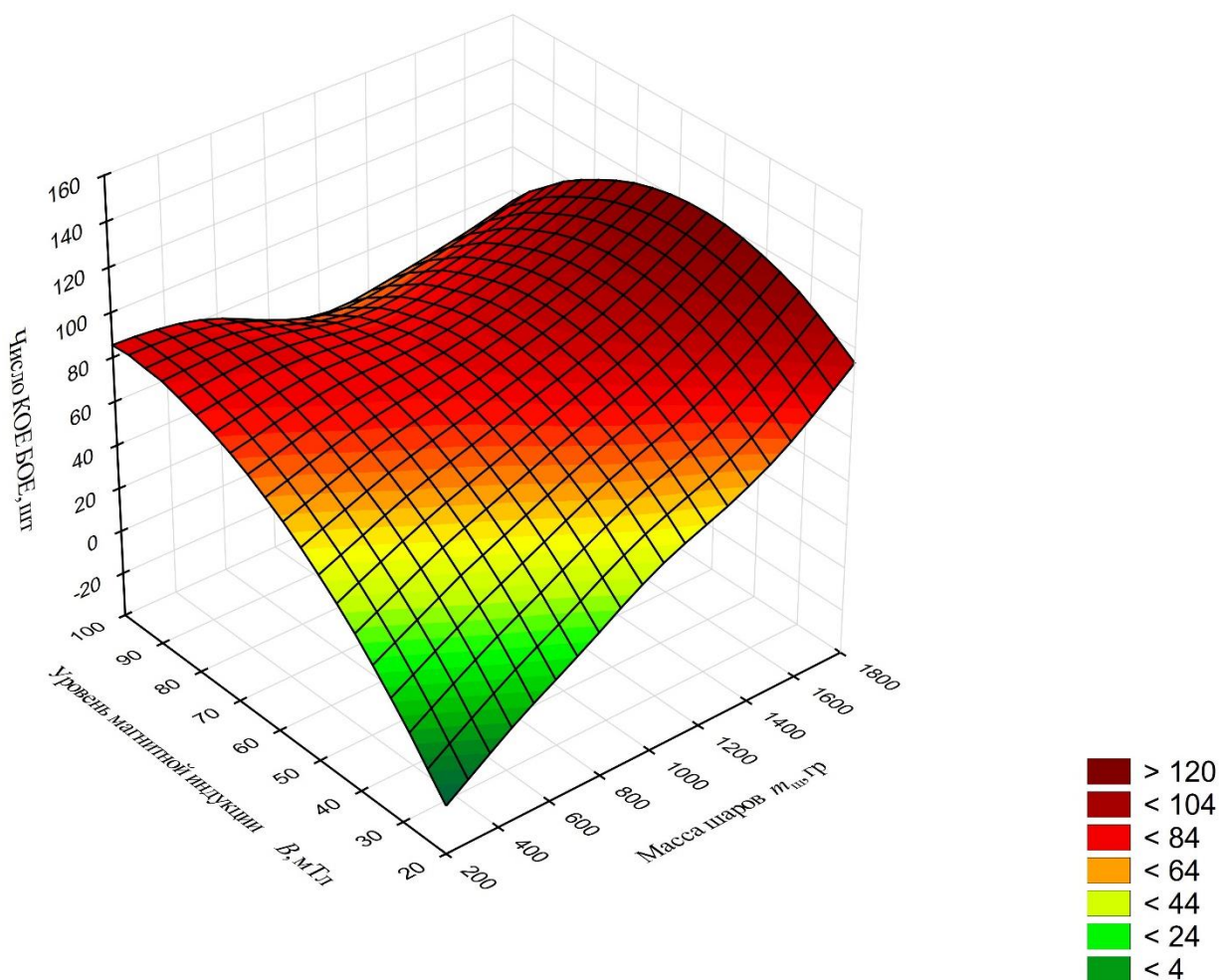


Рисунок 4.26 – Влияние уровня магнитной индукции и массы шаров на число КОЕ БОЕ

Анализ зависимости 4.26 позволил сделать следующие выводы: геометрические характеристики рабочих тел, образующих вихревой слой, оказывают существенное влияние на число КОЕ БОЕ. За счёт более сбалансированных масс шаровых рабочих тел возникновение «мёртвых зон» в технологическом пространстве минимизировано, при этом наблюдается прямо пропорциональное влияние массы на число КОЕ БОЕ. Существенное снижение санитарно-эпидемиологической эффективности операционного воздействия наблюдается при превышении массы шаровых рабочих тел более 1 550 ... 1 600 гр.

На рисунке 4.27 представлено влияние влажности бесподстилочного навоза, подаваемого в рабочую зону активатора и массы шаровых рабочих тел формирующих вихревой слой на число КОЕ БОЕ.

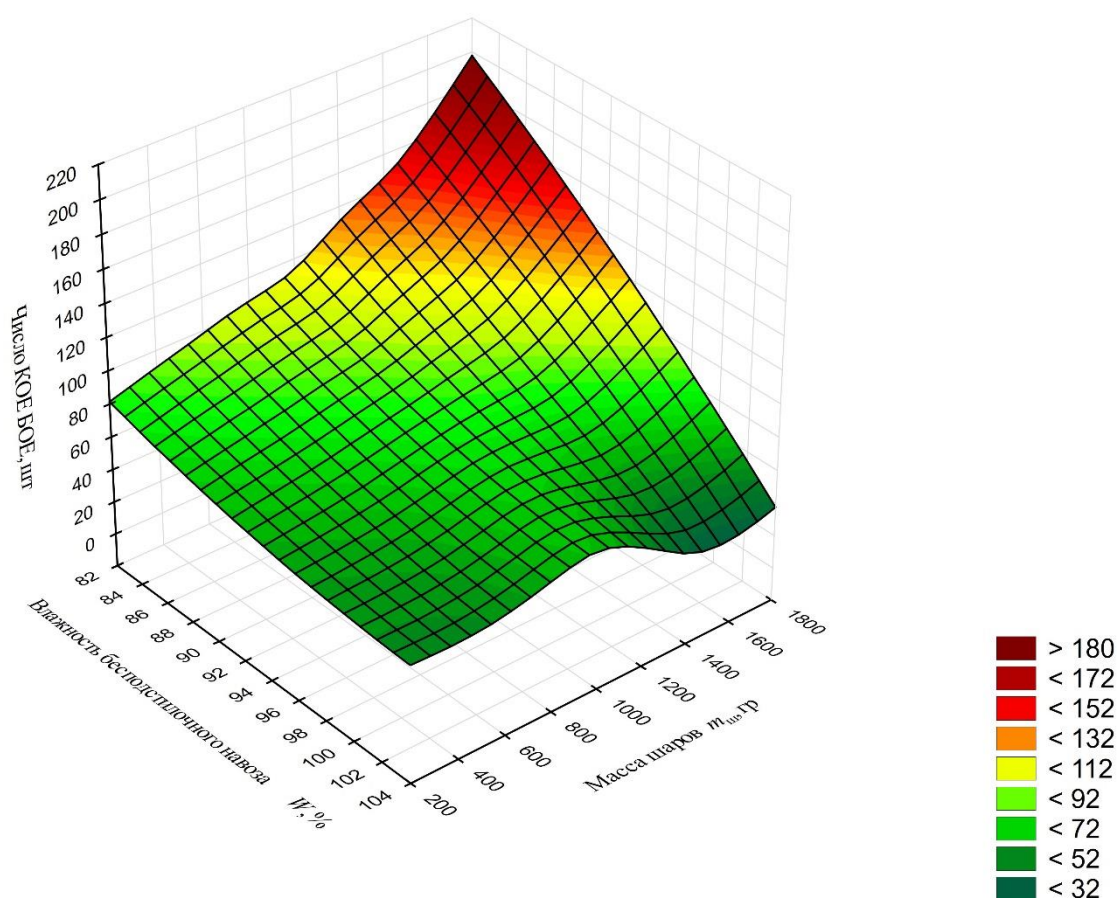


Рисунок 4.27 – Влияние влажности бесподстилочного навоза и массы шаров на число КОЕ БОЕ

Анализ зависимости 4.27 позволил сделать следующие выводы: геометрические характеристики рабочих тел, образующих вихревой слой нелинейно связаны с влажностью подаваемого в технологическую зону бесподстилочного навоза. Так наименьший санитарно-эпидемиологический эффект наблюдается при влажности бесподстилочного навоза до 89...90 %. Однако, несмотря на более низкие показатели санитарно-эпидемиологической безопасности по числу КОЕ БОЕ, превышения критического значения, регламентированного нормативными документами, не происходит.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым вихревым слоем в активаторе на параметр КОЕ ОКБ формализованы с помощью математической модели,

представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах, в качестве ограничений для которой выступили диапазоны вариации параметров, представленных в таблице 3.8:

– число КОЕ ОКБ в кодированных переменных:

$$\begin{aligned}
 y_2 = & 80,67 + 10,74x_1 + 11,32x_2 + 6,34x_3 - 15,42x_4 + \\
 & + 14,30x_5 - 7,36x_3^2 - 5,56x_5^2 - 8,00x_1x_2 - 8,00x_1x_3 - \\
 & - 7,38x_1x_4 - 7,38x_1x_5 - 8,00x_2x_3 - 7,38x_2x_4 - 7,38x_2x_5 - \\
 & - 7,38x_3x_4 - 7,38x_3x_5 - 8,00x_4x_5
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

– число КОЕ ОКБ в натуральных переменных:

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{КОЕОКБ}}^{\text{ш}} = & -2150,13 + 71,38\omega + 0,57m_{\text{ш}} + 13,22B + 16,23W + \\
 & + 89,67t - 0,018B^2 - 0,617t^2 - 0,006\omega m_{\text{ш}} - 0,13\omega B - \\
 & - 0,49\omega W - 0,82\omega t - 0,001m_{\text{ш}}B - 0,0037m_{\text{ш}}W - 0,0062m_{\text{ш}}t - \\
 & - 0,073BW - 0,12Bt - 0,53Wt
 \end{aligned} \tag{4.17}$$

Анализ результатов, формализованных с помощью математической модели (4.17), показал, что на параметр КОЕ ОКБ оказывают влияние следующие факторы, проранжировать которые по степени важности согласно полученных оценок коэффициентов регрессионной математической модели в кодированных переменных (4.16) можно следующим образом: x_4, x_5, x_3, x_2, x_1 , а также для эффектов парных взаимодействий $x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3, x_4x_5, x_1x_4, x_1x_5, x_2x_4, x_2x_5, x_3x_4, x_3x_5$. Раскодировать которые можно с помощью таблицы 3.7 представленной в главе 3.

Результаты расчёта статистических характеристик оценки достоверности математической модели (4.16) представлены в таблице Б.9 в приложении Б. Согласно сравнения расчётного и критического значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha = 0,05$ достоверно описывает влияние исследуемых факторов на параметр КОЕ ОКБ. При этом расчётное значение критерия Фишера $F_{\text{расч}} = 5,134$, критическое значение Фишера $F_{\text{кр}} = 5,891$. Поскольку

расчётное значение критерия Фишера меньше критического ($F_{расч} \leq F_{кр}$), то адекватность полученной модели подтверждена.

На рисунке 4.28 представлено влияние влажности бесподстилочного навоза, подаваемого в рабочую зону активатора, и массы шаровых тел формирующих вихревой слой на число КОЕ ОКБ.

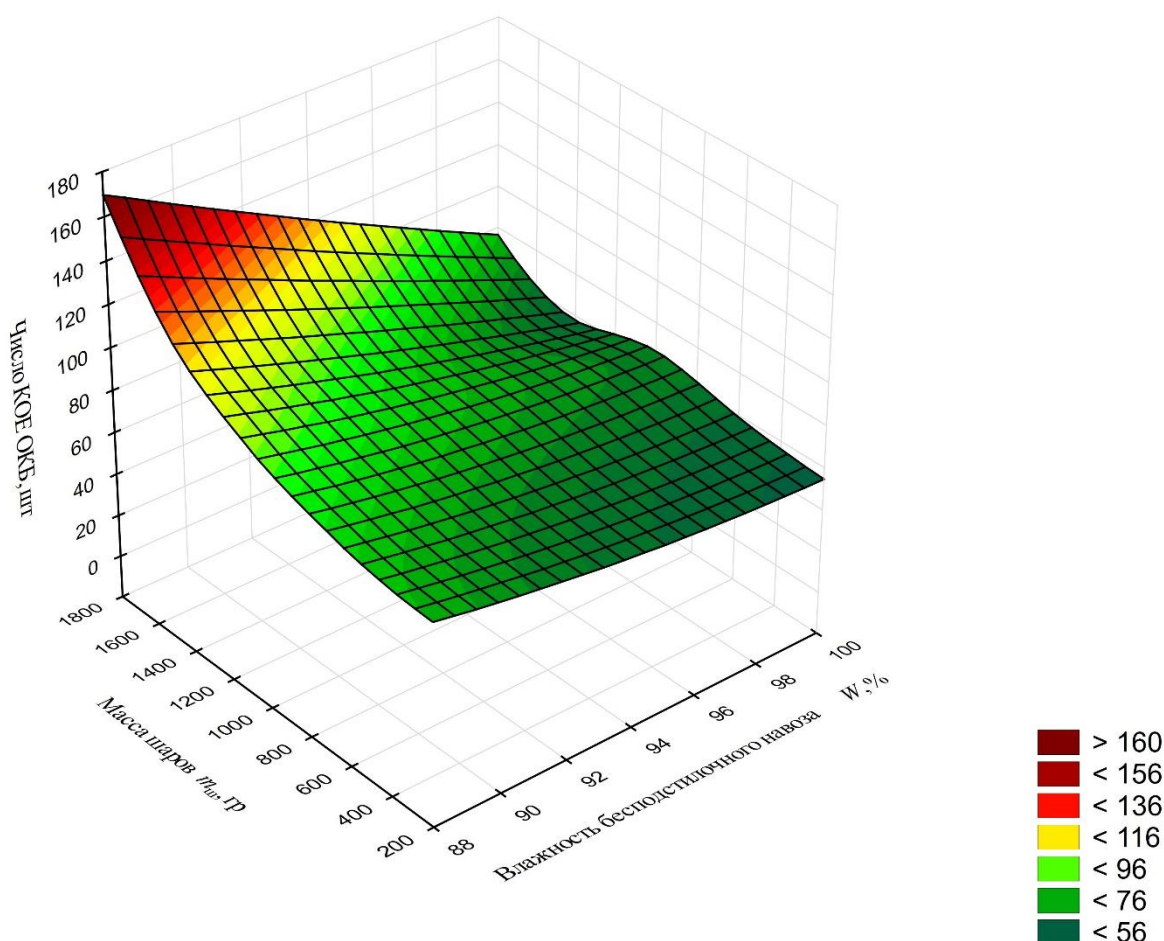


Рисунок 4.28– Влияние массы шаров и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ОКБ

Как показал анализ зависимости, представленной на рисунке 4.35 природа изменений выбранных факторов и их влияний на параметр КОЕ ОКБ коррелирует с их воздействием на параметр КОЕ БОЕ, соответственно приведённая выше интерпретация справедлива и в данных условиях.

На рисунке 4.29 представлено влияние уровня магнитной индукции в рабочей зоне активатора и массы шаровых рабочих тел, формирующих вихревой слой, на число КОЕ ОКБ.

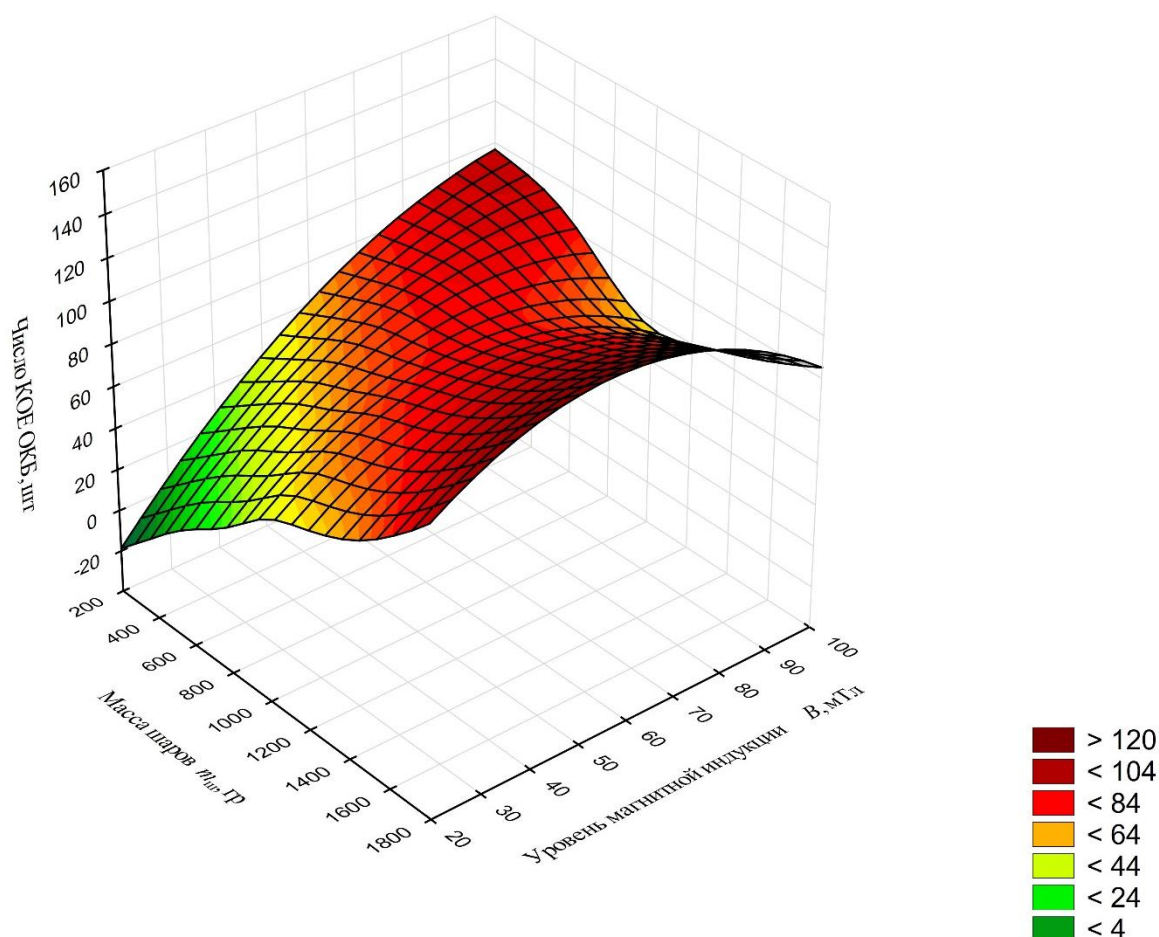


Рисунок 4.29 – Влияние массы шаров и уровня магнитной индукции на число КОЕ ОКБ

Из анализа зависимости, показанной на рисунке 4.29 видно, что природа изменений выбранных факторов и их воздействие на параметр КОЕ ОКБ коррелирует с их влиянием на параметр КОЕ БОЕ. Соответственно приведённая выше интерпретация справедлива и в данных условиях.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым вихревым слоем в активаторе на параметр КОЕ ТТКБ формализованы с помощью математической модели, представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах, в качестве ограничений для которой выступили диапазоны вариации параметров, представленных в таблице 3.8:

– число КОЕ ТТКБ в кодированных переменных:

$$\begin{aligned}
y_3 = & 77,85 + 9,41x_1 + 11,83x_2 + 6,76x_3 - 15,42x_4 + \\
& + 14,70x_5 - 6,75x_3^2 - 5,20x_5^2 - 7,30x_1x_2 - 7,30x_1x_3 - \\
& - 7,38x_1x_4 - 7,38x_1x_5 - 9,13x_2x_3 - 7,38x_2x_4 - 7,38x_2x_5 - \\
& - 7,38x_3x_4 - 7,38x_3x_5 - 7,30x_4x_5;
\end{aligned} \tag{4.18}$$

– число КОЕ ТТКБ в натуральных переменных:

$$\begin{aligned}
Y_{\text{КОЕ ТТКБ}}^{\text{ш}} = & -2081,20 + 69,65\omega + 0,56m_{\text{ш}} + 12,82B + 15,81W + \\
& + 84,75t - 0,016B^2 - 0,57t^2 - 0,006\omega m_{\text{ш}} - 0,12\omega B - \\
& - 0,49\omega W - 0,82\omega t - 0,0009m_{\text{ш}}B - 0,0037m_{\text{ш}}W - 0,0062m_{\text{ш}}t - \\
& - 0,073BW - 0,12Bt - 0,48Wt.
\end{aligned} \tag{4.19}$$

Анализ результатов формализованных с помощью математической модели (4.19) показал, что на параметр КОЕ ТТКБ оказывают влияние следующие факторы проранжировать которые по степени важности согласно полученных оценок коэффициентов регрессионной математической модели в кодированных переменных (4.18) можно следующим образом: x_5 , x_4 , x_3 , x_1 , x_2 , а также для эффектов парных взаимодействий x_1x_2 , x_1x_3 , x_2x_3 , x_4x_5 , x_1x_4 , x_1x_5 , x_2x_4 , x_2x_5 , x_3x_4 , x_3x_5 . Раскодировать которые можно с помощью таблицы 3.7 представленной в главе 3.

Результаты расчёта статистических характеристик оценки достоверности математической модели (4.19) представлены в таблице Б.10 в приложении Б. Согласно сравнения расчётного и критического значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha = 0,05$ достоверно описывает влияние исследуемых факторов на параметр КОЕ ТТКБ. При этом расчётное значение критерия Фишера $F_{\text{расч}} = 4,718$, критическое значение Фишера $F_{\text{кр}} = 5,891$. Поскольку расчётное значение критерия Фишера меньше критического ($F_{\text{расч}} \leq F_{\text{кр}}$), то адекватность полученной модели подтверждена. На рисунке 4.30 представлено влияние влажности бесподстильного навоза, подаваемого в рабочую зону активатора и массы шаровых рабочих тел формирующих вихревой слой на число КОЕ ТТКБ.

На рисунке 4.31 представлено влияние уровня магнитной индукции в рабочей зоне активатора и массы шаровых рабочих тел, формирующих вихревой слой, на число КОЕ ТТКБ.

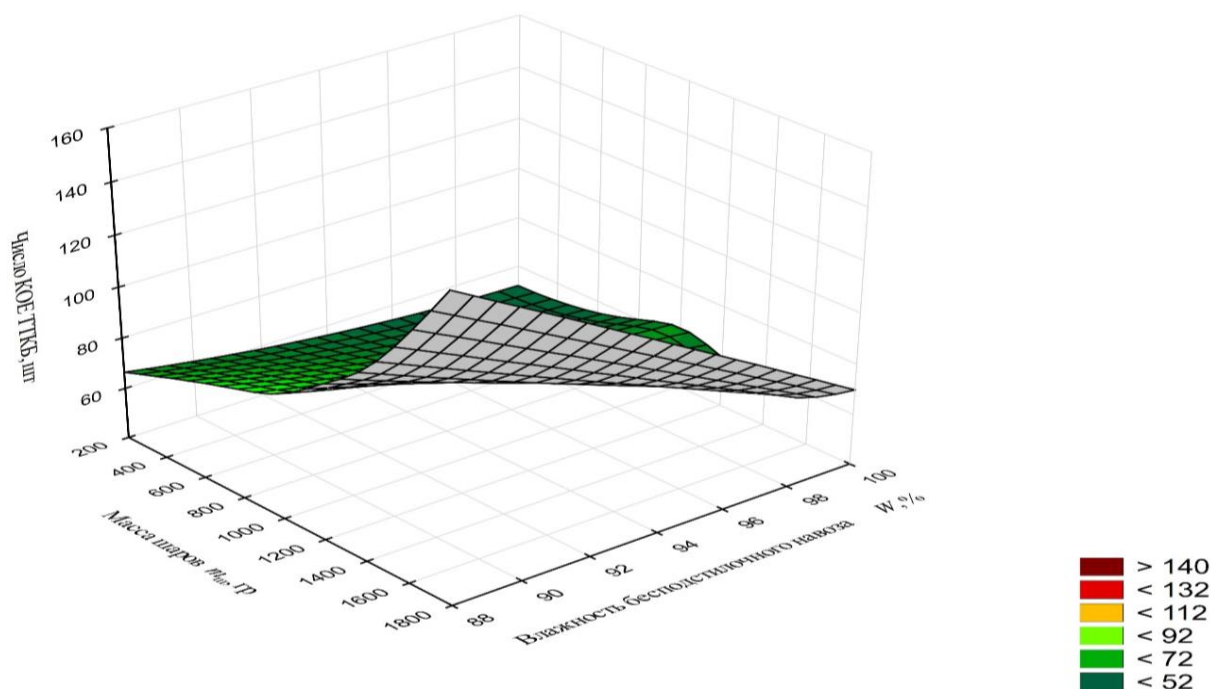


Рисунок 4.30 – Влияние массы шаров и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ТТКБ

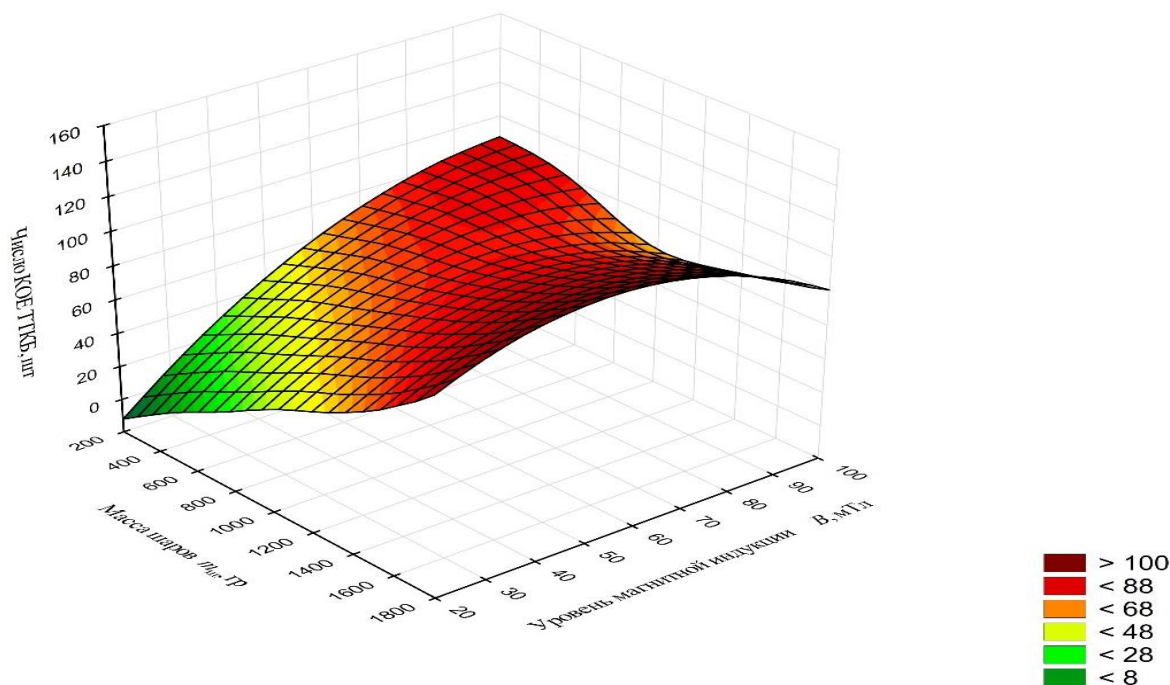


Рисунок 4.31 – Влияние массы шаров и уровня магнитной индукции на число КОЕ ТТКБ

Анализ зависимостей, представленных на рисунках 4.30 и 4.31 показал, что увеличение массы рабочих тел шаровой формы приводит к росту числа КОЕ

ТТКБ, при это рост влажности бесподстилочного навоза приводит к снижению патогенных форм, что можно объяснить минимизацией, окружающей патогенную форму питательной среды органической природы. Влияние уровня магнитной индукции на параметр числа КОЕ ТТКБ является нелинейным и требует дальнейшего исследования в рамках решения оптимизационной задачи.

Результаты экспериментального исследования влияния конструктивно-технологических факторов операционного воздействия обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым вихревым слоем в активаторе на параметр удельной энергоёмкости активатора с шаровым вихревым слоем формализованы с помощью математической модели, представленной ниже с учётом исключения функций из уравнений при статистически незначимых коэффициентах:

– удельная энергоёмкость активатора с шаровым вихревым слоем в кодированных переменных:

$$y_5 = 8,15 + 2,19x_2 + 3,07x_3 + 0,67x_1^2 + 1,15x_3^2 + 0,59x_4^2 + 1,07x_5^2 \quad (4.20)$$

– удельная энергоёмкость активатора с шаровым вихревым слоем в натуральных переменных:

$$Y_{уд,э}^{ш} = 230,14 + 0,005m_{ш} - 0,1915B + 0,074\omega^2 + 0,0029B^2 + 0,023W^2 + 0,11t^2 \quad (4.21)$$

Анализ результатов, формализованных с помощью математической модели (4.21) показал, что на параметр удельной энергоёмкости активатора с шаровым вихревым слоем оказывают влияние следующие факторы проранжировать которые по степени важности согласно полученных оценок коэффициентов регрессионной математической модели в кодированных переменных (4.20) можно следующим образом x_3, x_2, x_5, x_1 .

Результаты расчёта статистических характеристик оценки достоверности математической модели (4.21) представлены в таблице Б.11 в приложении Б.

Согласно сравнения расчётного и критического значения критерия Фишера F при уровне значимости $\alpha = 0,05$ достоверно описывает влияние исследуемых факторов на параметр удельной энергоёмкости активатора с шаровым вихревым слоем. При этом расчётное значение критерия Фишера $F_{расч} = 4,739$, критическое значение Фишера $F_{кр} = 5,780$. Поскольку расчётное значение критерия Фишера меньше критического ($F_{расч} \leq F_{кр}$), то адекватность полученной модели подтверждена. Графические интерпретации результатов исследования в виде математической модели (4.21) связывающие влияние варьируемых факторов на параметр удельной энергоёмкости активатора с шаровым вихревым слоем при обеззараживании бесподстилочного навоза в активаторе представлены на рисунках 4.32...4.41.

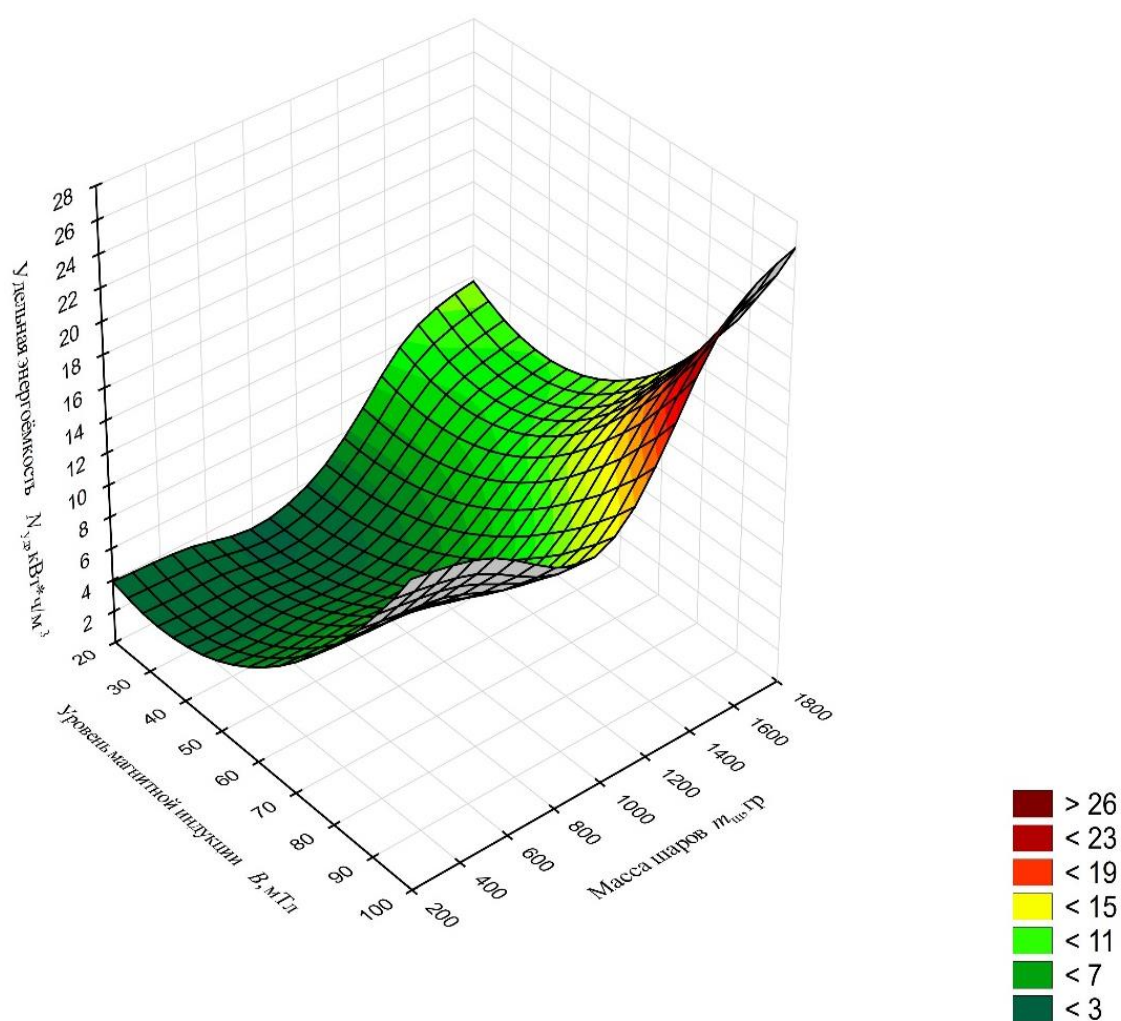


Рисунок 4.32 – Влияние уровня магнитной индукции и массы шаров на удельную энергоёмкость операционного воздействия

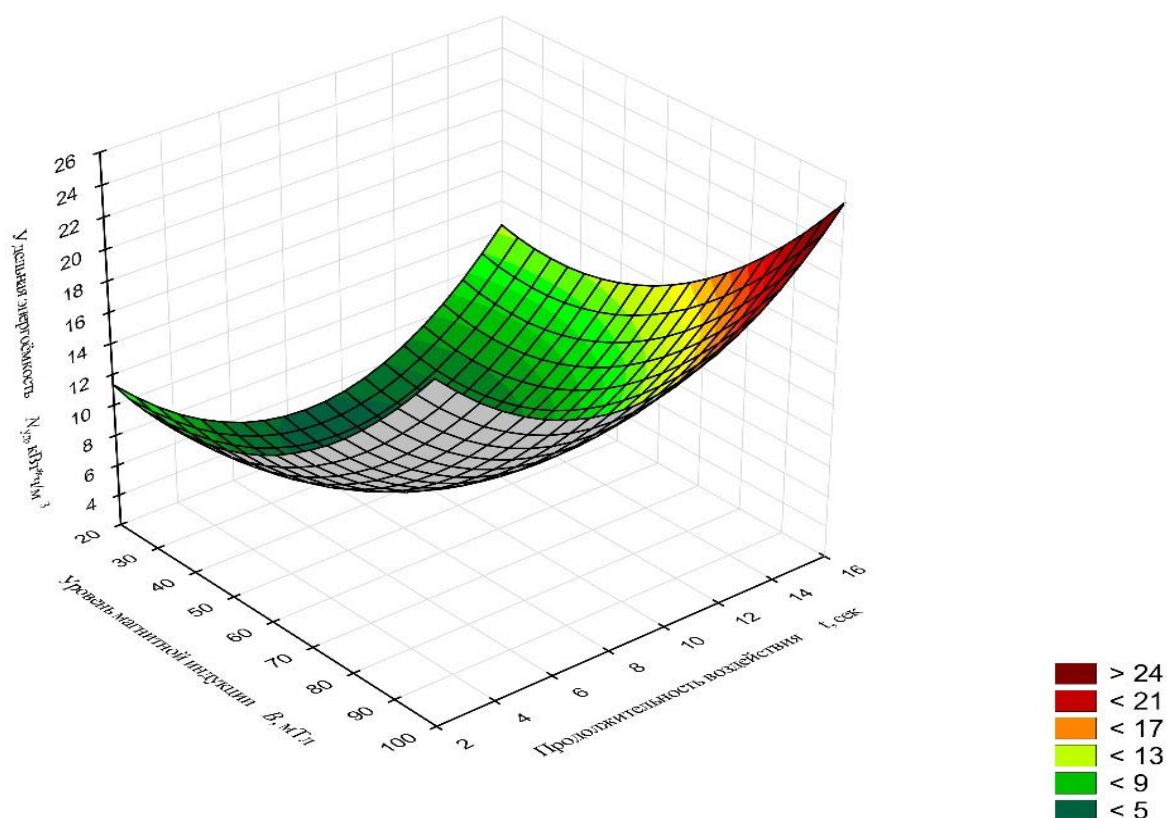


Рисунок 4.33 – Влияние уровня магнитной индукции и продолжительности воздействия (времени работы) на удельную энергоёмкость операционного воздействия

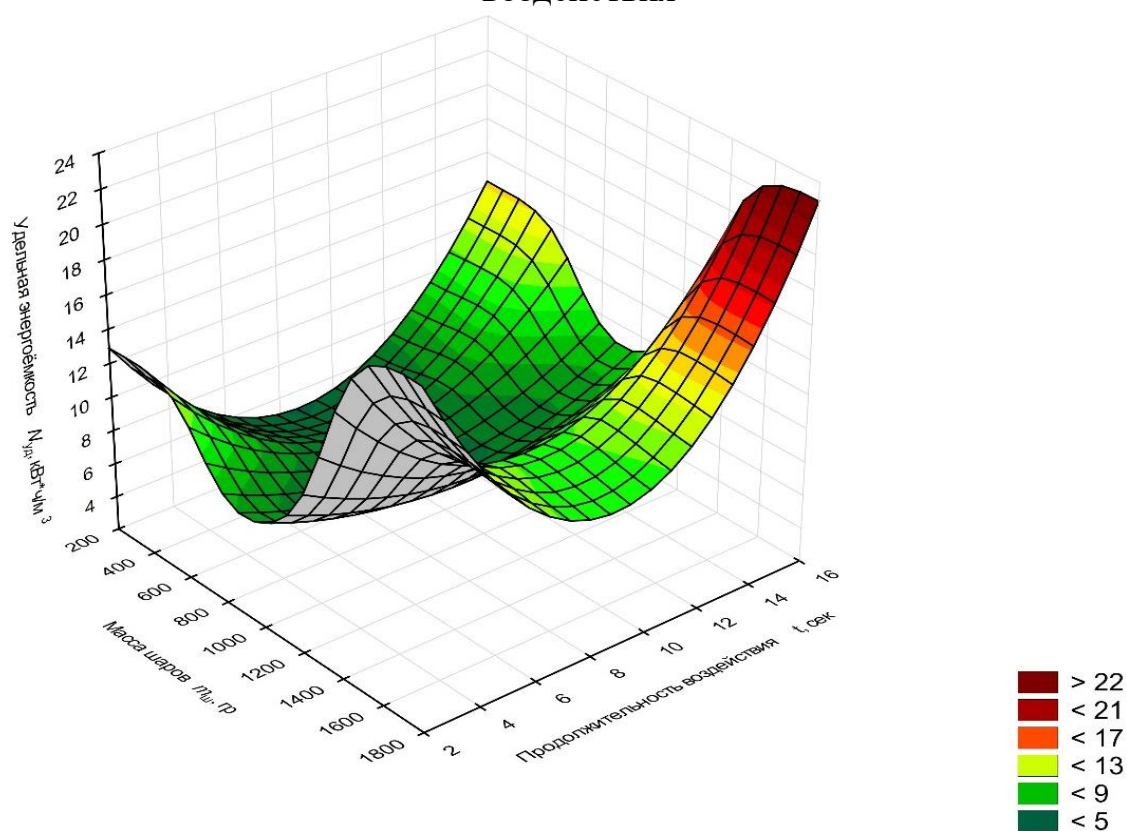


Рисунок 4.34 – Влияние массы шаров и продолжительности воздействия (времени работы) на удельную энергоёмкость операционного воздействия

Анализ зависимостей представленных на рисунках 4.39, 4.40 и 4.41 позволил сделать следующие выводы: геометрические и масса габаритные параметры рабочих тел, формирующие тип вихревого слоя, существенным образом оказывают влияние на энергетические характеристики индуктора активатора, природа влияния рассматриваемых факторов коррелирует с результатами, полученными при оценке энергетических характеристик стержневого вихревого слоя, для определения сочетаний факторов обеспечивающих максимальный энергетический и санитарно-эпидемиологический эффект выбранных параметров. Данное условие делает необходимым решение оптимизационной задачи.

Анализ результатов экспериментальных исследований интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым и шаровым вихревым слоем позволил представить сравнительные характеристики их эффективности (см. рис. 4.9...4.34, а также приложение Б, рисунки Б.1-Б.7). Представим графическую интерпретацию проведённого сравнения на рисунках 4.35 и 4.36.

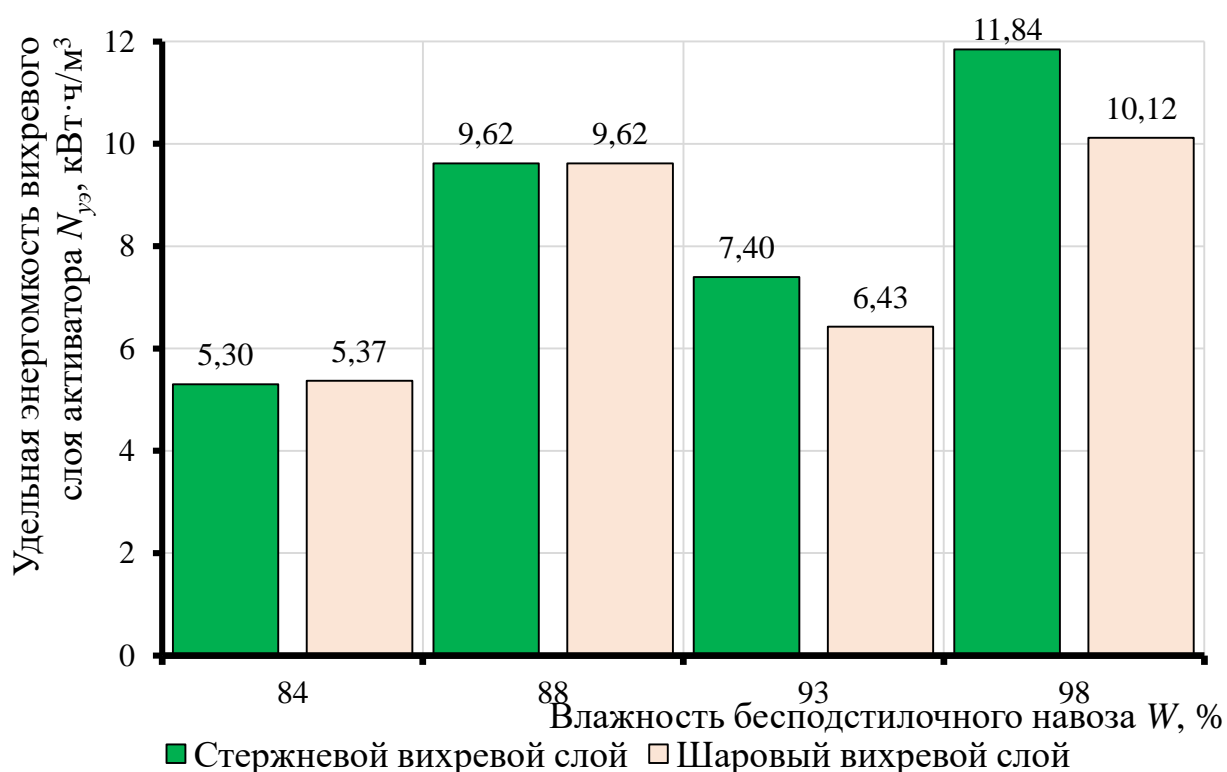


Рисунок 4.35 – Сравнительная характеристика влияния стержневого и шарового вихревого слоя на их удельную энергоёмкость

На рисунках 4.36 представлена сравнительная характеристика влияния влажности бесподстилочного навоза на эффективность обеззараживания с использованием величины обобщённого критерия экологизации, вычисленного с помощью модели (2.26) в специально разработанном программном комплексе (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021661091 РФ) с учётом ограничений, предъявляемых нормативными документами.

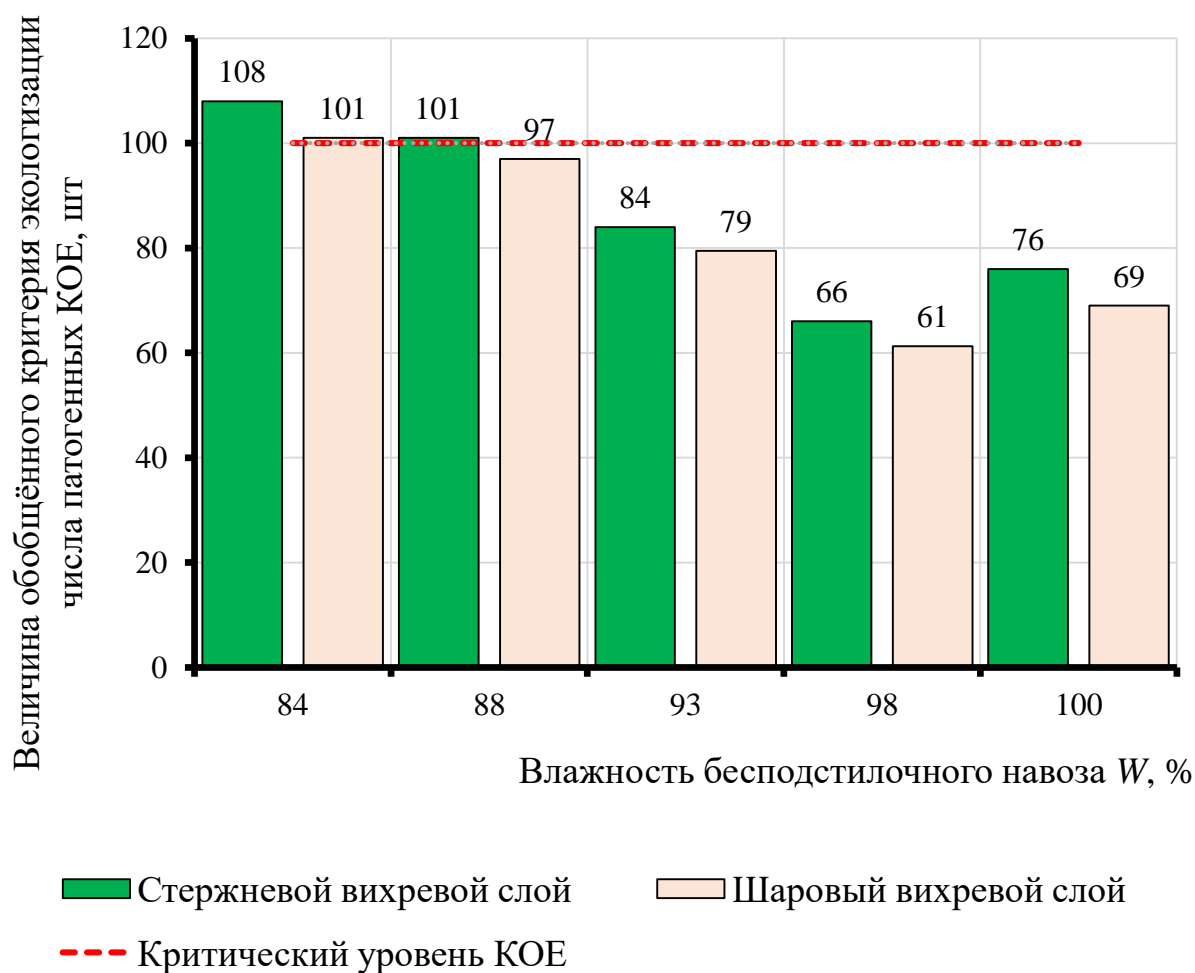


Рисунок 4.36 – Сравнительная характеристика влияния влажности бесподстилочного навоза на эффективность обеззараживания в зависимости от типа вихревого слоя

На рисунке 4.37 представлена сравнительная характеристика энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым и шаровым вихревыми слоями. Экологический эффект оценивается усреднённым числом КОЕ патогенных микроорганизмов после воздействия, а энергетический – удельной энергоёмкостью активатора.

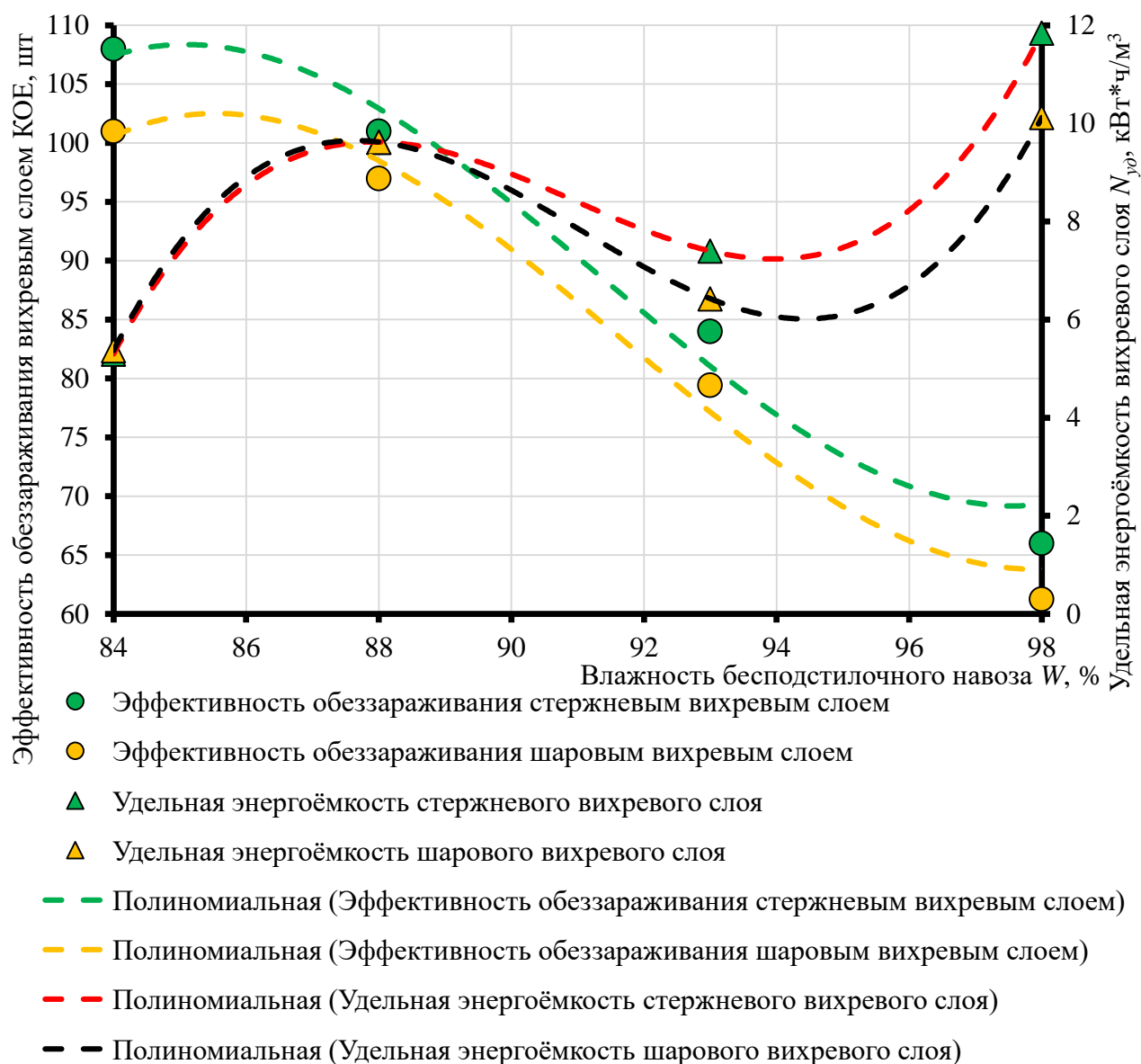


Рисунок 4.37 – Сравнительная характеристика энерго-экологической эффективности обеззараживания бесподстильного навоза вихревым слоем

Проанализировав результаты, представленные на рисунках 4.35...4.37 можно сделать вывод, что наибольший эффект с экологической и энергетической точки зрения при обеззараживании бесподстильного навоза обеспечивается шаровым вихревым слоем.

На основании проведённых экспериментальных исследований интенсификации обеззараживания бесподстильного навоза шаровым слоем в активаторе установлено следующее:

1. Получены математические модели в виде квадратичных полиномов адекватно критерию Фишера характеризующие и формализующие влияние

концентрации реагента, массы стержней, уровня магнитной индукции в технологической зоне, влажности бесподстилочного навоза, а также продолжительности воздействия.

2. Установлено, что увеличение массы стержней квадратичным образом влияет на удельную энергоёмкость операционного воздействия, а также уровень санитарно-эпидемиологической безопасности бесподстилочного навоза, характеризуемый рассматриваемыми числами КОЕ, таким образом при превышении отметки массы стержней в 1 550 гр. ... 1 600 гр. наблюдается существенный рост удельной энергоёмкости и санитарно-эпидемиологической нагрузки при падении уровня экологической безопасности, что примерно на 500 гр. выше чем в случае со стержневым вихревым слоем. Объяснить данное явление можно за счёт улучшенных массо- инерционных характеристик шарового вихревого слоя относительно стержневого.

3. Установлено, что концентрация химического реагента не оказывает максимально эффективное воздействие на уровень санитарно-эпидемиологической нагрузки, что позволяет сделать заключение о достаточной эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе без химических реагентов, преимуществами которого является существенная минимизация отрицательных побочных продуктов обеззараживания.

4. Установлено, что рационально использовать химический реагент только при необходимости обеспечения пролонгированного бактерицидного эффекта при некоторых направлениях утилизации.

5. Полученные математические модели (4.15), (4.17), (4.19), (4.21) представляют собой исходные данные для решения оптимизационной задачи поиска сочетаний варьируемых факторов, обеспечивающих максимальный уровень санитарно-эпидемиологической нагрузки и экологической безопасности обеззараживаемого материала при минимально возможных удельных затратах энергии, а также формирования цифровизированной

системы оценки и прогнозирования энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.

4.5. Обоснование параметров энергоэффективной интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым и шаровым вихревыми слоями

После проведения экспериментальных исследований и математической формализации параметров назначения определяющих энерго-экологическую эффективность операционного воздействия активатора с варьируемыми факторами для достижения максимального результата перейдём к решению оптимизационной задачи.

Первым этапом решения оптимизационной задачи является её формулировка. Для формулировки оптимизационной задачи примем входные значения диапазонов вариации факторов, ограничения и их форму, а также целевую функцию и её назначение.

Согласно исследованиям [18-21, 31, 32, 120, 125-127, 130-132, 135-137, 152, 280, 304], в качестве входных факторов примем следующие переменные в соответствующих диапазонах вариации:

- концентрацию активного хлора ω в мг/л от 10 до 16 мг/л;
- массу рабочих тел m_{pt} , гр. от 600 до 1 400 гр.;
- уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора B , мТл от 40 до 80 мТл;
- влажность бесподстилочного навоза W в % от 88 до 98 %;
- продолжительность совместного воздействия t , сек от 6 до 12 сек.

Согласно МУ 2.1.5.800-99 и [18-21, 31, 32, 120, 125-127, 130-132, 135-137, 152, 280, 304], в качестве ограничений примем число КОЕ БОЕ, КОЕ ОКБ, КОЕ ТТКБ ≤ 100 шт. описанные уравнениями (4.6), (4.8), (4.10), (4.14), (4.16), (4.18), как наиболее представительные индикаторы.

В качестве целевой функции примем удельную энергоёмкость активатора обеззараживания как параметр наиболее представительного характеризующий уровень энергетической эффективности операционного воздействия.

После выбора входных воздействий их диапазонов, ограничений, а также целевой функции представим на рисунках 4.38 и 4.39 блок-схемы оптимизационной задачи для стержневого и вихревого слоёв.

Проанализировав блок-схему сформулированной оптимизационной задачи, представленной на рисунке 4.38 сформулируем её с технико-экономической точки зрения как последовательность итераций необходимых для достижения наилучшего энерго-экологического эффекта при минимальных удельных затратах энергии и максимальной санитарно-экологической безопасности, характеризуемой значениями чисел КОЕ патогенных индикаторов не превышающих критические значения установленные соответствующими нормативными документами. С математической точки зрения данная оптимизационная задача представляет собой нахождение минимума или максимума целевой функции в некоторой области конечномерного пространства, ограниченного набором линейных и нелинейных неравенств [130].

Согласно анализу источников [7, 35, 89, 130, 203], существует большое число математических методов и множество критериев их выбора. Наиболее широкое применение при синтезе параметров технических систем нашли следующие методы: метод крутого спуска или восхождения, метод градиентов, метод штрафных функций, метод полного перебора и др. Естественно, что каждый из методов обладает своими достоинствами и недостатками, в общем виде которые можно свести к ресурсоёмкости вычислительных мощностей, длительности реализации алгоритма, а также достоверности получаемых данных, связанных с принятием локального экстремума целевой функции за глобальный. Чтобы избежать обозначенные выше недостатки, произведём оценку монотонности целевых функций с помощью частных производных [44, 203].

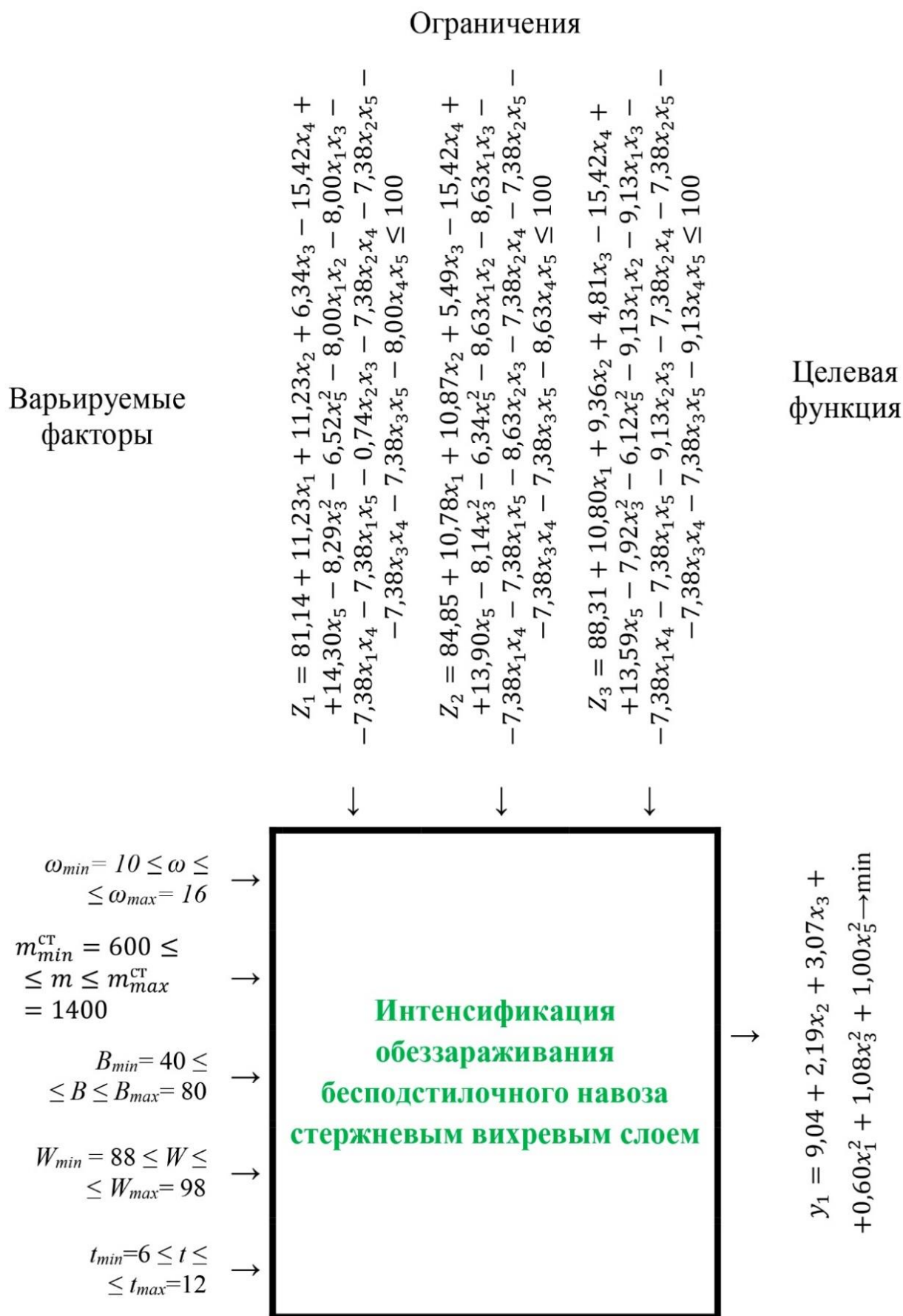


Рисунок 4.38 – Блок-схема оптимизационной задачи определения параметров интенсификации стержневого вихревого слоя

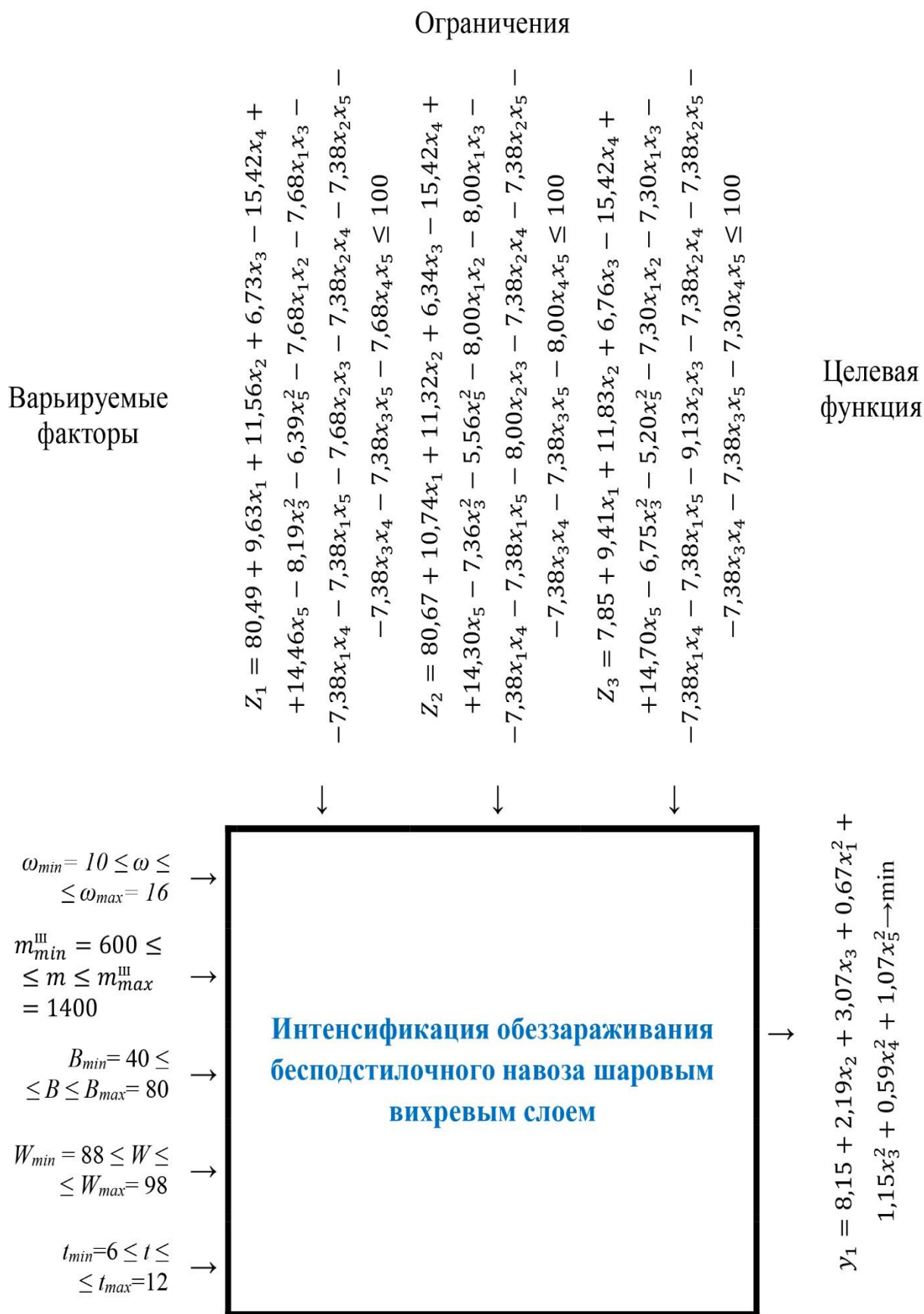


Рисунок 4.39 – Блок-схема оптимизационной задачи определения параметров интенсификации шарового вихревого слоя

Произведём оценку монотонности функции (4.12) удельной энергоёмкости стержневого вихревого слоя с помощью частных производных:

$$\begin{aligned}\frac{dy_4}{dx_1} &= 1,2x_1; \\ \frac{dy_4}{dx_2} &= 2,19; \\ \frac{dy_4}{dx_3} &= 3,07 + 2,16x_3; \\ \frac{dy_4}{dx_5} &= 2x_5.\end{aligned}\tag{4.22}$$

Система уравнений при этом примет вид:

$$\begin{cases} 2x_1 = 0; \\ 2,19 = 0; \\ 3,07 + 2,16x_3 = 0; \\ 2x_5 = 0. \end{cases}\tag{4.23}$$

Полученная система уравнений (4.22) несовместна, и не имеет решений в области допустимых значений переменных. Поэтому функция (4.12) не имеет критических точек, а, следовательно, и точек экстремума, что позволяет осуществлять поиск наибольшего или наименьшего значения функции (4.12) на границе допустимых значений ее переменных, соответственно функция монотонна и возможно использовать любой метод оптимизации.

Произведём оценку монотонности функции (4.21) удельной энергоёмкости стержневого вихревого слоя с помощью частных производных:

$$\begin{aligned}\frac{dy_5}{dx_1} &= 1,34x_1 \\ \frac{dy_5}{dx_2} &= 2,19 \\ \frac{dy_5}{dx_3} &= 3,07 + 2,3x_3 \\ \frac{dy_5}{dx_4} &= 1,18x_4 \\ \frac{dy_5}{dx_5} &= 2,14x_5\end{aligned}\tag{4.24}$$

Система уравнений при этом примет вид:

$$\begin{cases} 1,34x_1 = 0; \\ 2,19 = 0; \\ 3,07 + 2,3x_3 = 0; \\ 1,18x_4 = 0; \\ 2,14x_5 = 0. \end{cases} \quad (4.25)$$

Полученная система уравнений (4.22) несовместна, и не имеет решений в области допустимых значений переменных. Поэтому функция (4.21) не имеет критических точек, а, следовательно, и точек экстремума, что позволяет осуществлять поиск наибольшего или наименьшего значения функции (4.21) на границе допустимых значений ее переменных, соответственно функция монотонна и возможно использовать любой метод оптимизации.

Как показал анализ информационных источников, а также результаты исследований [7, 35, 89, 130, 134, 136, 203], наиболее приемлемым методом решения поставленной оптимизационной задачи является метод полного перебора. Суть метода полного перебора заключается в последовательном движении в рассматриваемой области конечномерного пространства, ограниченного набором линейных и нелинейных неравенств, в соответствии с выбранной дискретизацией, представляющей расчет всех возможных вариантов сочетания искомых параметров системы в задаваемых интервалах их изменения.

В качестве инструмента реализации сформулированной оптимизационной задачи с учётом приемлемости метода использовался специально разработанный программный пакет Optimum agriculture system v. 1.0 (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2019616853 РФ) подробно описанный в разделе 3.3.3. В таблицах 4.1 и 4.2. Представлены результаты решения оптимизационной в программном продукте Optimum agriculture system v. 1.0, а на рисунках Б.8 и Б.9 представленных в приложении Б каптуры их вычислений для каждого типа ограничений.

Таблица 4.1 – Результаты решения оптимизационной задачи обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым вихревым слоем в активаторе

№	Исходные данные формулировки оптимизационной задачи				Результаты решения оптимизационной задачи			
	Наименование варьируемых факторов	Диапазоны варьирования факторов	Ограничения	Критерий оптимальности – удельная энергоёмкость стержневого вихревого слоя, кВт*ч/м ³	Значения факторов обеспечивающие достижение критерия оптимальности	Достигнутые в ходе решения оптимизационной задачи значения ограничений	Достигнутое в ходе решения оптимизационной задачи значение критерия оптимальности, кВт*ч/м ³	
1	Концентрация активного хлора ω в мг/л	$\omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max}$	$z1 \leq 100$	$y_4 = 9,04 + 2,19x_2 + 3,07x_3 + 0,60x_1^2 + 1,08x_2^2 + 1,00x_5^2 \rightarrow \min$	– 0,2	40	4,942	
2	Масса стержней $m_{ст}$, гр	$m_{ст\ min} \leq m_{ст} \leq m_{ст\ max}$			– 1			
3	Магнитная индукция B в мТл	$B_{min} \leq B \leq B_{max}$	$z2 \leq 100$		– 1	37		
4	Влажность бесподстилочного навоза W , %	$W_{min} \leq W \leq W_{max}$			– 1			
5	Продолжительность воздействия t в с	$t_{min} \leq t \leq t_{max}$	$z3 \leq 100$		– 0,2	42		

Таблица 4.2 – Результаты решения оптимизационной задачи обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым вихревым слоем в активаторе

№	Исходные данные формулировки оптимизационной задачи				Результаты решения оптимизационной задачи		Достигнутое в ходе решения оптимизационной задачи значение критерия оптимальности, кВт*ч/м³
	Наименование варьируемых факторов	Диапазоны варьирования факторов	Ограничения	Критерий оптимальности – удельная энергоёмкость стержневого слоя, кВт*ч/м³	Значения факторов обеспечивающие достижение критерия оптимальности	Достигнутые в ходе решения оптимизационной задачи значения ограничений	
1	Концентрация активного хлора ω в мг/л	$\omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max}$	$z_1 \leq 100$	$y_4 = 9,04 + 2,19x_2 + 3,07x_3 + 0,60x_1^2 + 1,08x_2^2 + 1,00x_5^2 \rightarrow \min$	– 0,2	34	4,132
2	Масса стержней $m_{ст}$, гр	$m_{ст min} \leq m_{ст} \leq m_{ст max}$			– 1		
3	Магнитная индукция B в мТл	$B_{min} \leq B \leq B_{max}$	– 1				
4	Влажность бесподстилочного навоза W , %	$W_{min} \leq W \leq W_{max}$	– 0,2				
5	Продолжительность воздействия t в с	$t_{min} \leq t \leq t_{max}$	$z_3 \leq 100$		– 0,2	31	

В результате решения оптимизационной задачи установлены сочетания факторов, обеспечивающих минимальные затраты энергии при достижении максимального санитарно-эпидемиологического эффекта для интенсификации стержневым вихревым слоем:

- концентрация активного хлора $\omega = 7,2$ мг/л;
- масса стержней $m_{cm} = 600$ гр.;
- уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора $B = 40$ мТл;
- влажность бесподстилочного навоза $W = 88$ %;
- продолжительность совместного воздействия $t = 6,2$ с.

При этом уровень удельной энергоёмкости составляет $N = 4,942$ кВт·ч/м³.

В результате решения оптимизационной задачи установлены сочетания факторов, обеспечивающих минимальные затраты энергии при достижении максимального санитарно-эпидемиологического эффекта для интенсификации шаровым вихревым слоем:

- концентрация активного хлора $\omega = 7,0$ мг/л;
- масса стержней $m_{ш} = 600$ гр.;
- уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора $B = 40$ мТл;
- влажность бесподстилочного навоза $W = 90$ %;
- продолжительность совместного воздействия $t = 6,1$ с.

При этом уровень удельной энергоёмкости составляет $N = 4,132$ кВт·ч/м³.

Как показал анализ результатов решения оптимизационной задачи наибольший энерго-экологический эффект интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза вихревым слоем достигается в случае использования стержневого слоя при влажности исходного технологического материала 88 %, а также при использовании шарового слоя при влажности 90 %.

Полученные результаты представляют собой исходные для разработки цифровизированного пакета оценки энергоэффективности обеззараживания вихревым слоем в активаторе.

4.6. Выводы по главе

В ходе проведённого исследования получены следующие выводы:

1. Проведено имитационное моделирование интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза двумя типами вихревого слоя – шаровым и стержневым в среде пакета Comsol Multiphysic, в ходе которого установлено, что использование шарового вихревого слоя является наиболее привлекательным с точки зрения энергетической эффективности, проведены экспериментальные исследования подтверждающие данную гипотезу.

2. Результаты имитационного моделирования энергетической эффективности активатора бесподстилочного навоза в зависимости от типа вихревого слоя и экспериментальной оценки их достоверности формализованы с помощью математических моделей (4.3) и (4.4).

3. Проведены экспериментальные исследования интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым вихревым слоем в активаторе, получены математические модели (4.7), (4.9), (4.11), (4.13), формализующие и позволяющие оценить энерго-экологическую эффективность операционного воздействия.

4. Осуществлены экспериментальные исследования интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым вихревым слоем в активаторе, получены математические модели (4.15), (4.17), (4.19), (4.21), формализующие и позволяющие оценить энерго-экологическую эффективность операционного воздействия.

5. Обоснован способ обеспечения максимальной энергоэффективной интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза вихревым слоем, основанный на решении оптимизационной задачи в полученных формализованных моделями (4.7), (4.9), (4.11), (4.13), (4.15), (4.17), (4.19), (4.21) граничных условиях; разработан программный продукт реализации предлагаемого способа (Optimum agriculture system v. 1.0 (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2019616853 РФ).

6. Установлены параметры, обеспечивающие максимальную энергетическую эффективность операционного воздействия интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза, для стержневого вихревого слоя – концентрация активного хлора $\omega = 7,2$ мг/л; масса стержней $m_{cm} = 600$ гр.; уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора $B = 40$ мТл; влажность бесподстилочного навоза $W = 88$ %; продолжительность совместного воздействия $t = 6,2$ с, уровень удельной энергоёмкости при этом составляет $N = 4,942$ кВт·ч/м³; для шарового вихревого слоя – концентрация активного хлора $\omega = 7,0$ мг/л; масса стержней $m_{ш} = 600$ гр.; уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора $B = 40$ мТл; влажность бесподстилочного навоза $W = 90$ %; продолжительность совместного воздействия $t = 6,1$ с; при этом уровень удельной энергоёмкости составляет $N = 4,132$ кВт·ч/м³, данные параметры получены исходя из производительности обработки бесподстилочного навоза 30 м³/час.

5. Разработка цифровизированной системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза

5.1. Постановка задачи

На основании результатов исследований, полученных в разделах 2, 3, 4 установлено, что разработка цифровизированной системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза должна иметь модульную структуру. Преимуществами модульной структуры цифровизированной системы является возможность интеграции в неё дополнительных модулей необходимых при эксплуатации, а также простота совершенствования алгоритмов каждого из модулей [104, 140, 161, 226, 229, 261, 277, 278, 289]. Соответственно, целью настоящего раздела является разработка цифровизированной системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.

На основании изложенного были сформулированы следующие задачи раздела, обеспечивающие достижение поставленной цели:

1. Разработать системные требования к программной части цифровизированной системы.
2. Обосновать модульную структуру цифровизированной системы и механизмы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза.
3. Описать методики реализации выбранных модулей цифровизированной системы.
4. Описать элементы интерфейса программного продукта и сценарий его взаимодействия с пользователем.

5.2. Разработка требований к программному продукту

Эффективная цифровизация сельского хозяйства подразумевает использование и адекватную реализацию предлагаемых решений на технических средствах различной вычислительной мощности, а также в

условиях отсутствия интернет соединения, было принято решение о создании кросс платформенного программного решения. Кросс платформенность разрабатываемой цифровизированной системы позволяет одновременно эффективно использовать её как на мобильных устройствах, так и на стационарных ПК. На основании этого были сформулированы следующие системные требования к техническим средствам, реализующим цифровизированную систему повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза, в общем виде свести которые представлены на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Структура взаимодействия требований и свойств, предъявляемых к техническим средствам цифровизированной системы повышения эффективности обеззараживания

Системные требования при этом представляют операционную систему Windows 7 (или выше); процессор — с тактовой частотой 2 ГГц и выше; ОЗУ – 2 Гб для 32 или 4 Гб для 64-разрядного процессора; место на жестком диске – 2 Гб, разрядность – 32 и 64 бита. Также требуется реализация следующих условий:

1. Использование распределённых архитектур конфигурации динамически организованных сервисов виртуальных машин, при повышении эксплуатационной стабильности цифровизированной системы как элемента программно-аппаратного комплекса (ПАК).

2. Соблюдение условий эффективности эксплуатации требующих реализации пользователем инструкций по установке и первичной наладки системы безопасности, предотвращающей несанкционированные вторжения, а также индикацию последствий использования ресурсов ПАК неавторизованными пользователями.

3. Наличие отказоустойчивой системы управления распределёнными ресурсами виртуальных машин.

4. Наличие пограничных систем обнаружения вторжений для основных подсистем узла.

5. Минимальные системные требования программной части: IBM PC – совместимость: не ниже Pentium 4 3,0 ГГц, минимальный объём оперативной памяти – 4 Гбайт, наличие операционной системы Windows 7-10.

5.3. Описание методологических основ реализации программных модулей

5.3.1. Моделирование экологической нагрузки

Оценка уровня экологической нагрузки, создаваемой предприятиями животноводства их органическими отходами на окружающие их био-агроценозы является важным этапом экологизации производств. Для

реализации которого рационально использовать цифровизированные смарт системы, которые в настоящее время отсутствуют.

На основании анализа источников [29, 90, 91, 104, 226, 229, 261, 289], результатов исследований [19, 21, 28, 31] была сформирована следующая концепция модуля моделирования экологической нагрузки создаваемой животноводческими предприятиями. Установлено, что моделирование данных характеристик является сложным многофакторным процессом, зависящим от производственной мощности, технологии содержания животных, их типа, способа кормления, а также доступных направлений утилизации. Целью данного модуля, разрабатываемой смарт системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза, является цифровизация и формализация данных факторов.

Первым этапом разработки модуля является оценка потенциального объёма органических отходов и их энергетического потенциала, для определения последующего эффективного направления использования. С этой целью были разработаны методики, описанные в работе [31]. В общем виде составляющие, оказывающие влияние на общий объём образуемых органических отходов животноводства представлены моделью (1.10) и подробно описаны автором в работе [31].

В приложении В на рисунках В.1 и В.2 приведены основы входного интерфейса модуля (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021661091 РФ), на примере свиноводческого хозяйства. Данный модуль позволяет осуществлять моделирование экологической нагрузки как с бесподстилочным, так и с подстилочным вариантом содержания животных. В случае с подстилочным вариантом содержания необходимо перевести «Выключатель», расположенный в левом нижнем углу каждого окна, определяющего принадлежность к половозрастной группе.

После введения первичных данных, по методикам, описанным в [19, 21, 28, 31] можно осуществить расчёт энергетического потенциала нажав клавишу в правом нижнем углу экрана «*Результат*». На рисунке 5.2 показан пример

представления результатов моделирования биогенных свойств бесподстилочного навоза в зависимости введенных исходных данных.

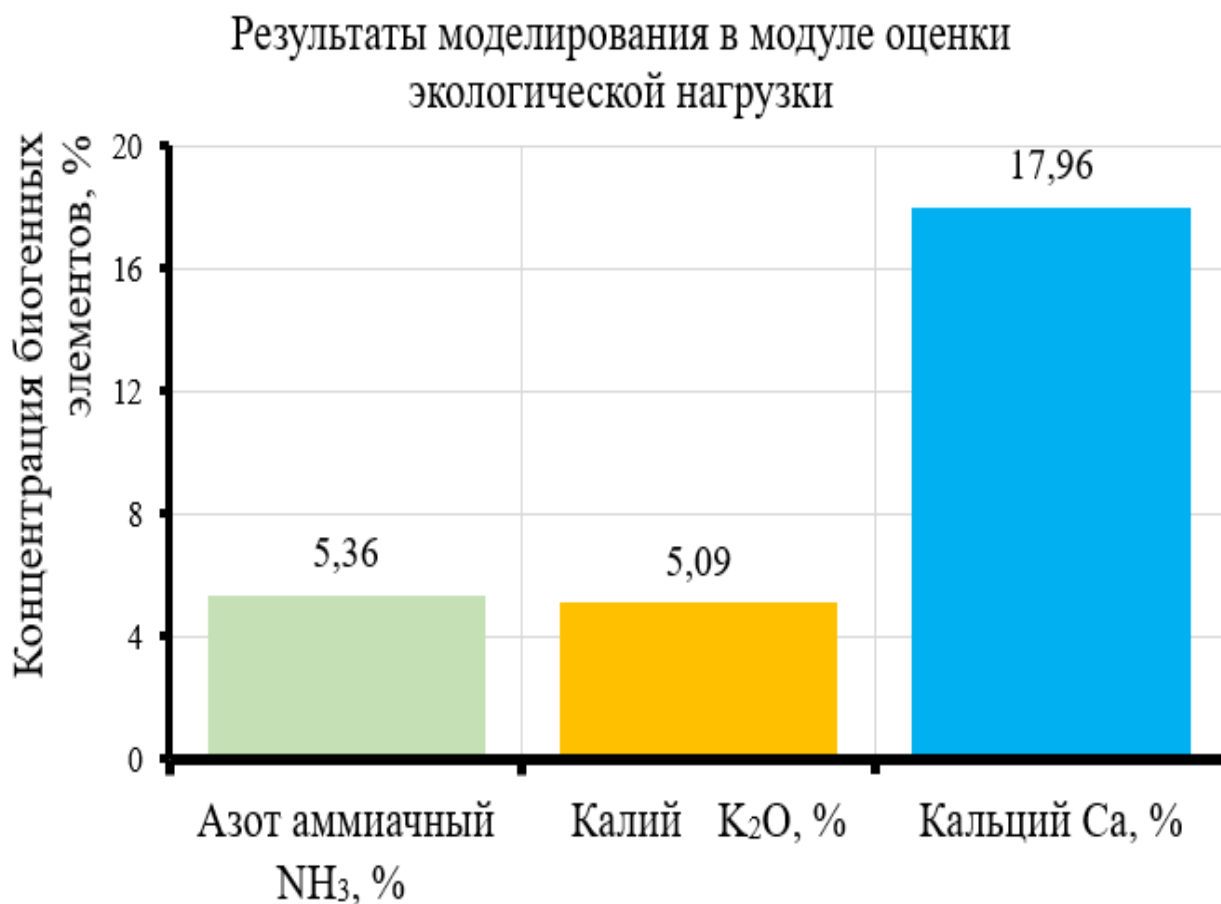


Рисунок 5.2 – Результаты моделирования биогенных свойств бесподстилочного навоза в модуле моделирования экологической нагрузки

После анализа результатов предварительного моделирования и повторного нажатия на клавишу «Результат», модуль предлагает доступные и наиболее эффективные способы обеззараживания образованных органических отходов. В приложении В в таблице В.1 представлен пример вывода доступных технологий экологически безопасной подготовки образованных органических отходов к обеззараживанию. Предлагаемые в таблице 5.1 технологии подготовки бесподстилочного навоза и органических отходов к обеззараживанию представляют собой последовательности операционных воздействий, выведенные на основании анализа информационных источников, проведенного в разделе 2.6, а также результатов предварительных

исследований [19, 21, 28, 31, 280, 298]. Однако, установлено, что наиболее эффективным с экологической точки зрения является использование технических средств, обеспечивающих дополнительный эффект обеззараживания, что позволяет сохранить энергетический потенциал, а также снизить уровень экологической нагрузки.

Разработанный модуль позволяет оценить кроме объёма отходов, создаваемых хозяйством, также их потенциальный уровень экологической нагрузки, по следующим параметрам:

- число колониеобразующих единиц (КОЕ) бактерий группы кишечных палочек, шт;
- число КОЕ бактерий группы стафилококков, шт;
- число КОЕ бактерий группы энтерококков, шт;
- число КОЕ бактерий группы аэробных спорообразующих микроорганизмов, шт;
- число КОЕ яиц: аскариды, трихоцефала, эзофагостом, фасциол, личинок стронгилят, крысиного цепня, клещей, шт;
- число КОЕ цист простейших и ооцист эймерий, шт.

Ниже на рисунках 5.3 и 5.4 представлены результаты моделирования уровня экологической нагрузки, создаваемой свинокомплексом при бесподстилочном содержании.

В результате моделирования уровня экологической нагрузки в модуле цифровизированной смарт системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021661091 РФ), и последующем нажатии на клавишу «Результат» получены следующие данные. Исходная концентрация числа КОЕ общих колиформных бактерий (ОКБ) существенным образом зависит от влажности бесподстилочного навоза и может быть формализована с помощью квадратичного полинома вида:

$$\text{КОЕ ОКБ} = -483653,85W^2 + 78959038,46W - 3072474175,85. \quad (5.1)$$

На рисунке 5.3 представлена графическая интерпретация зависимости исходной концентрации бактерий цист и ооцист в зависимости от влажности бесподстилочного навоза.

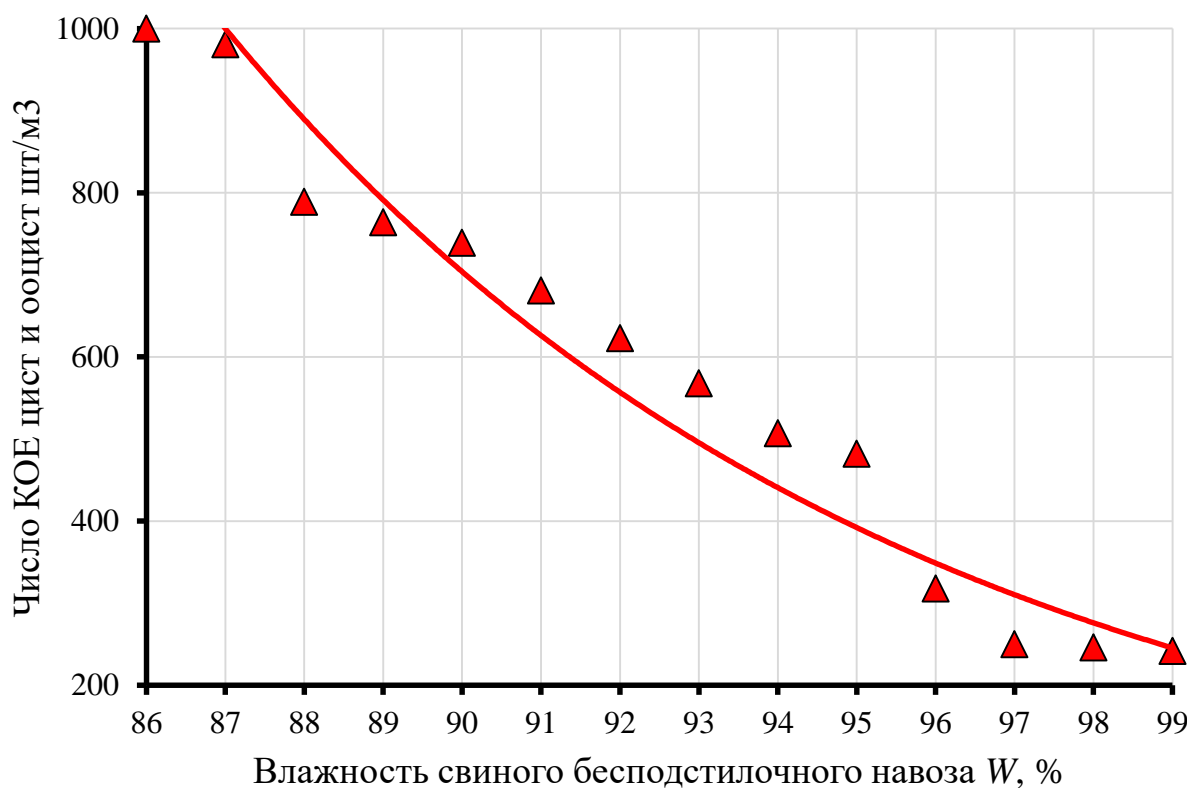


Рисунок 5.3 – Исходная концентрация бактерий цист и ооцист в зависимости от влажности бесподстилочного навоза

Также в ходе моделирования установлено, что зависимость (5.1) в виде квадратичного полинома адекватно по критерию Фишера позволяет оценить влияние влажности свежего бесподстилочного свиного навоза на исходную концентрацию в нём числа КОЕ ОКБ при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что подтверждается значением коэффициента детерминации $r^2=0,90$.

Исходная концентрация числа КОЕ споробразующих микроорганизмов (СПМО) существенным образом зависит от влажности бесподстилочного навоза и может быть формализована с помощью квадратичного полинома вида:

$$\text{КОЕ СПМО} = 68118,13W^2 - 22703565,59W + 1568314120,88. \quad (5.2)$$

Доказано, что зависимость (5.2) в виде квадратичного полинома адекватно по критерию Фишера позволяет оценить влияние влажности свежего

бесподстилочного свиного навоза на исходную концентрацию в нём числа КОЕ СПМО при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что подтверждается коэффициентом детерминации $r^2=0,92$.

Исходная концентрация числа КОЕ стафилококков (СТФ) существенным образом зависит от влажности бесподстилочного навоза и может быть формализована с помощью квадратичного полинома вида:

$$\text{КОЕ STF} = -32864,01W^2 + 5575995,88W - 225320741,76. \quad (5.3)$$

Установлено, что зависимость (5.3) в виде квадратичного полинома адекватно по критерию Фишера позволяет оценить влияние влажности свежего бесподстилочного свиного навоза на исходную концентрацию в нём числа КОЕ STF при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что подтверждается коэффициентом детерминации $r^2=0,95$.

На рисунке 5.4 представлена графическая интерпретация рассмотренных моделей иллюстрирующая зависимость исходного уровня экологической нагрузки свиного бесподстилочного навоза в зависимости от его влажности.

Исходная концентрация числа КОЕ АСК существенным образом зависит от влажности бесподстилочного навоза и может быть формализована с помощью квадратичного полинома вида:

$$\text{КОЕ АСК} = 2084,48W^2 - 1428738,32W + 120295178,57 \quad (5.4)$$

Установлено, что зависимость (5.4) в виде квадратичного полинома адекватно по критерию Фишера позволяет оценить влияние влажности свежего бесподстилочного свиного навоза на исходную концентрацию в нём числа КОЕ АСК при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что подтверждается коэффициентом детерминации $r^2=0,99$.

Исходная концентрация числа КОЕ ЦИО существенным образом зависит от влажности бесподстилочного навоза и может быть формализована с помощью квадратичного полинома вида:

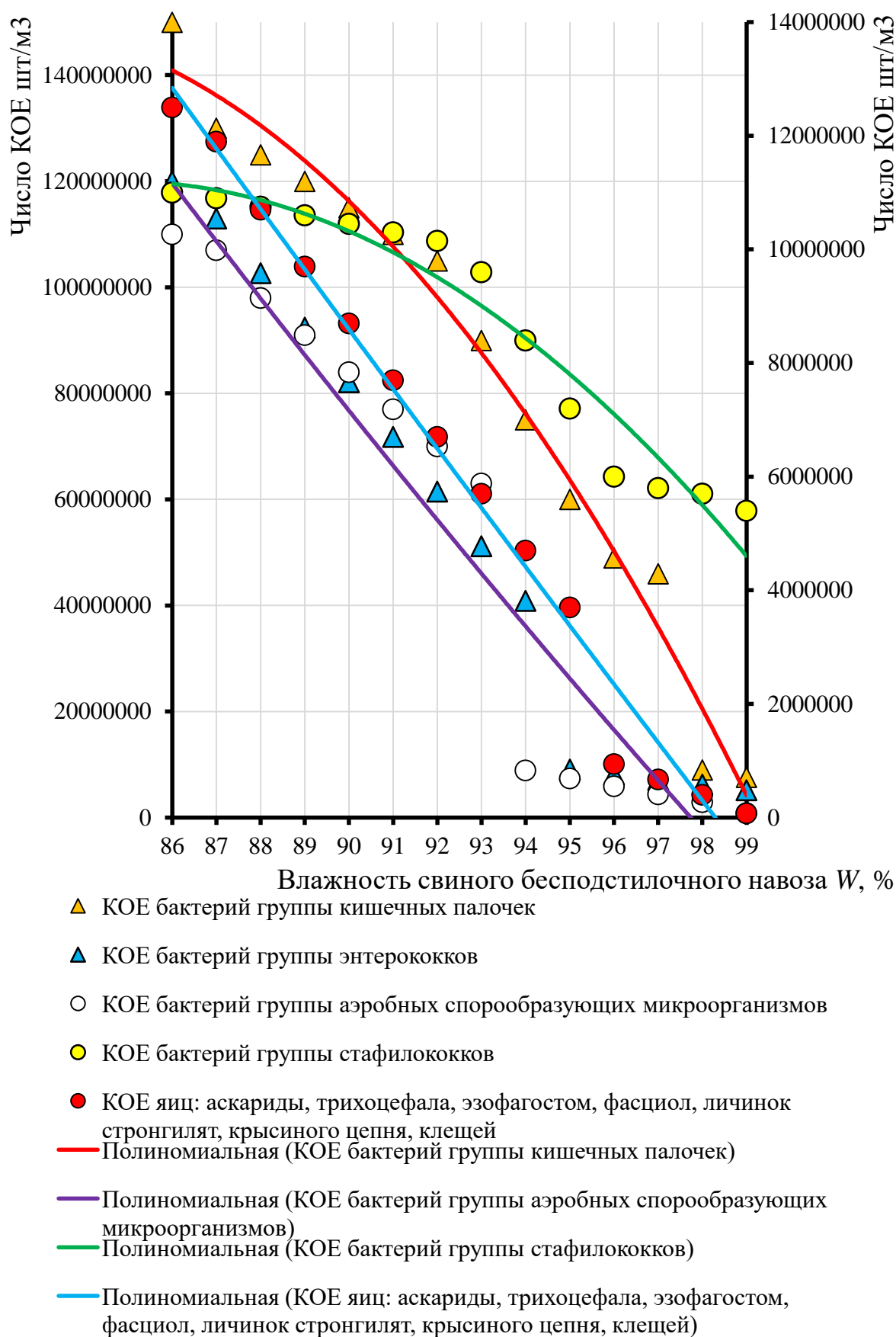


Рисунок 5.4 – Зависимость уровня экологической нагрузки, создаваемой свиным бесподстильным навозом в зависимости от его влажности

$$\text{КОЕ ЦИО} = 0,4808W^2 - 149,98W + 10337 \quad (5.5)$$

Установлено, что зависимость (5.5) в виде квадратичного полинома адекватно по критерию Фишера позволяет оценить влияние влажности свежего бесподстилочного свиного навоза на исходную концентрацию в нём числа КОЕ ЦИО при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что подтверждается коэффициентом детерминации равным $r^2=0,97$.

Разработанный модуль моделирования экологической нагрузки позволяет осуществлять ориентировочное прогнозирование энергетического потенциала образуемых отходов, примерный уровень экологической нагрузки, а также выводит рекомендации по направлению дальнейшего использования, что позволяет в существенной мере повысить эффективность утилизации органических отходов животноводства.

5.3.2. Моделирование энергозатрат на обеззараживание бесподстилочного навоза в активаторе

Результаты исследований, полученные в разделе 4.3 и 4.4 сведённые математические модели (4.13), (4.21) представили собой исходные данные формирования цифровизированного модуля разрабатываемой смарт-системы. На основании описанных выше результатов был разработан цифровизированный модуль: «Моделирование энергетических затрат на обеззараживание в активаторе». Суть данного модуля заключается в прогнозировании уровня удельной энергоёмкости устройства в зависимости от конструктивно-режимных параметров. В приложении В на рисунке В.3 представлен общий вид интерфейсных форм модуля.

Из анализа рисунка В.3 в приложении В видно, что для того чтобы начать прогнозирование уровня удельной энергоёмкости необходимо перейти к заполнению соответствующей интерфейсной формы в зависимости от используемого типа рабочих тел – стержней или шаров. В качестве факторов, оказывающих существенное воздействие на уровень удельной энергоёмкости

активатора при обеззараживании бесподстилочного навоза, согласно [32, 120, 126, 131, 137, 152], а также результатам, полученным в разделе 4.3 и 4.4 являются: масса рабочих тел, уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора, влажность бесподстилочного навоза, а также в качестве справочного параметра доступно рассмотрение концентрации химического реагента. В модуль также интегрирован механизм моделирования распределения магнитного потока в рабочей зоне в зависимости от уровня заполненности рабочими телами, основанный на методе конечных элементов и результатах моделирования энергетических характеристик, полученных в разделах 4.3 и 4.4 в среде программного пакета Comsol. На рисунке 5.5 представлены результаты распределения магнитного потока в рабочей зоне индуктора активатора обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от типа рабочих тел и уровня заполненности ими технологической зоны.

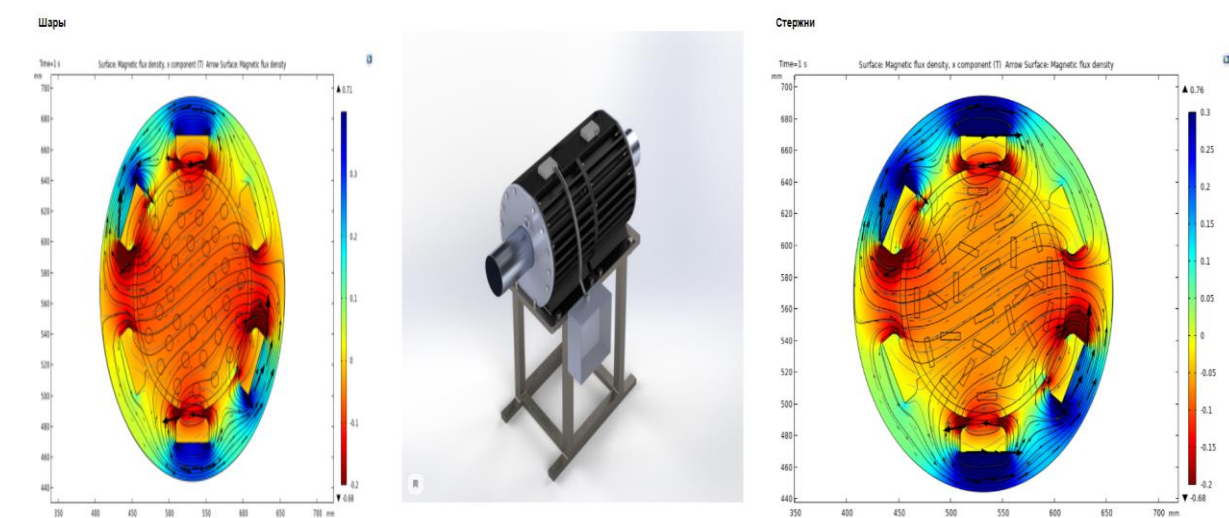


Рисунок 5.5 – Результаты распределения магнитного потока в рабочей зоне индуктора активатора обеззараживания бесподстилочного навоза в зависимости от типа рабочих тел и уровня заполненности ими технологической зоны

Результаты моделирования уровня удельных энергетических затрат активатора обеззараживания от продолжительности воздействия и массы рабочих тел с указанными во входном диалоговом окне параметрами представлены на рисунках 5.6 и 5.7.

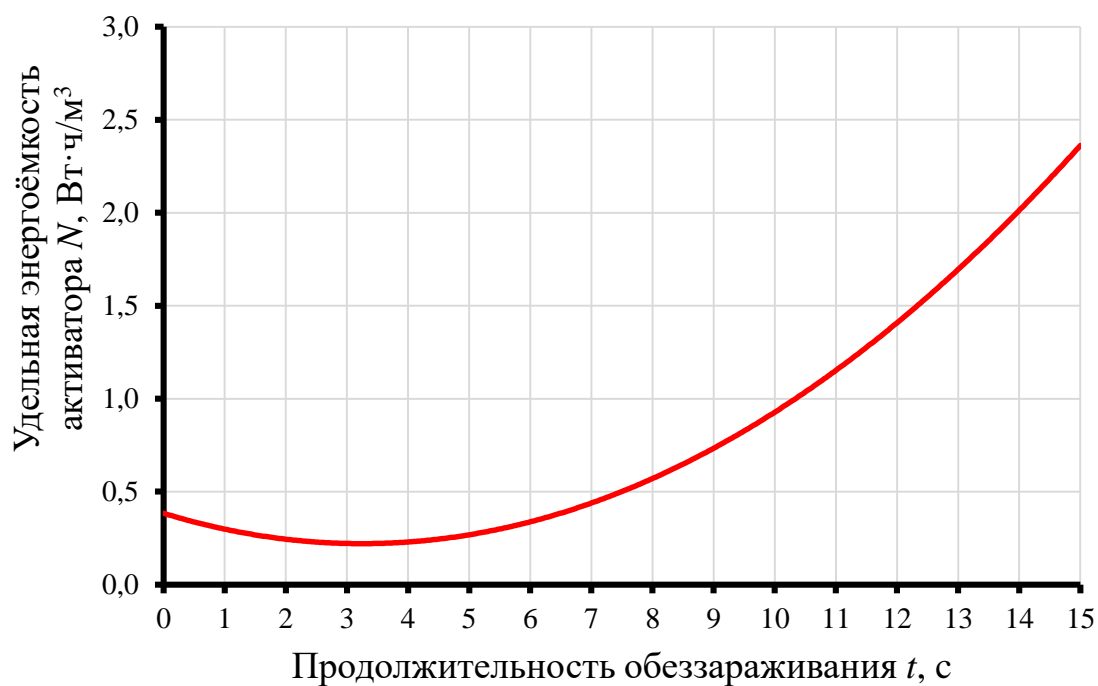


Рисунок 5.6 – Результаты прогнозирования изменения уровня удельных энергетических затрат активатора в зависимости от продолжительности обеззараживания

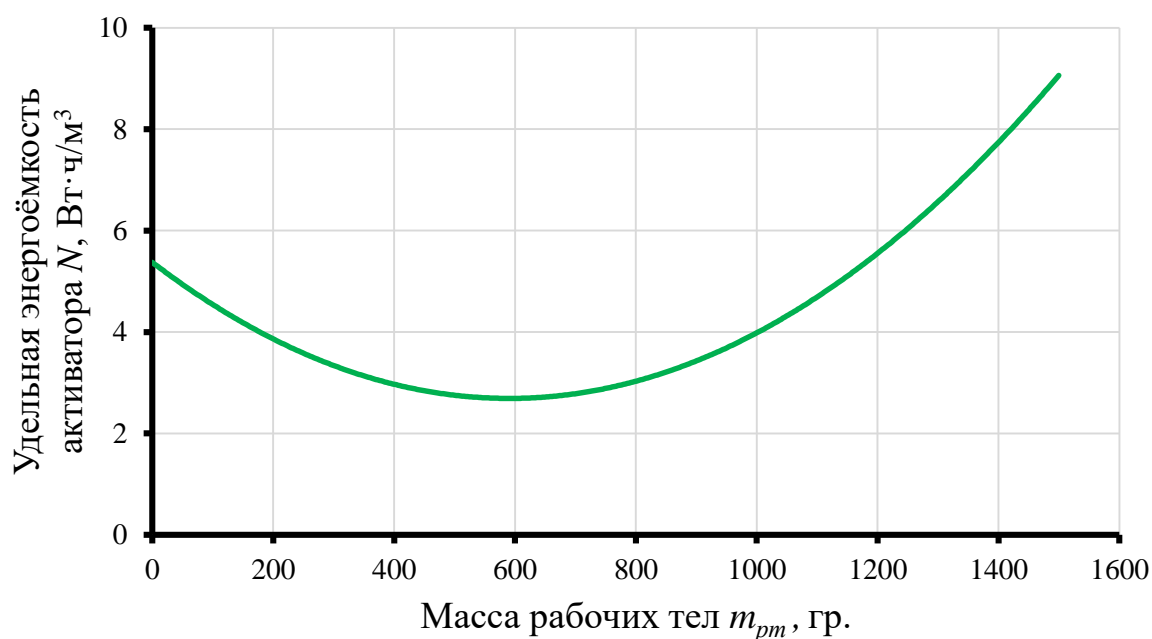


Рисунок 5.7 – Результаты прогнозирования изменения уровня удельных энергетических затрат активатора обеззараживания в зависимости от массы рабочих тел

Разработанный модуль оценки уровня удельных энергетических затрат активатора обеззараживания позволяет прогнозировать их изменение в

зависимости от конструктивно-технологических параметров, осуществляя тем самым корректировку уровня энергетической эффективности. Далее перейдём к разработке модуля оценки энергетических характеристик в зависимости от производительности.

5.3.3. Моделирование энергетических характеристик индуктора активатора в зависимости от производительности.

После получения основных закономерностей, позволяющих прогнозировать энергетические характеристики возникла необходимость разработки модуля, позволяющего цифровизировать процесс определения основных электромагнитных параметров активатора в зависимости от требуемой производительности. Как показал анализ информационных источников [124, 128, 259], единый алгоритмизированный комплекс в цифровизированной форме в настоящее время отсутствует, соответственно разработка данного модуля как элемента цифровизированной смарт системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза является важным для науки и техники.

На основании результатов предварительных исследований [124, 128, 259], а также [131, 137, 152], установлено, что кроме обеспечения необходимой производительности активатора обеззараживания эффективность выполнения им операционного воздействия существенно зависит от действующего в его рабочей зоне уровня магнитной индукции. Рассмотрим общие закономерности определения основных конструктивных параметров индуктора активатора необходимые для расчёта энергетических характеристик. Кроме производительности и требуемого уровня магнитной индукции также необходимо принять число пар полюсов индуктора, определяющее частоту вращения магнитного потока, создаваемого индуктором в соответствии с эффектом чередования фаз. Подробно методика расчёта конструктивных параметров индуктора и их связь с электромагнитными характеристиками, определяющими энергетические свойства системы представлена в работах

[32, 120]. Определим длину рабочей зоны $l_{p.з.}$ учитывая требуемую производительность операционного воздействия необходимую для энергоэффективного обеззараживания бесподстилочного навоза. Задавшись длиной, определим скорость движения бесподстилочного навоза в технологической зоне, м/с:

$$V_{m.c.} = \frac{l_{m.c.}}{t_6}, \quad (5.6)$$

где $l_{p.з.}$ – длина рабочей зоны, м;

t_6 – продолжительность воздействия, с.

После чего рассчитаем площадь поперечного сечения технологической зоны индуктора активатора, м² [32]:

$$S_{m.c.} = \frac{V_{m.c.}}{Q}. \quad (5.7)$$

Исходя из выражений (5.6) и (5.7), определим диаметр поперечного сечения технологической зоны индуктора активатора, м.:

$$D_6^{m.c.} = \sqrt{\frac{4S_{m.c.}}{\pi}}. \quad (5.8)$$

Для осуществления операционного воздействия в технологической зоне, а также защиты фазных обмоток индуктора от внешних воздействий агрессивных сред необходимо использовать защитный кожух в виде трубы устанавливаемой в расточку. Кроме защитной функции данный элемент должен быть парамагнетиком. На основании описанных свойств, а также результатов исследований [124, 128, 195, 259], к защитной трубе сформулированы следующие требования: нагревостойкость, износостойкость, стойкость к коррозии в агрессивных средах. Методика расчёта электромагнитных параметров индуктора активатора, а также регламенты нормативных документов изложены автором в работе [32]. Алгоритмизированно представить предложенную автором методику [32] можно на рисунке 5.8.

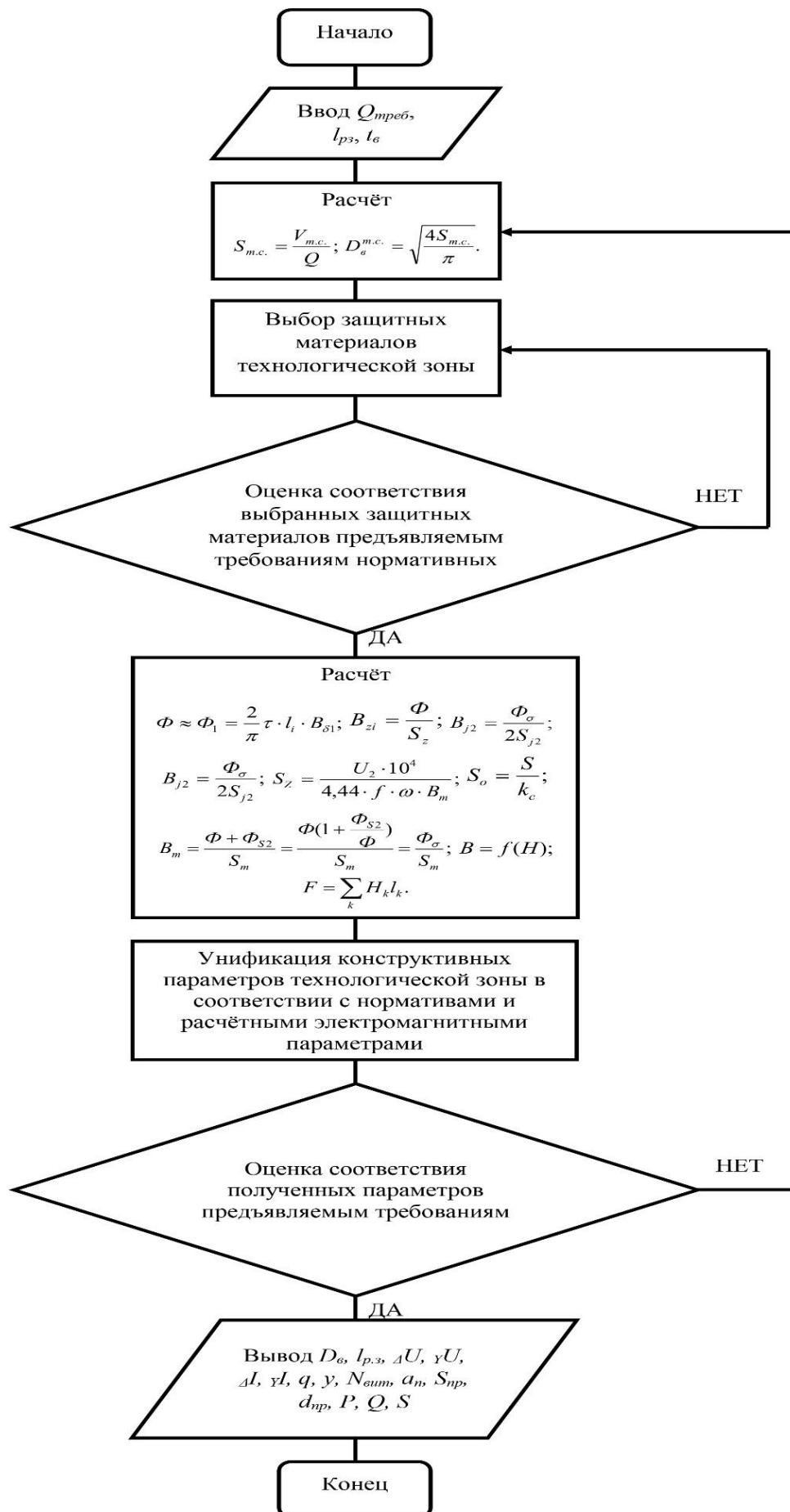


Рисунок 5.8 – Алгоритм расчёта индуктора активатора

Проанализируем содержание блоков алгоритма, представленного на рисунке 5.8. Прежде чем переходить к расчёту индуктора необходимо задаться требуемой производительностью, длиной технологической зоны, а также продолжительностью воздействия. Затем рассчитываются параметры (5.7), (5.8), (5.9). После расчёта конструктивных параметров технологической зоны индуктора активатора происходит выбор материалов защитной трубы и оценка соответствия предъявляемым к ним требованиям. Далее рассчитываются электромагнитные параметры индуктора: основной Φ_l и действительный Φ магнитные потоки волны B_δ , полюсное деление τ ; расчётная длина рабочей зоны l_i , м; l амплитудное B_δ , зубцовое B_{zl} , ярмовое B_{j2} значения магнитной индукции, Тл, площадь сечения магнитопровода S_z , м², ярмовое значение магнитного потока Φ_σ , Вб, площадь сечения ярма S_{j2} , м, принимается коэффициент заполнения стали k_c , магнитный поток в магнитопроводе полюса Φ_σ , Вб, площадь сечения магнитопровода полюса S_m , м², индукция магнитного поля в магнитопроводе полюсов индуктора B_m , Тл, количество витков обмотки ω , шт, выходное напряжение холостого хода U_2 , В, магнитодвижущая сила для каждого из участков магнитной цепи F , А. Определив указанные выше параметры приведём иллюстративное изображение магнитопровода индуктора на рисунке 5.9 [32].

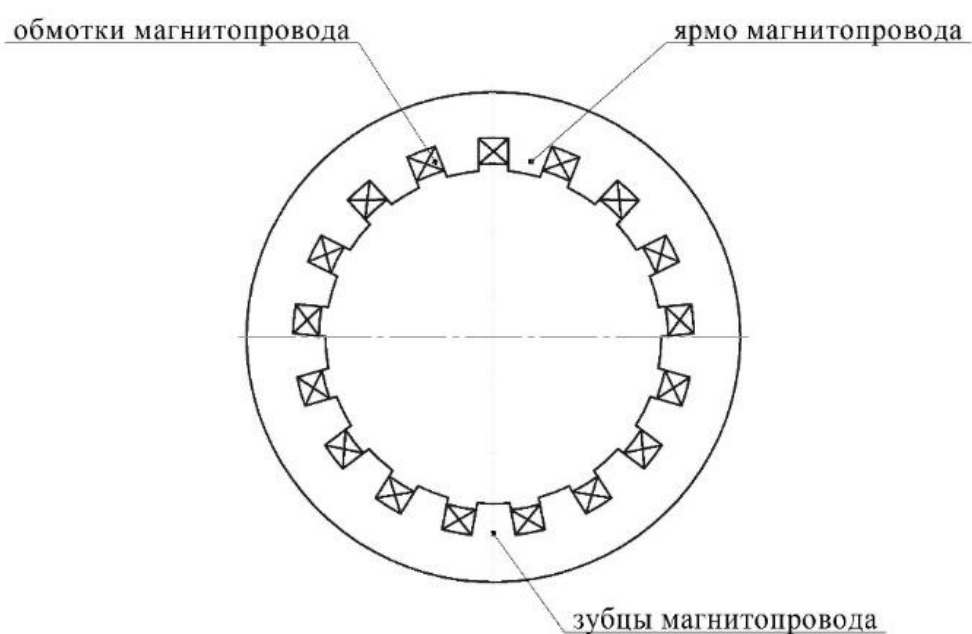


Рисунок 5.9 – Магнитопровод индуктора активатора

На рисунке 5.10 представлена визуализация составляющих магнитной индукции в магнитопроводе индуктора.

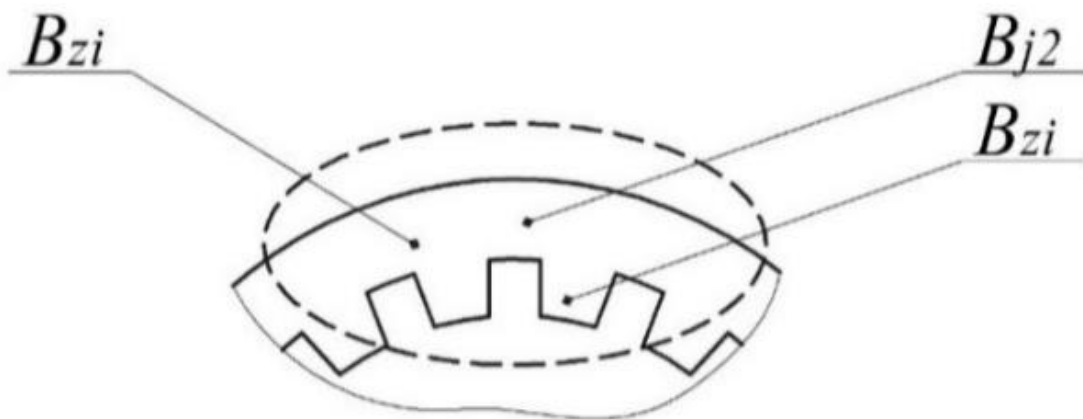


Рисунок 5.10 – Магнитная индукция элементов магнитопровода

Определив электромагнитные параметры индуктора активатора, установим конструктивные параметры технологической зоны, обеспечивающие выполнение операционного воздействия с требуемыми производительностью и качественными показателями. Полученное расчётное значение $D_6^{m.c.}$ по зависимости (5.9) округляется до ближайшего большего в соответствии с ГОСТ 5632-72 (хромоникелевые аустенитные стали), ГОСТ 9940-81 или ГОСТ 9941-81 (трубы бесшовные холодно- и теплодеформируемые из коррозионнотойкой стали), таким образом определяется внутренний диаметр рабочей зоны D_6 [32]. На рисунке 5.11 представлено схематическое изображение продольного вида индуктора активатора обеззараживания без подвижной части [32].

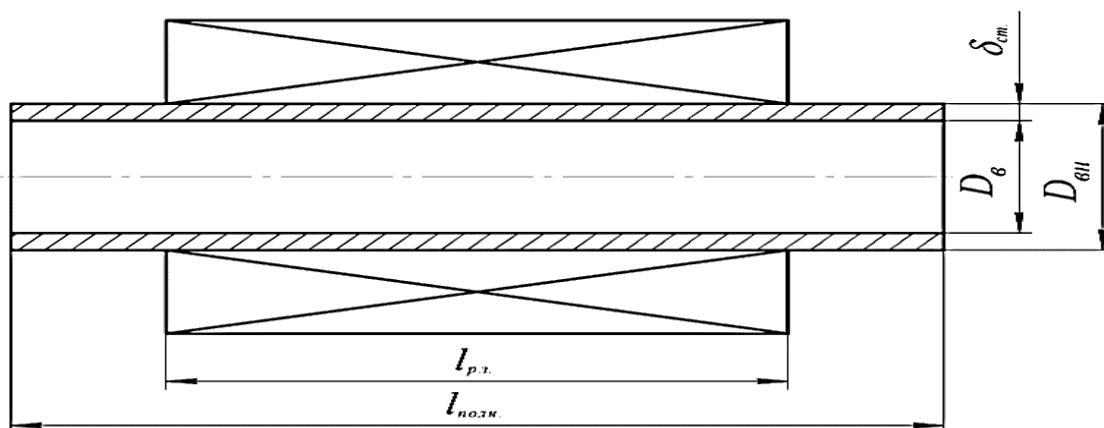


Рисунок 5.11 – Схема продольного вида индуктора активатора без подвижной части

Разработав и апробировав методику расчёта конструктивных, электромагнитных и энергетических параметров индуктора активатора обеззараживания в зависимости от требуемой производительности перейдём к её цифровизированному представлению путём создания соответствующего модуля, интерфейс которого представлен в приложении В на рисунках В.4 и В.5. Как видно из анализа интерфейсных форм модуля, представленных в приложении В на рисунках В.4 и В.5 поля параметров имеют предварительное заполнение исходя из базовой производительности устройства в 30 м³/час, при этом каждый из параметров может быть откорректирован как в сторону уменьшения, так и увеличения. Осуществив ввод необходимых параметров основываясь на методиках и результатов работ, представленных в [124, 128, 195, 259], модуль осуществляет расчёт основных электромагнитных параметров индуктора активатора обеспечивающих заданную производительность при изготовлении соответствующей системы. В приложении В на рисунке В.6 представлен графический пример вывода результатов моделирования выполняемого модулем. В таблице 5.1 представлен пример вывода результатов расчёта параметров индуктора активатора.

Таблица 5.1 – Результаты расчётов параметров индуктора активатора при моделировании в модуле

№ п/п	Параметр	Значение параметра
Электромагнитные параметры		
1	Циклическая частота колебаний электрического тока в питающей сети f , Гц	50
2	Синхронная частота вращения магнитного потока создаваемого индуктором n , мин ⁻¹	3000
3	Количество секций фазных полюсов в катушке q , шт	6
4	Шаг однослойной обмотки в пазах y	18
5	Число витков в пазу индуктора $N_{\text{вит}}$, шт	5
6	Число параллельных ветвей a , шт.	0,5
7	Площадь сечения провода S , мм ²	7,56

продолжение таблицы 5.1

8	Диаметр провода d_{np} , мм	3,1	
Конструктивные			
9	Внутренний диаметр технологической зоны D_6 , мм	В зависимости от заданной Q , м³/час	
10	Длина рабочей зоны $l_{p.з}$, мм	В зависимости от заданной Q , м³/час	
Энергетические			
		Y	Δ
11	Сила тока	В зависимости от заданной Q , м³/час	
12	Напряжение		
13	Активная мощность P, кВт		
14	Реактивная мощность Q, ВАр		
15	Полная мощность S, ВА		

Разработанный модуль позволяет в существенной мере сократить затраты на расчёт электромагнитных характеристик индуктора активатора обеззараживания, определяющих его энергетические характеристики.

5.3.4. Седиментационный анализ бесподстилочного навоза

Известно, что одной из существенных характеристик, позволяющих оценить эффективность подготовки и последующего внесения бесподстилочного навоза является седиментация [2]. Седиментация бесподстилочного навоза представляет собой процесс осаждения дисперсной фазы под действием гравитационного поля, а также комплекса механических сил в дисперсионной среде. Одним из основных параметров, характеризующих седиментацию является её скорость. Скорость седиментации зависит от массы, размера, формы и плотности вещества частицы, вязкости и плотности среды, а также от ускорения, силы тяжести и действующих на частицы центробежных сил [2].

Как показал анализ источника [2], а также результаты предварительных исследований, цифровизированные программные комплексы, учитывающие специфику бесподстилочного навоза и позволяющие в автоматизированном режиме осуществлять анализ седиментационных свойств анализируемого

объекта в настоящее время отсутствуют. Соответственно разработка данного модуля как элемента цифровизированной смарт-системы повышения эффективности бесподстилочного навоза является важным для науки и техники. Анализ седиментационных свойств бесподстилочного навоза актуален для всех типов фермерских хозяйств, реализующих энергоэффективный и экологически безопасный способ обеззараживания органической части отходов, представляющих собой потенциальный энергоноситель. Разработка цифровизированного модуля позволит существенным образом сократить временные затраты на реализацию методики оценки седиментационных свойств анализируемого объекта, а также повысить её точность.

Первым этапом разработки цифровизированного модуля анализа седиментационных свойств являлось аналитическое представление методики. Анализ работы [2] позволил предположить, что с приемлемой степенью достоверности аппроксимировать процесс накопления осадка дисперсной фазы малоконцентрированных суспензий в седиментаторе возможно асимптотическим уравнением вида [2]:

$$Q(t) = \left(1 - e^{-\frac{1}{x}}\right) x, \quad (5.9)$$

где $Q(t)$ – относительное количество осадка за время t ;

x – функция времени седиментации, определяемая уравнением

$$x = \mu_0 t^3. \quad (5.10)$$

Вычислив параметры β и μ_c уравнения (5.10) методом наименьших квадратов, получим следующие закономерности:

$$\beta = \frac{\sum \lg t_1 \lg x_1 - \frac{1}{n} \lg \pi t_1 \lg \pi x_1}{\sum \lg^2 t_1 - \frac{1}{n} \lg^2 \pi t_1} \quad (5.11)$$

$$\mu_0 = \sqrt[n]{\frac{x_1 x_2 x_3 \dots x_n}{(t_1 t_2 t_3 \dots t_n)^3}} = \sqrt[n]{\frac{\pi x_1}{\pi t_i^3}} \quad (5.12)$$

где n – число точек интерполирования;

x_i – находятся по опытным значениям $Q(t)$ в точках t_1 ($I = 1, 2, 3, \dots, n$).

Например, если принять $n = 2$ формулы (5.11) и (5.12) примут следующий вид:

$$\beta = \frac{\lg(x_2 : x_1)}{\lg(t_2 : t_1)} = \frac{\lg x_2 - \lg x_1}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (5.13)$$

$$\mu_0 = \sqrt{\frac{x_1 x_2}{(t_1 t_2)^1}} = \frac{x_1}{t_1^\beta} = \frac{x_2}{t_2^\beta}. \quad (5.14)$$

Выполнив некоторые преобразования, в частности, подстановку значения функций $Q(t)$ и ее производной из уравнения (5.9) в уравнение Ринде, аналитическая форма кумулятивной кривой распределения седиментации примет вид:

$$q(t) = \left(1 - \beta - \frac{\beta}{x}\right) Q(t) + \beta. \quad (5.15)$$

Используя вычитание $q(t)$ из $q(t + \Delta t)$ определим гранулометрические свойства, отнесенные ко времени процесса седиментации или к эквивалентным радиусам, определить которые можно исходя из следующей модели:

$$V(r) = Cr^\gamma = \frac{H}{t}. \quad (5.16)$$

Рассмотрев модель (5.8) можно сделать вывод, что в качестве частных случаев к ней применимы законы Стокса ($\gamma = 2$), Аллена ($\gamma = 1$), Ньютона – Реттингера ($\gamma = 0,5$) и др. в зависимости от влажности и вязкости обрабатываемого технологического материала. Продифференцируем модель (5.24) по переменной r и введя очевидные обозначения, получим уравнение дифференциальной кривой распределения массы частиц полидисперсной системы по эквивалентным радиусам:

$$F(r) = \frac{\gamma^3}{r} \left\{ (\beta - 1)[1 - Q(t)] + \frac{q(t)}{x} \right\} = \frac{p}{r} f(x), \quad (5.17)$$

где

$$x = \mu_0 \left(\frac{H}{C}\right)^\beta r^{-\gamma\beta} = Ar^{-p} = \frac{1}{\alpha r^p}. \quad (5.18)$$

Следует отметить, что если время седиментации t измеряется в минутах, радиус частиц r – в микронах, глубина погружения чашечки седиментатора H – в сантиметрах, а вязкость дисперсной среды η – в сантипуазах, то в диапазоне стоксовских скоростей ($\gamma = 2$) при $\rho = const$ имеем:

$$A = \mu_0 \left(\frac{H}{C} \right)^\beta = \mu_0 \left(\frac{77 H \eta}{\rho - \rho_1} \right)^\beta = \frac{1}{\alpha}, \quad (5.19)$$

где ρ – плотность материала частиц, г/см³;

ρ_1 – плотность дисперсионной среды, г/см³.

Таким образом приняв величину внешней удельной поверхности σ_0 , число частиц в 1 г вещества n_0 , средневзвешенные эквивалентные радиусы частиц системы \bar{R} , эквивалентные радиусы частиц наивероятнейших фракций R , медиану дифференциальной кривой распределения R_{50} , коэффициент неоднородности системы f , по определению из уравнений (5.18) и (5.19), получим асимптотические формулы:

$$\sigma_0 = \frac{3}{\rho} \int_0^\infty F(r) \frac{dr}{r} = \frac{3}{\rho} A^{-\frac{1}{p}} \int_0^\infty f(x) x^{\frac{1-p}{p}} dx, \quad (5.20)$$

$$n_0 = \frac{3 \cdot 10^{12}}{4 \pi \rho} \int_0^\infty F(r) \frac{dr}{r^3} = \frac{3 A^{-\frac{3}{p}} \cdot 10^{12}}{4 \pi \rho} \int_0^\infty f(x) x^{\frac{3-p}{p}} dx, \quad (5.21)$$

$$\bar{R} = \int_0^\infty r F(r) dr = A^{\frac{1}{p}} \int_0^\infty f(x) x^{-\frac{1+p}{p}} dx, \quad (5.22)$$

$$f(x) + p x f'(x) = 0, \quad x_{50} = \sqrt[p]{\frac{A}{x_{50}}}, \quad f = \sqrt[p]{x_{60} : x_{10}}. \quad (5.23)$$

Проанализировав описанные выше закономерности, результаты исследований [2], а также работы [189, 217, 279], можно сделать вывод, что по двум или большему числу точек интерполирования опытной кривой осадка дисперсной фазы может быть проведен полный дисперсионный анализ седиментационной фракции бесподстилочного навоза, соответственно использование данной методики является достоверным при проектировании

цифровизированного модуля седиментационного анализа бесподстилочного навоза цифровизированной смарт-системы повышения эффективности его утилизации. Рассмотрим далее основные элементы данного модуля (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664999 РФ).

Введя исходные данные в ячейки, нажав экранную клавишу «Результат» в правом нижнем углу, происходит реализация описанного выше аналитического алгоритма и выводятся графические зависимости. Формат результатов модуля является совместимым с Microsoft Excel и поддерживает сохранение в jpeg. На рисунке 5.11 приведены результаты седиментационного анализа свиного бесподстилочного навоза в разработанном модуле.

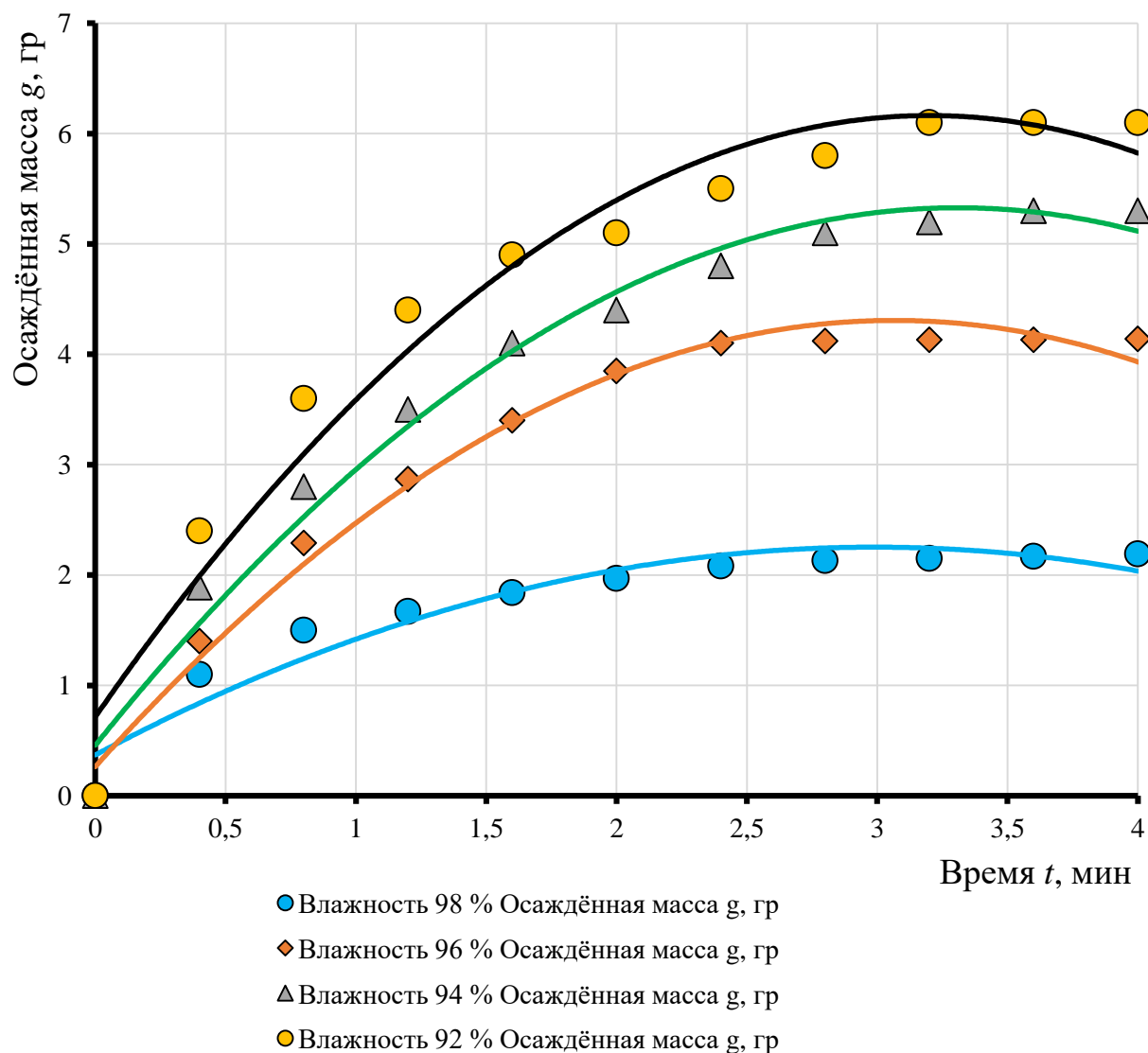


Рисунок 5.11 – Результаты седиментационного анализа в модуле цифровизированной смарт системы

На рисунках 5.12 и 5.13 представлены зависимости интенсивности расслоения бесподстилочного навоза от его влажности в начальный момент времени и интервале времени до 4 минут, полученные в ходе анализа в модуле седиментационного анализа цифровизированной смарт-системы.

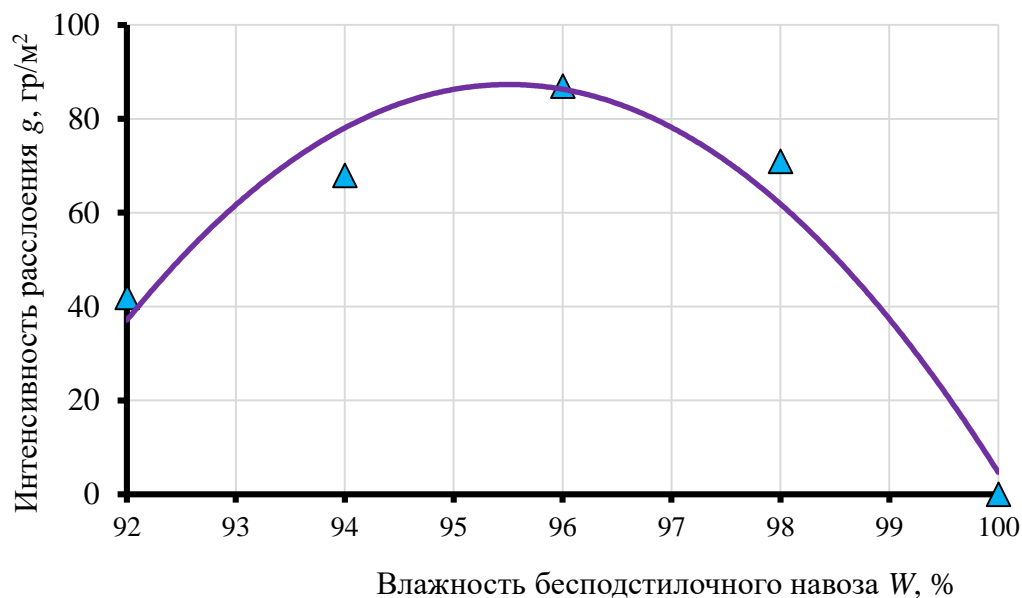


Рисунок 5.12 – Результаты зависимости интенсивности расслоения бесподстилочного навоза от его влажности

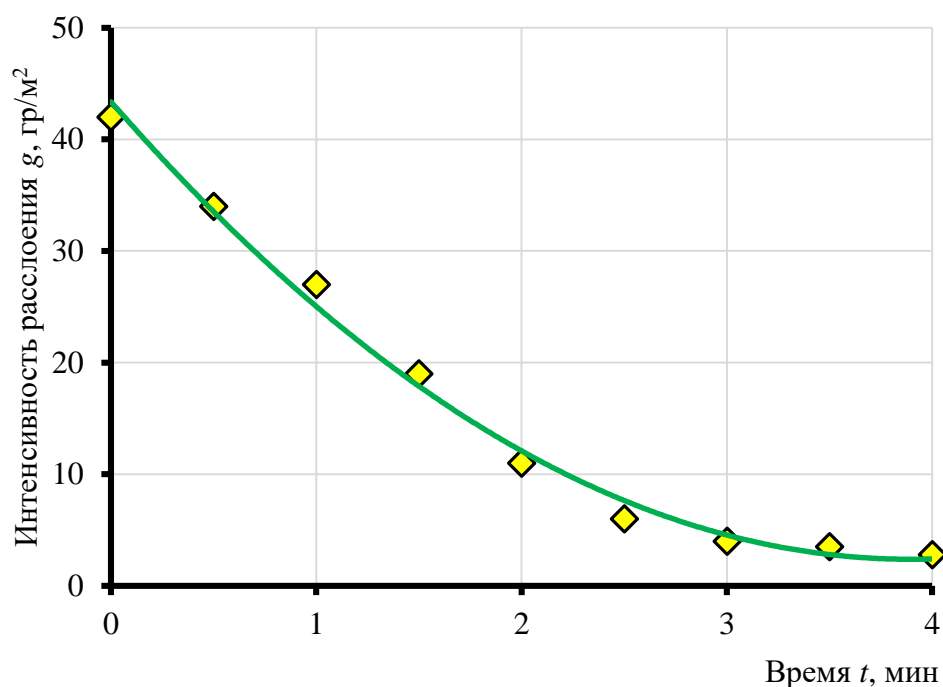


Рисунок 5.13 – Результаты зависимости интенсивности расслоения бесподстилочного навоза от времени

Как показал анализ результатов, полученных в ходе использования модуля «Седиментационный анализ», графические зависимости позволяют получить цифровизированное представление о характере распределения анализируемых параметров с помощью их формализации соответствующим полиномом. В случае с зависимостью осаждённой массы частиц бесподстилочного навоза от времени:

- для влажности бесподстилочного навоза $W = 92 \%$:

$$g = -0,5318t^2 + 3,4043t + 0,7147, \quad (5.24)$$

при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и коэффициенте детерминации аппроксимирующей функции $r^2 = 0,96$;

- для влажности бесподстилочного навоза $W = 94 \%$:

$$g = -0,4448t^2 + 2,9437t + 0,4571, \quad (5.25)$$

при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и коэффициенте детерминации аппроксимирующей функции $r^2 = 0,98$;

- для влажности бесподстилочного навоза $W = 96 \%$:

$$g = -0,4304t^2 + 2,6383t + 0,2635, \quad (5.26)$$

при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и коэффициенте детерминации аппроксимирующей функции $r^2 = 0,98$;

- для влажности бесподстилочного навоза $W = 98 \%$:

$$g = -0,211t^2 + 1,2606t + 0,3692, \quad (5.27)$$

при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и коэффициенте детерминации аппроксимирующей функции $r^2 = 0,92$.

Модуль имеет возможность формирования базы данных с сохранением всех массивов данных и последующим обучением нейронной сети на основании имеющихся статистических характеристик.

Полученные седиментационные характеристики бесподстилочного навоза позволяют корректировать операционные воздействия на каждом из этапов его утилизационного цикла от подготовки до внесения.

5.3.5. Расчёт энергетической эффективности технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза

Проверка расчёта энергетической эффективности технических средств, используемых в технологической цепи утилизации бесподстилочного навоза, в частности подготовке и внесении, осуществляется на основании энергетической эпюры. Методика распределения энергозатрат в технических средствах описана в работах [32, 120, 124, 128, 131, 137, 152, 194, 259]. Графическая интерпретация энергетической эпюры представлена на рисунке 5.14.

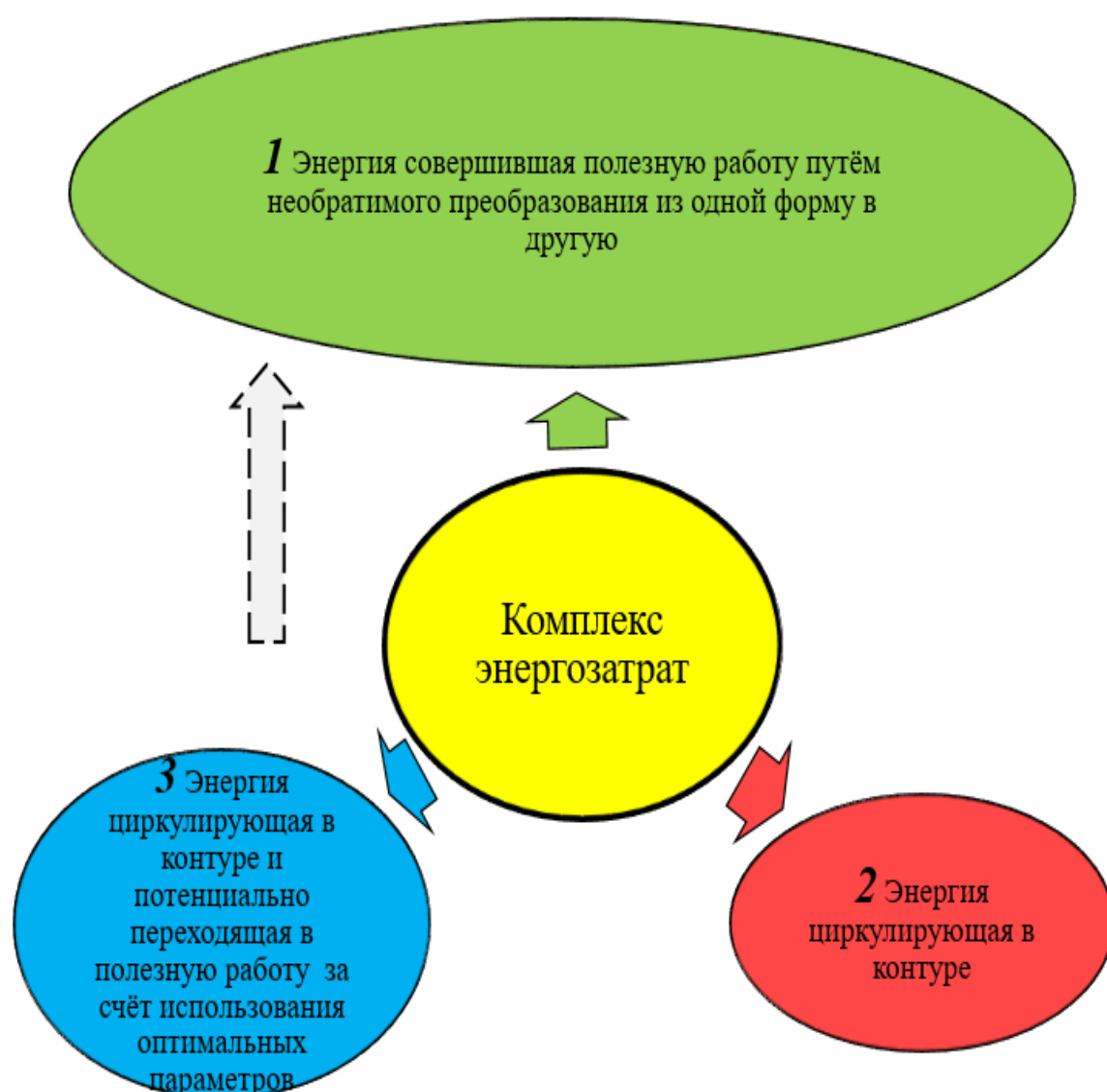
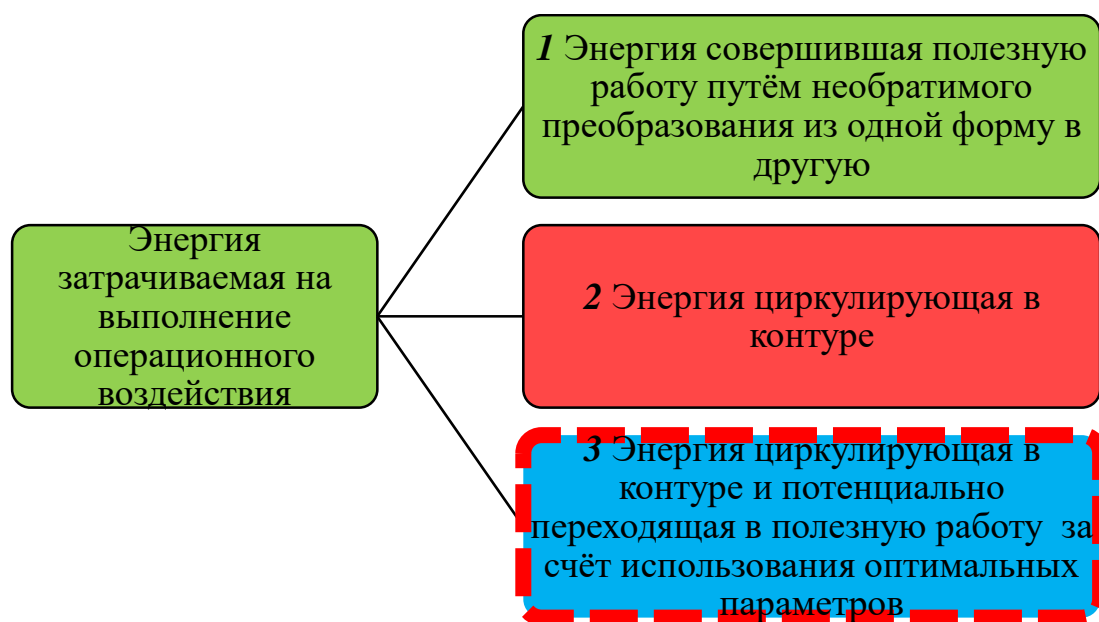
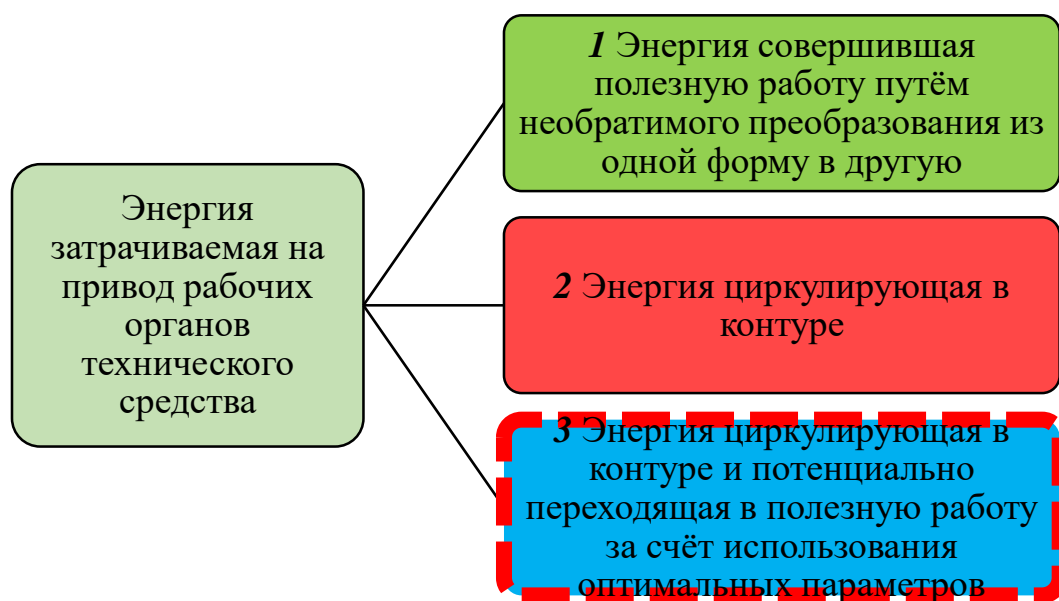


Рисунок 5.14 – Энергетическая эпюра энергозатрат технических средств подготовки и внесения бесподстилочного навоза

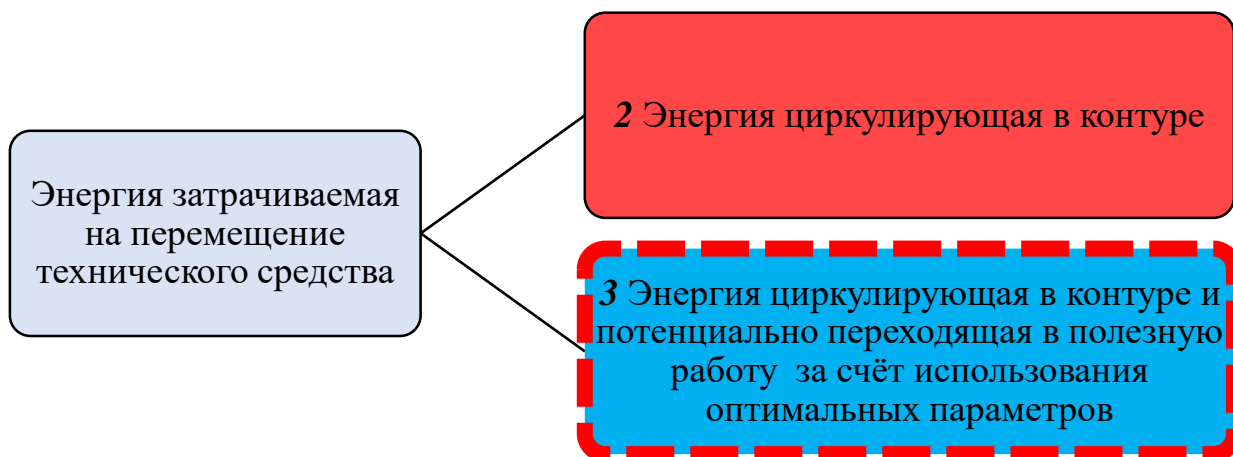
Проанализировав рисунок 5.14, а также работы [2, 32, 66, 120, 124, 128, 131, 137, 152, 194, 259], установлено, что все технические средства, использующие в качестве источника энергии электрический привод, имеют некоторый энергетический потенциал использовать который можно за счёт подбора оптимальных параметров, а также цифровизированных элементов управления ими. Ниже на рисунке 5.15 представлено детализированное представление распределения энергозатрат технических средств, используемых при подготовке и внесению бесподстилочного навоза.



а)



б)



в)

Рисунок 5.15 – Эпюра составляющих энергозатрат в зависимости от типа выполняемых работ

Анализ рисунка 5.15 и работ [2, 32, 66, 120, 124, 128, 131, 137, 152, 194, 259], позволил выделить следующие составляющие энергетических затрат: энергетические затраты непосредственно на выполнение операционного воздействия, энергетические затраты, направленные на осуществление привода рабочего органа, энергетические затраты для осуществления перемещений технического средства в процессе эксплуатации. Согласно [32, 120, 124, 128, 131, 137, 152, 194, 259], каждую из составляющих энергозатрат можно рассмотреть, как включающую три переменные: 1 – энергию совершившую необратимое преобразование из одной формы в другую так называемую полезную или активную мощность, 2 – энергию, циркулирующую в контуре и 3 – энергию, циркулирующую в контуре и потенциально переходящую в полезную при условии использования оптимальных для каждого операционного воздействия условий, достигнутых за счёт имеющихся формализованных математических моделей, а также цифровизированной системы. На основании закономерностей, описанных в работах [32, 120, 124, 128, 131, 137, 152, 194, 259], а также результатов предварительных исследований [32, 120, 130, 137] был разработан модуль оценки энергетической эффективности используемого технического средства.

В приложении В на рисунке В.7 представлен интерфейс разработанного модуля оценки энергетической эффективности технических средств, используемых в утилизационном цикле бесподстилочного навоза (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664838 РФ). Введя в контекстные окна значения необходимых параметров и нажав клавишу «*Результат*», модуль выводит распределение энергозатрат по описанным выше составляющим, что позволяет произвести оценку потенциала повышения энергетической эффективности технического средства. Ниже на рисунках 5.16...5.18 представлены результаты расчёта, выполненные модулем для технологии 9 (см. таблицу 5.1) при влажности бесподстилочного навоза 92 %.

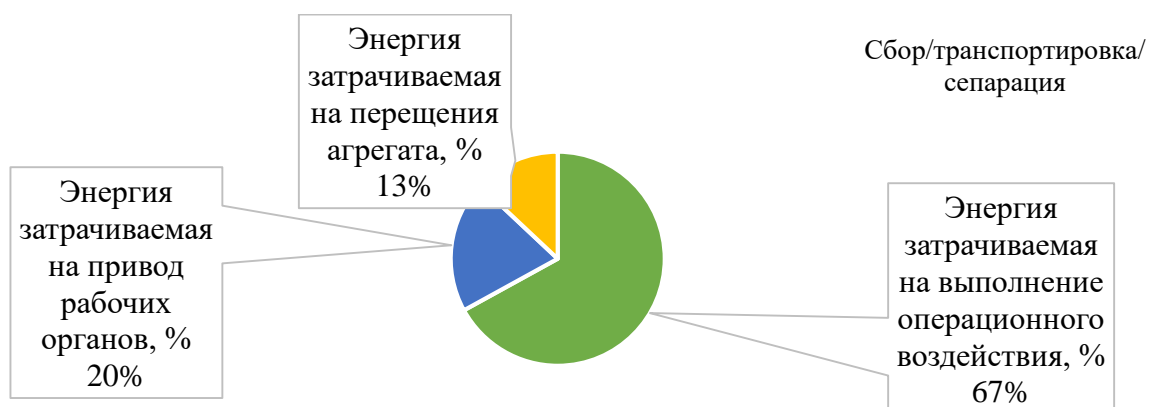


Рисунок 5.16 – Результаты расчёта распределения энергетических затрат для операций сбора/транспортировки/сепарации бесподстилочного навоза влажностью 92%

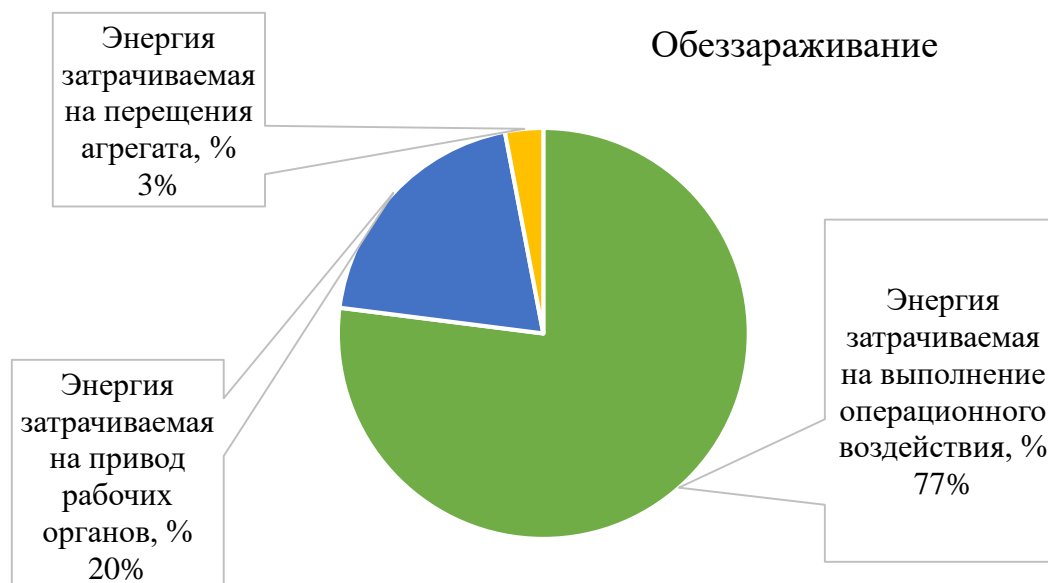


Рисунок 5.17 – Результаты расчёта распределения энергетических затрат для обеззараживания бесподстилочного навоза влажностью 92% в активаторе

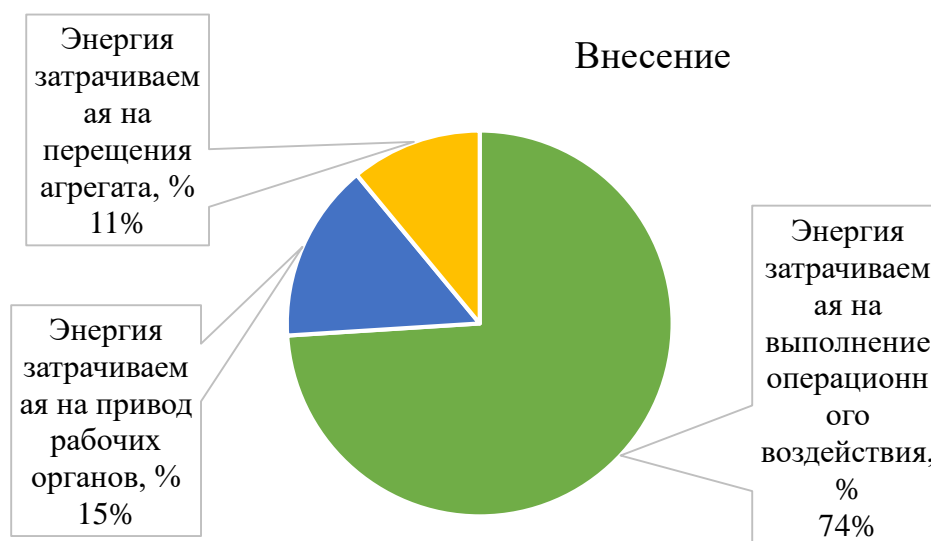


Рисунок 5.18 – Результаты расчёта распределения энергетических затрат для внесения бесподстилочного навоза влажностью 92% в качестве органического удобрения

Как показал анализ рисунков 5.16...5.18 все операции технологического цикла утилизации бесподстилочного навоза обладают энергетическим потенциалом, однако наиболее высоким с энерго-экологической точки зрения потенциалом обладает операция обеззараживания.

5.3.6. Проверка эффективности выбора приводов рабочих органов технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза

Большинство технических средств используют в качестве привода электродвигатели переменного синусоидального тока промышленной частоты. Поэтому было принято решение об интеграции в смарт систему модуля оценки их эффективности. Данный модуль применим в условиях выхода из строя одной или нескольких электрических машин и невозможности аналогичной замены. Для исключения аварийной ситуации необходимо производить проверку в зависимости режима продолжительности эксплуатации: продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный. На рисунке 5.23 представлен общий вид интерфейса модуля (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664736 РФ).

Режим работы двигателя

Продолжительный ▼

Продолжительный
 Кратковременный
 Повторно-кратковременный

Эквивалентный ток, А

Введите данные

Коэффициент В

Введите данные

Номинальный угол φ , град

Введите данные

	Момент, Нм	Время, с
+		

а)

Режим работы двигателя

Повторно-кратковременный ▼

Подобрать ▼

Начальное время t_0 , с

2,5

Время нагрева двигателя, мин

0,7

Коэффициент ухудшения условий

35

Коэффициент постоянных потерь

0,2

	Нагрузка, кВт	Время нагрузки, с
+		
	7,5	60 -
	6,4	25 ⇅ -

б)

Name	Рном, кВт	Nном, об/мин
4A112MB6Y3	4	960
4A132MA6KY3	4	960
4A112M6KY3	4	1420
4A100L4Y3	4	1430
4A112M2KY3	4	2880
4A100S2Y3	4	2880
4A132MB6KY3	5	960
4A132S6Y3	5	965
4A112M4Y3	5	1445
4A132S4KY3	5	1450
4A100L2Y3	5	2880
4A132SA2KY3	5	2920
4A160M6KY3	7	970

Рм: 1.431 кВт; Рt: 1.582 кВт

в)

Рисунок 5.23 – Общий вид интерфейса модуля проверки эффективности выбора приводов рабочих органов технических средств, используемых при обеззараживании бесподстилочного навоза

Подробно методика проверки эффективности выбора приводов рабочих органов технических средств, используемых при обеззараживании бесподстилочного навоза описана в работах [124, 128, 130, 131, 137, 152, 194, 259]. Суть проверки для продолжительного режима работы заключается в сравнении расчётного эквивалентного вращающего момента и критического значения номинального момента, выбираемого из каталога характеристик соответствующего электродвигателя. В случае успешного выполнения соотношения выбирается ближайший двигатель с большими характеристиками.

Суть проверки для кратковременного режима работы заключается в сравнении номинального пускового момента и момента сопротивления механизма, выбираемого из каталога характеристик соответствующего электродвигателя. В случае успешного выполнения соотношения выбирается ближайший двигатель с большими характеристиками.

Суть проверки для повторно-кратковременного режима работы заключается в сравнении номинального пускового момента с его максимальным пусковым значением, получаемым либо расчётным путём, либо выбираемым из каталога характеристик соответствующего электродвигателя. В случае успешного выполнения соотношения выбирается ближайший двигатель с большими характеристиками.

Преимуществом разработанного решения является цифровизированная база данных электродвигателей, включающая более 170 наименований, наиболее широко применяемых в сельском хозяйстве электрических двигателей, что в существенной мере позволяет повысить эффективность и безопасность эксплуатации электрических машин.

5.4. Описание элементов интерфейса программного продукта и сценария взаимодействия

Рассмотрим представление элементов разработанной цифровизированной системы повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного

навоза на базе мобильного представления в смартфоне с операционной системой Android. Ниже на рисунках 5.24 и 5.25 представлены интерфейсные формы мобильного приложения разработанной смарт-системы и её представления на операционной системе Windows.

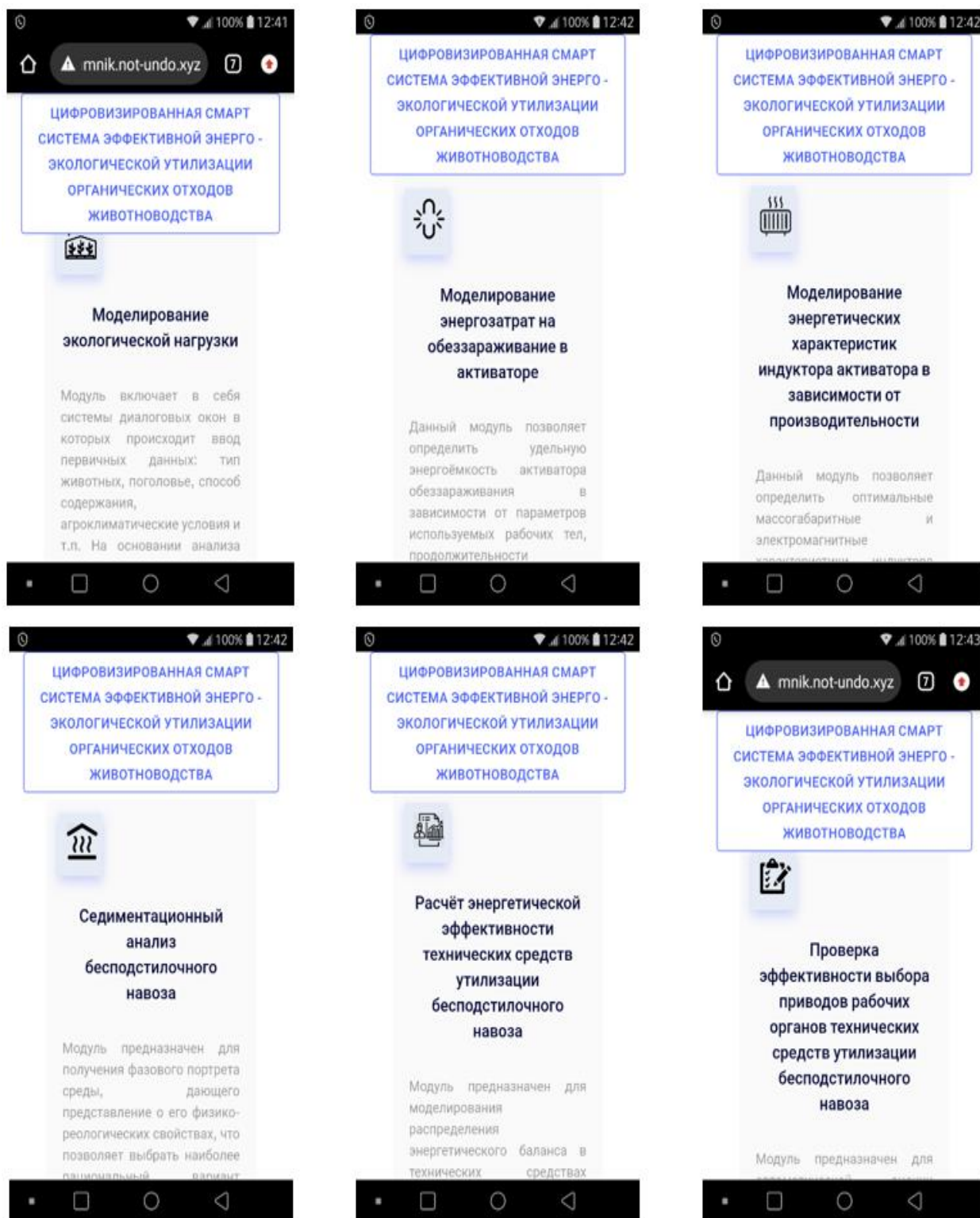








Рисунок 5.24 – Интерфейсные формы базового экрана мобильного представления разработанной цифровизированной смарт системы

	Моделирование экологической нагрузки	Модуль включает в себя системы диалоговых окон в которых происходит ввод первичных данных: тип животных, поголовье, способ содержания, агроклиматические условия и т.п. На основании анализа введенных данных и имеющейся базы данных происходит расчёт объема и энергетического потенциала образующихся отходов, в результате чего выводится рекомендация по эффективности и экологичности безотходной утилизации.
	Моделирование энергозатрат на обездарживание в активаторе	Данный модуль позволяет определить удельную энергоёмкость активатора обездарживания в зависимости от параметров используемых рабочих тел, продолжительности воздействия, а также исходных свойств обрабатываемого технологического материала.
	Моделирование энергетических характеристик индуктора активатора в зависимости от производительности	Данный модуль позволяет определить оптимальные массогабаритные и электромагнитные характеристики индуктора активатора в зависимости от требуемой производительности. Исходными данными являются диаметр и длина рабочей зоны, обуславливающие производительностью системы, на основании этих данных определяются геометрические характеристики индуктора, чисто ввода, а также номинальные значения токов и уровень магнитной индукции обеспечиваемый полученной конфигурацией в рабочей зоне.
	Седиментационный анализ бесподстильного навоза	Модуль предназначен для получения фазового портрета среды, дающего представление о его физико-реологических свойствах, что позволяет выбрать наиболее рациональный вариант воздействия для получения требуемых эффектов. Базируется на алгоритмах седиментационного анализа, интерполяции и аппроксимации априорной информации о среде.
	Расчёт энергетической эффективности технических средств утилизации бесподстильного навоза	Модуль предназначен для моделирования распределения энергетического баланса в технических средствах реализующих операции утилизации бесподстильного навоза, также позволяет определить конструктивно-технологические параметры, обеспечивающие рост полезной мощности цикла.
	Проверка эффективности выбора приводов рабочих органов технических средств утилизации бесподстильного навоза	Модуль предназначен для автоматической оценки эксплуатационного потенциала и способов повышения энергетической эффективности электромагнитных преобразователей утилизационном цикле бесподстильного навоза, что позволяет оптимизировать их в зависимости от условий эксплуатации. Модуль осуществляет реализацию автоматической оценки электромагнитных параметров индуктора в зависимости от эксплуатационных условий на основании анализа интерпретированной базы данных и обученной на её основе нейронной сети.

КОНТАКТЫ ПОМОЩЬ



Разработчик:

ООО ИПЛ ЭНЕРГООРГАНИК ОГБОУ ВО Донской государственный технический университет
ФГБОУ ВО Рязанский государственный агроэкологический университет имени П.А. Костычева

Рисунок 5.25 – Интерфейсные формы базового экрана представления разработанной цифровизированной smart системы версии для ПК и планшетов

Главное окно разработанной цифровизированной смарт системы повышения эффективности утилизации бесподстилочного навоза содержит краткое описание всех доступных модулей. Отображение возможно, как на мобильном устройстве с операционной системой Android, так и на персональном компьютере с операционной системой Windows 7 и выше. Сценарием взаимодействия пользователя и разработанной смарт системы является диалог, пользователь вводит соответствующие значения параметров напротив их текстового описания. Разработанная цифровизированная смарт система повышения эффективности утилизации бесподстилочного навоза защищена свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021661091 РФ, 2021663928 РФ, 2021664838 РФ, 2021664736 РФ, 2021664791 РФ, 2021664999 РФ.

Данная система внедрена в производственную деятельность компаний ОАО «Птицефабрика Атемарская», АО «Рязанский свинокомплекс», что подтверждается соответствующими актами внедрения в приложении Г.

Внедрение программного продукта в производственную деятельность ОАО «Птицефабрика Атемарская» позволило сократить затраты на обеззараживание на 10 %, а также цифровизировать процесс и повысить эффективность утилизации с экологической точки зрения и безопасность внесения бесподстилочного навоза в качестве удобрения на 17...20 %.

Внедрение программного продукта в производственную деятельность АО «Рязанский свинокомплекс», обеспечило повышение производительности труда более чем на 20 %, при общем снижении уровня энергетических затрат, связанных с сокращением продолжительности обеззараживания бесподстилочного навоза.

5.5. Выводы по главе

1. Разработаны системные требования к цифровизированной смарт-системе повышения эффективности утилизации бесподстилочного навоза предъявляемые к мобильной и ПК версии;

2. Обоснована модульная структура цифровизированной системы включающая: моделирование экологической нагрузки (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664791 РФ, свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021661091 РФ), моделирование энергозатрат на обеззараживание в активаторе, моделирование энергетических характеристик индуктора активатора в зависимости от производительности, седиментационный анализ бесподстилочного навоза (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664999 РФ), расчёт энергетической эффективности технических средств используемых при утилизации бесподстилочного навоза (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664838 РФ), проверку эффективности выбора приводов рабочих органов технических средств утилизации бесподстилочного навоза (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664736 РФ). Предложен механизм повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе за счёт моделирования уровня удельной энергоёмкости в зависимости от конструктивных параметров и производительности;

3. Предложены методики реализации разработанных модулей цифровизированной смарт системы повышения эффективности утилизации бесподстилочного навоза;

4. Описаны элементы интерфейса разработанного программного продукта и сценарий взаимодействия пользователей с ним.

Разработанная цифровизированная смарт система защищена патентом РФ (свид. о гос. рег. пр. для ЭВМ 2021661091 РФ) и внедрена в производственную деятельность ОАО «Птицефабрика Атемарская», АО «Рязанский свинокомплекс», а также в учебный процесс ФГБОУ ВО Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева.

6. Оценка энерго-экологической эффективности разработанных решений

6.1. Постановка задачи

Разработанные технические решения повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза в виде активатора и программного продукта, представляющего цифровизированную смарт систему, позволяют в существенной мере повысить качественные и количественные характеристики данного операционного воздействия, что снижает удельные энергетические затраты, повышает уровень экологической безопасности. Снижение удельных затрат на обеззараживание и повышение уровня его экологической безопасности также способствуют снижению удельной стоимости получаемых в процессе утилизации органических удобрений. Для расчёта технико-экономических характеристик разработанных решений с энерго-экологической точки зрения необходимо:

- определить качественные и количественные параметры объектов сравнения;
- разработать структурную схему, позволяющую визуализировать место образуемых органических отходов свиного комплекса в общей технологической цепи животноводства;
- произвести расчёт технико-экономического эффекта разработанных технических решений.

6.2. Обоснование выбора объектов сравнения

На основании анализа информационных источников [15, 16, 96], установлены следующие характеристики свиного комплекса в зависимости от их функционального назначения: племенные, товарные, откормочные, комплексы с законченным производственным циклом. Классификация свиного комплекса в зависимости от назначения.

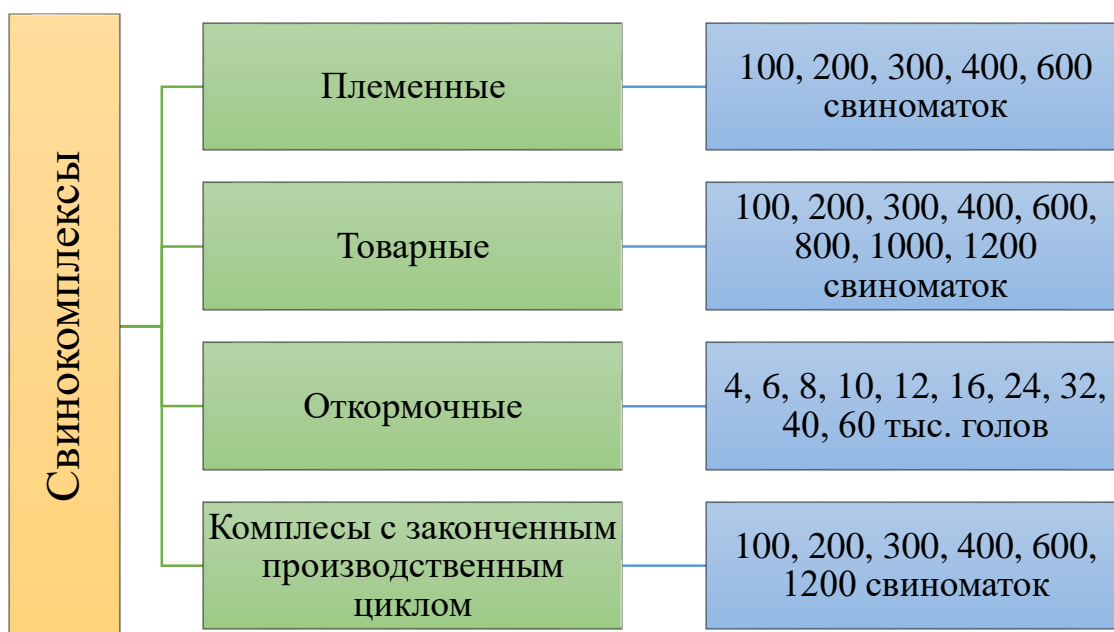


Рисунок 6.1 – Классификация свинокомплексов в зависимости от функционального назначения

Согласно данным Росстата [217] и ресурса учёта сельхозпроизводства FAOSTAT [196], Рязанская область является одним из лидирующих регионов России, по числу поголовья свиней. Поголовье свиней в Рязанской области на конец декабря 2020 года составило 237 600 голов, из которых порядка 228 600 голов содержится на товарных свинокомплексах с применимым индустриальным подходом и средней численностью порядка 40 000 голов. Однако, кроме индустриального подхода к животноводству, применяемого на крупных свинотоварных комплексах, оставшееся поголовье содержится в хозяйствах средней численностью порядка 2 000 голов. На рисунке 6.2 представлена структурная схема места образуемых органических отходов свинокомплекса в технологической цепи животноводства.

Как видно из рисунка 6.2 побочным продуктом индустриального животноводства могут выступать органические удобрения. В зависимости от способа удаления отходов, возможно образование твёрдых органических удобрений. Однако, как показал анализ работ [15, 50, 95, 97, 168, 218, 239], данное направление является недостаточно перспективным с санитарно-эпидемиологической точки зрения, поэтому оценку технико-экономической

эффективности будем производить исходя из образования преимущественно жидких отходов в виде бесподстильного навоза, как наиболее сложно утилизируемого энергоносителя.



Рисунок 6.2 – Структурная схема места образуемых органических отходов свиного комплекса в технологической цепи животноводства

Как видно из рисунка 6.2 побочным продуктом индустриального животноводства могут выступать органические удобрения. В зависимости от способа удаления отходов, возможно образование твёрдых органических удобрений. Однако, как показал анализ работ [15, 50, 95, 97, 168, 218, 239], данное направление является недостаточно перспективным с санитарно-эпидемиологической точки зрения, поэтому оценку технико-экономической эффективности будем производить исходя из образования преимущественно жидких отходов в виде бесподстильного навоза, как наиболее сложно утилизируемого энергоносителя.

Для оценки энерго-экологического эффекта от применения комплекса разработанных решений, рассмотрим откормочный свиногомплекс поголовьем 2 000 голов, с бесподстильным содержанием и гидросмывной системой удаления образуемого навоза. Среднесуточное количество стоков,

производимых свиноводческим предприятием, представлено в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Среднесуточный объём бесподстилочного навоза,
производимый свиноводческим предприятием

№	Половозрастные группы животных	Бесподстилочный навоз, л/сут.	Средняя влажность образуемого бесподстилочного навоза при гидросмывной системе удаления, %	Норма расхода воды на одно животное, для удаления жидкой фракции отходов, л/сут.	Общее число голов фермерского хозяйства, шт.
1	Хряки	8,11	96%	17...28	2 000
2	Свиноматки холостые	6,58		17...28	
3	Свиноматки супоросные	7,40		17...28	
4	Свиноматки подсосные	12,1		17...28	
5	Поросята возрастом 26...42 дня	0,42		7...9	
6	Поросята возрастом 43...60 дней	0,46		7...9	
7	Поросята возрастом 61...106 дней	1,67		10...14	
8	Свиньи на откорме массой ≤ 70 кг	3,12		10...14	
9	Свиньи на откорме массой > 70 кг	3,68		10...14	

Требуемую производительность устройства для обеззараживания бесподстилочного навоза определим исходя из следующего соотношения:

$$Q = \frac{V_{\text{среднесут}}}{t_{\text{раб}}}, \text{ л/сут.} \quad (6.1)$$

где $V_{\text{среднесут}}$ – среднесуточный объём бесподстилочного навоза, образуемый на свиноводческом предприятии:

$$V_{\text{среднесут}} = (V_{\text{ж.о.}} + V_{\text{т.ж.}}) \cdot n_{\text{гол.}} \text{ л/сут.} \quad (6.2)$$

где $V_{\text{ж.о.}}$ – среднесуточный объём бесподстилочного навоза, производимый одним животным, л/сут.;

$V_{\text{т.ж.}}$ – среднесуточный объём технологической воды приходящийся на одно животное, для удаления бесподстилочного навоза, л/сут.;

$n_{\text{гол.}}$ – число голов, шт.

$t_{\text{раб}}$ – продолжительность работы устройства, ч.

Приняв средний объём образуемого бесподстилочного навоза 6,4 литра/сутки, а объём технологической воды, приходящийся для его удаления на одну голову 22 литра/сутки, получим $V_{\text{среднесут}} = 44\,000$ л/сут.

Для обеззараживания 44 м^3 бесподстилочного навоза, при двухчасовом рабочем дне, т.е. двухразовой уборке помещений с последующим часовым функционированием устройства для обеззараживания бесподстилочного навоза после неё, достаточно иметь установку производительностью $21 \text{ м}^3/\text{час}$ или в случае унифицированного способа $30 \text{ м}^3/\text{час}$.

6.3. Анализ экологических критериев сравнения эффективности технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза

Проанализировав комплекс нормативных документов: ФЗ «Об охране окружающей среды» [177], ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [173], ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» [176], ФЗ «Об отходах производства и потребления» [174], санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [213], РД-АПК 1.10.02.04-12 Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов [154, 155], СП 4542-87 Санитарные правила для животноводческих предприятий, ветеринарно-санитарные правила подготовки к использованию в качестве органических

удобрений навоза, помета и стоков при инфекционных и инвазионных болезнях животных и птицы [214], МУ РД-АПК 1.10.15.02-08 «По технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета» [190], СП Мелиоративные системы и сооружения. Правила эксплуатации земледельческих полей орошения животноводческими стоками [150], ГОСТ Р 53117-2008 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия [248], нормы технологического проектирования свиноводческих ферм крестьянских хозяйств НТП-АПК 1.10.02.001-00 [172], НТП-АПК 1.30.03.01-06 Нормы технологического проектирования оросительных систем с использованием животноводческих стоков [171], СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения [150], а также указа президента РФ № 20 от 21.01.2020 «Об утверждении доктрины продовольственной безопасности РФ» [178], установлено, что используемые на сегодняшний день технологии подготовки к обеззараживания бесподстильного навоза с последующим использованием в качестве органического удобрения не в полной мере отвечают международным энерго-экологическим стандартам.

На основании проведённого анализа были сформулированы параметры для оценки энерго-экологической эффективности используемых технологических способов подготовки бесподстильного навоза для обеззараживания:

- наличие цифровизированных программных продуктов, обеспечивающих максимизацию энергоэффективной реализации и экологической безопасности;
- наличие пролонгированного бактерицидного эффекта после операционного воздействия систем обеззараживания;
- продолжительность реализации операционного воздействия систем обеззараживания, определяющая сохранность биогенных свойств энергоносителя и процент их потерь.

Исходя из сформулированных выше требований в качестве базового объекта сравнения была выбрана технология подготовки бесподстильного

навоза к использованию в качестве жидкого биоорганического удобрения, основанная на биотермическом обеззараживании в лагунах, как наиболее широко применяемая в настоящее время, согласно практическому опыту, а также работам [15, 16, 50, 95-97, 168, 218, 239]. Как показал анализ таблицы 5.1, в настоящее время отсутствуют цифровизированные программные продукты, сопровождающие те или иные технологические способы как инструменты повышения энерго-экологического потенциала реализуемых операционных воздействий, на основании этого можно сделать вывод, что комплекс предлагаемых в данной работе технических решений с разработанной цифровизированной смарт системой является наиболее перспективным с энерго-экологической точки зрения и удовлетворяющим проанализированным в данном разделе нормативным документам. Однако, для количественной технико-экономической оценки разработанного комплекса технических решений относительно аналогов необходимо произвести соответствующие расчёты.

Установлено, что кроме качественных показателей, характеризующих уровень санитарно-эпидемиологической безопасности и экологической эффективности применяемых решений, для наиболее достоверного сравнения технических средств и формирования представления об их энергетической эффективности необходимо введение количественных показателей, наиболее представительным из которых является удельный уровень энергетических затрат [130, 138-141, 145, 146, 149, 211], направленный на реализацию того или иного операционного воздействия.

6.4. Расчёт энерго-экологической эффективности разработанных технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза

Расчёт экономической эффективности разработанного комплекса технических решений повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза в виде активатора и цифровизированной смарт системы повышения эффективности относительно технологии

биотермического обеззараживания производился методом совокупных затрат согласно методике, изложенной в ГОСТ 34393-2018 [239], а также с учётом данных полученных в работах [15, 16, 96].

Прямые эксплуатационные затраты денежных средств, приходящиеся на выполнение обеззараживания бесподстилочного навоза:

$$З_{экс i} = З_{o.ti} + З_{тсм i} + З_{pi} + A_i \quad (6.3)$$

где $З_{o.ti}$ – затраты денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб./час (принимается в соответствии с действующими в регионе ставками часовой оплаты труда механизаторов):

$$З_{o.ti} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{Mex}} \lambda_k \tau_k K_3}{W_{cmi}}, \quad (6.4)$$

где λ_k – количество обслуживающего персонала k -й квалификации, чел.;

τ_k – часовая оплата труда обслуживающего персонала k -й квалификации;

K_3 – коэффициент, учитывающий уровень социальных отчислений от зарплаты, регламентируемых законодательством конкретного государства;

n_{Mex} – число обслуживающего персонала, чел.;

$З_{тсм i}$ – затраты денежных средств на оплату энергетических затрат, кВт*ч/м³:

$$З_{тсм i} = g_{Ti} \Pi_T, \quad (6.5)$$

где g_{Ti} – удельный расход электроэнергии, кВт*ч/м³;

Π_T – цена электроэнергии кВт*ч;

$З_{pi}$ – затраты денежных средств на ремонт и техническое обслуживание используемых технических средств, руб.:

$$З_{pi} = \frac{\sum_{j=1}^{n_M} B_{Mj} K_{pj}}{W_{эки}}, \quad (6.6)$$

где n_M – число техники, входящей в МТА, шт.

B_{Mj} – цена i -й техники (без НДС), тыс. руб.;

K_{pj} – значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены техники на 100 ч ее работы, принятый в конкретном государстве, % (принимается согласно ГОСТ 34393-2018);

$W_{\text{Э}ki}$ – производительность технического средства при обеззараживании бесподстилочного навоза за 1 час эксплуатационного времени, м³/час:

$$W_{\text{Э}ki} = W_{oi} \left(\frac{1}{K_{\text{CM}j}} + \frac{1}{K_{\Gamma j}} - 1 \right)^{-1}, \quad (6.7)$$

где W_{oi} – производительность технического средства обеззараживания бесподстилочного навоза за 1 ч основного времени за период контрольных смен, ед. наработки.

$K_{\text{CM}j}$ – коэффициент использования сменного времени технического средства обеззараживания бесподстилочного навоза за период контрольных смен;

$K_{\Gamma j}$ – коэффициент готовности технического средства обеззараживания бесподстилочного навоза по оперативному времени;

A_i – амортизационные отчисления, руб.:

$$A_i = \frac{1}{W_{\text{Э}ki}} \sum_{j=1}^{n_M} \frac{B_{Mj}}{R_{Mj}}, \quad (6.8)$$

где R_{Mj} – значение амортизационного ресурса технического средства, определяется согласно ГОСТ 34393-2018.

Издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы для реализации операционного воздействия определяются:

$$I_{\text{В.М}i} = \sum_{f=1}^{n_{\text{В.М}}} g_f \text{Ц}_{\text{В.М}f}, \quad (6.9)$$

где g_f – удельный расход f -го вспомогательного технологического материала, кг/ед. наработки;

$\text{Ц}_{\text{В.М}f}$ – цена единицы f -го вспомогательного технологического материала, руб./кг/шт.;

$n_{\text{В.М}}$ – число наименований вспомогательных материалов, шт.

Издержки денежных средств от потерь биогенных свойств бесподстилочного навоза связанные с продолжительностью операционного воздействия способа обеззараживания определяются как:

$$I_{\pi i} = 0,01 Y_{cx} X_{cxi} C_{cx}, \quad (6.10)$$

где Y_{cx} – приrost урожайности сельскохозяйственной продукции при использовании внесения бесподстилочного навоза в качестве биоорганического удобрения, т/га (согласно [15, 16, 96] приrost в зависимости от типа почвы, агроклиматических условий и севооборота может составлять порядка 13...17%, примем усреднённое значение – 15%, т.е. порядка 0,5 т/га);

X_{cxi} – потери биогенных свойств утилизируемого бесподстилочного навоза связанные с применением «базовой технологии подготовки», % в месяц (согласно [207], рекомендуемое усреднённое значение составляет порядка 4% в месяц);

C_{cx} – рыночная цена подготовленного к внесению энергоэффективного и экологически безопасного жидкого биоорганического удобрения, руб./литр.

Издержки денежных средств, представляющие отчисления и штрафы, приходящиеся на охрану окружающей среды, в связи с несоблюдением санитарно-эпидемиологических требований экологической безопасности обеззараживания бесподстилочного навоза:

$$I_{окс i} = g_{Ti} H_{ок.с}, \quad (6.11)$$

где $H_{ок.с}$ – норма отчислений на охрану окружающей среды за выброс в окружающую среду веществ, представляющих антропогенную нагрузку, руб./кг.

В таблице 6.2 представлены результаты расчёта показателей экономической оценки обеззараживания бесподстилочного навоза с использованием цифровизированной смарт-системы относительно базовой технологии биотермического обеззараживания.

Для расчёта энерго-экологического эффекта согласно формуле (6.3) и имеющимся статьям расходов и их составляющих произведём численный расчёт:

$$Z_{\text{экс}_i} = 1880000 + 130075 + 97136 + 14500 + \\ + 262800 + 588575 = 2973086 \text{ руб.} \quad (6.3)$$

Численные значения данных представлены в таблице 6.2 и представляют собой исходные данные для оценки энерго-экологической эффективности. В качестве исходного объекта как наиболее перспективный был выбран АО «Рязанский свинокомплекс».

Таблица 6.2 – Показатели экономической оценки обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторе с использованием цифровизированной смарт-системы

№	Показатель	Значение показателя		Энерго-экологический эффект
		Технология биотермического обеззараживания в лагунах	Комплекс разработанных технических средств активатор + цифровизированная смарт-система	
1	Вид операционного воздействия	Обеззараживание бесподстилочного навоза		
2	Техническое средство	Лагуна, гомогенизатор, насос	Активатор обеззараживания	-//-
3	Производительность технического средства, м3/ч	21	30	+ 7 м3
4	Удельная энергоёмкость технического средства кВт*ч/м3	28	3,5	Часовая экономия 24,5
5	Совокупные затраты денежных средств на обеззараживание бесподстилочного навоза в активаторе тыс. руб./год, в том числе:			
	– затраты на оплату труда на одного обслуживающего механизатора, тыс. руб. / год. (без НДС)	3 320 000	1 440 000	1 880 000

продолжение таблицы 6.2

– затраты на электроэнергию*, руб./сут. *согласно установленному для юридических лиц тарифу, в зависимости от региона ставка может варьироваться	3 192	142,5	Суточная экономия 3 049,5
– затраты на техническое обслуживание, тыс. руб. / год	141 900	11 825	130 075
– амортизационные отчисления, тыс. руб. / год	109 013	11 850	97 136
– затраты на вспомогательные материалы, тыс. руб. / год	27 000	12 500	14 500
– издержки от потерь биогенных свойств бесподстилочного навоза в процессе подготовке к обеззараживанию, тыс. руб. / год	350 400	87 600	262 800
– издержки на охрану окружающей среды, тыс. руб. / год	980 950	392 375	588 575

В ходе проведённой оценки технико-экономической эффективности применения разработанного комплекса технических средств повышения обеззараживания бесподстилочного навоза относительно аналога методом приведённых затрат определён годовой экономический эффект равный 2 973 086 рублей.

6.5. Выводы по главе

1. В качестве качественных параметров сравнения экологической эффективности способов обеззараживания бесподстилочного навоза на основании анализа комплексов нормативных документов выделены наличие цифровизированного программного продукта, обеспечивающего максимизацию энергоэффективной реализации и экологической безопасности, наличие пролонгированного бактерицидного эффекта после операционного воздействия систем обеззараживания, продолжительность реализации операционного воздействия систем обеззараживания определяющая сохранность биогенных свойств энергоносителя и процент их потерь, в качестве количественного – уровень удельных энергетических затрат необходимый для достижения требуемого санитарно-эпидемиологического эффекта;

2. Разработана структурная схема, позволяющая визуализировать место образуемых органических отходов свинокомплекса в виде бесподстилочного навоза в общей технологической цепи животноводства;

3. Установлена эффективность использования метода приведённых затрат при сравнении технических средств обеззараживания бесподстилочного навоза;

4. Использование разработанного комплекса технических средств повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза при его последующем использовании в качестве органического удобрения позволяет получить годовой экономический эффект равный 2 973 086 рублей.

Заключение. Итоги выполненного исследования

1. Разработана нечёткая модель классификации способов обеззараживания бесподстилочного навоза на основании вероятностно-желательностного подхода с использованием функции Харрингтона. Установлено, что интегральный показатель эффективности обеззараживании бесподстилочного навоза согласно шкале желательности Харрингтона, лежит в диапазоне 0,5...0,7. С точки зрения анализа удельных энергетических затрат, относительного уровня экологической безопасности и наличия пролонгированного бактерицидного эффекта перспективным является использование активатора, осуществляющего интенсивное обеззараживание в электромагнитном индукторе. Новизна и перспективность данного способа подтверждается патентом РФ (№ 2726309 от 13.07.2020).

2. Разработаны общие и частные методики экспериментальных исследований, изготовлены необходимые элементы приборно-метрологического обеспечения, а также рекомендации по их использованию. Обоснованы диапазоны варьирования факторов, их области интереса, условия проведения эксперимента, измеряемые параметры, а также планы экспериментальных исследований обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым и стержневым вихревыми слоями.

3. Экспериментально исследована энерго-экологическая эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым и стержневым вихревыми слоями в активаторе, получены математические модели формализующие и позволяющие оценить энерго-экологическую эффективность обеззараживающего воздействия. Проведена оценка достоверности и статистической значимости полученных моделей. Разработан программный продукт реализации предлагаемого способа исследования (Optimum agriculture system v. 1.0 Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2019616853 РФ).

4. Обоснованы параметры, обеспечивающие максимальную энерго-экологическую эффективность интенсификации обеззараживания

бесподстилочного навоза, для стержневого вихревого слоя – концентрация активного хлора $\omega = 7,2$ мг/л; масса стержней $m_{cm} = 600$ гр.; уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора $B = 40$ мТл; влажность бесподстилочного навоза $W = 88$ %; продолжительность совместного воздействия $t = 6,2$ с, уровень удельной энергоёмкости при этом составляет $N = 4,942$ кВт·ч/м³; для шарового вихревого слоя – концентрация активного хлора $\omega = 7,0$ мг/л; масса стержней $m_{ш} = 600$ гр.; уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора $B = 40$ мТл; влажность бесподстилочного навоза $W = 90$ %; продолжительность совместного воздействия $t = 6,1$ с; при этом уровень удельной энергоёмкости составляет $N = 4,132$ кВт·ч/м³, данные параметры получены исходя из производительности обработки бесподстилочного навоза 30 м³/час.

5. Разработана цифровизированная смарт система исследования повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза (свид. о гос. рег. пр. для ЭВМ 2021661091 РФ, свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021663928 РФ, свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664838 РФ, свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664736 РФ, свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664791 РФ, свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664999 РФ). В которой реализован механизм повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза в активаторах. Данная система внедрена в производственную деятельность АО «Рязанский свинокомплекс», ОАО «Птицефабрика Атемарская».

6. Эколого-экономическая оценка эффективности применения разработанных технических средств относительно биотермического обеззараживания бесподстилочного навоза с помощью метода приведённых затрат позволила определить годовой экономический эффект 2 973 086 рублей.

Рекомендации производству

Для повышения эффективности реализации операционных воздействий рекомендуется использовать программно-аппаратные комплексы,

позволяющие на основании статистических данных разработать рекомендации принятия решений с оптимальными параметрами.

Перспективы дальнейшего развития темы

Дальнейшим развитием полученных результатов является расширение имеющейся базы данных для повышения достоверности и быстродействия применяемых рекомендаций.

Список использованных источников

1. Абашина, Т.Н. Изменения структурной организации бактериальных клеток при стрессовых воздействиях: дисс. канд. биол. наук: 03.00.07 / Т.Н. Абашина; ИБИФМ им. Г.К. Скрыбина РАН. – Пущино, 2007. – 128 с.
2. Авдеев, Н.Я. Расчёт гранулометрических характеристик полидисперсных систем / Н.Я. Авдеев. – Ростов-на-Дону. – 1966 – 52 с.
3. Авдучевский В.С. Надежность и эффективность в технике. Т. 1. Методология. Организация. Терминология: Справочник / Под ред. А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
4. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
5. Адошев, А.И. Ферровихревой аппарат для обеззараживания жидкого свиного навоза: дисс. канд. тех. наук: 05.20.02 / А.И. Адошев; СГАУ. – Ставрополь, 2011. – 190 с.
6. Акопян, В.Б. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии / В.Б. Акопян, Ю.А. Ершов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 224 с.
7. Александровская, Л.Н. Выбор ряда критериев проверки отклонения распределения вероятностей от нормального закона в практике инженерного статистического анализа / Л.Н. Александровская, А.В. Кириллин, О.Б. Кербер // Труды ФГУП "НПЦАП". Системы и приборы управления. – 2017. – № 1. – С. 42-52.
8. Андропов, А.М. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для ВУЗов / А.М. Андропов, Е.А. Копытов, Л.Я. Гринглаз. – СПб.: Питер. – 2004. – 461 с.
9. Артамонов, А.В. Сверхкритические водные технологии для решения экологических и энергетических задач АПК / А.В. Артамонов, С.В. Пашкин,

В.С. Григорьев, Я.П. Лобачевский [и др.] // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (47). – С. 7-12.

10. Бабенко, М.В. Влияние фракций свиного навоза на питательный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зернотравяного звена севооборота / И.Н. Барановский, М.В. Бабенко // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». – 2014. – № 2. – С. 40-48.

11. Бабенко, М.В. Влияние фракций свиного навоза на содержание и состав органического вещества в дерново-подзолистой почве / И.Н. Барановский, М.В. Бабенко // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». – 2013. – Вып. 16. – С. 33-40.

12. Бахвалов, Ю.А. Синтез электромеханических активаторов с вихревым слоем с применением обратных задач / Ю.А. Бахвалов, Г.И. Володин, В.В. Горчаков // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ. – Саратов, 2014. Т.7, ч.7. – С. 25-27.

13. Бахир, В.М. Дезинфекция питьевой воды: проблемы и решения / В.М. Бахир // Питьевая вода. – 2003. – №3. – С. 29-36.

14. Бондаренко, А.М. Формирование механизма управления технологиями рециклинга органических отходов в аграрном секторе экономики / А.М. Бондаренко, Л.С. Качанова, А.Ф. Рева, Н.А. Глечикова // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 6. – С. 117-127.

15. Бондаренко, А.М. Экономико-технологическая эффективность процессов рециклинга органических отходов в обеспечении устойчивости аграрного сектора / А.М. Бондаренко, Л.С. Качанова // Московский экономический журнал. – 2020. – № 8. – С. 12.

16. Бондаренко, А.М. Эффективность технологизации процессов переработки органических отходов животноводства / А.М. Бондаренко, Л.С. Качанова // АПК: Экономика, управление. – 2019. – № 7. – С. 54-61.

17. Бородычев, В.В. Аппаратурное оформление совмещенных процессов в технологии водоподготовки / В.В. Бородычев, А.Е. Новиков, М.И. Ламскова, М.И. Филимонов // Новые технологии. – 2020. – Т. 16. – № 5. – С. 55-62.

18. Бoryчев, С.Н. Использование нечёткого моделирования при оценке интенсивности технологий утилизации органических отходов / С.Н. Бoryчев, Н.В. Лимаренко, Е.А. Ракул, И.А. Успенский [и др.] // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. – 2021. – № 1 (61). – 298-315.

19. Бoryчев, С.Н. Моделирование влияние влажности бесподстилочного навоза на уровень его санитарно-эпидемиологической нагрузки / С.Н. Бoryчев, Н.В. Лимаренко, Е.А. Ракул, И.А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань. – 2021. – №. 2. – С. 79-87.

20. Бoryчев, С.Н. Структурно-информационная модель повышения биотрансформационной интенсивности жидкой фракции свиного бесподстилочного навоза / С.Н. Бoryчев, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 4. – С. 28-32.

21. Бoryчев, С.Н. Экосистема утилизации органических отходов животноводства / С.Н. Бoryчев, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко // Вестник Рязанского агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань. – 2020. – № 4. – С. 83-91.

22. Босак, В.Н. Агроэкономическая эффективность применения удобрений / В.И. Босак. – Минск: БелНИВНФХв АПК, 2005. – 44 с.

23. Брюханов, А.Ю. Метод решения экологических проблем при обращении с навозом и помётом / А.Ю. Брюханов, Э.В. Васильев, Е.В. Шалавина, Р.А. Уваров [и др.] // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – № 3 (27). – С. 84–96.

24. Брюханов, А.Ю. Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза/помета / А.Ю. Брюханов, Е.В. Шалавина, Э.В. Васильев // Молочнохозяйственный вестник. – 2014. – № 1 (31). – С. 78-85.

25. Брюханов, А.Ю. Рекомендации по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и

использования навоза (помета) / А.Ю. Брюханов, Д.А. Максимов, Х. Хутта, Э.В. Васильев, В.Б. Минин, И.А. Субботин; под ред. А.Ю. Брюханова. – СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ, 2012. – 56 с.

26. Брюханов, А.Ю. Экологоэнергетический показатель внедрения наилучших доступных технологий утилизации куриного помета / А.Ю. Брюханов, И.А. Субботин, Е.В. Тимофеев, А.Ф. Эрк // Экология и промышленность России. – 2019. Т. 23. – № 12. – С. 29-33.

27. Бутусов, О.Б. Нечеткие дифференциальные модели и их применение для математического моделирования сложных экологических систем / О.Б. Бутусов, В.В. Дикусар, Н.И. Редикульцева // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 4 (28). – С. 14–25.

28. Бышов, Н.В. Исследование распределения плотности вероятностей патогенных маркеров свиного бесподстилочного навоза / Н.В. Бышов, Н.В. Лимаренко, И.А. Успенский, С.Д. Фомин [и др.] / Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса. – 2019. – № 4 (56). – с. 215-227. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-26.

29. Бышов, Н.В. Концептуальная модель энергетической эффективности получения экологически безопасного утилизационного свиного бесподстилочного навоза / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, М.Н. Чаткин, Н.В. Лимаренко // Инженерные технологии и системы. – 2020. – № 3. – С. 394-412.

30. Бышов, Н.В. Методика комплексной оценки эффективности использования транспорта в сельскохозяйственном производстве / Н.В. Бышов, А.И. Ряднов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 1 (41). – С. 104-108.

31. Бышов, Н.В. Методика оценки уровня экологической нагрузки свиноводческих предприятий / Н.В. Бышов, Н.В. Лимаренко, И.А. Успенский, И.А. Юхин, А.А. Цымбал // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса. – 2020. – № 1 (57). – С. 268-278.

32. Бышов, Н.В. Расчёт и моделирование параметров индуктора электрического аппарата с несогласованной подвижной частью / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. – 2020. – № 4 (60). – С. 350-369. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-34.

33. Василенко, Л.В. Методы очистки промышленных сточных вод: учеб. пособие / Л.В. Василенко, А.Ф. Никифоров, Т.В. Лобухина. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. университет. – 2009. – 174 с.

34. Васильев, С.М. На пути к цифровой мелиорации / С.М. Васильев, В.Н. Щедрин, А.В. Слабунова, В.В. Слабунов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 5-9.

35. Васильев, Ф.П. Методы оптимизации / Ф.П. Василюв. – М.: Издательство Факториал Пресс, 2002. – 824 с.

36. Васильев, Э.В. Повышение эффективности процесса использования жидкого органического удобрения путем автоматизированного выбора рациональных вариантов технологий транспортировки и внесения в условиях Северо-Западного региона: дисс. 05.20.01 канд. техн. наук. ФГБНУ ИАЭП, Санкт-Петербург, 2015. – 176 с.

37. Венцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1976. – 552с.

38. Вершинин, И.Н. Аппараты с вращающимся электромагнитным полем / И. Н. Вершинин, Н.П. Вершинин. – Сальск, 2007. – 368 с.

39. Вершинин, Н.П. Установки активации процессов. Использование в промышленности и в сельском хозяйстве. Экология. / Н.П. Вершинин. – Ростов н/Д, 2004. – 314 с.

40. Ветеринарно-санитарные правила по использованию животноводческих жидкой фракции отходов животноводческих предприятий для орошения и удобрения пастбищ // Сборник нормативных актов и образцов документов. – Санкт-Петербург, Лениздат, 1995.

41. Ветеринарно-санитарные правила подготовки к использованию в

качестве органических удобрений навоза, помета и стоков при инфекционных и инвазионных болезнях животных и птицы: 13-7-2/1027: утверждены Заместителем Начальника Департамента ветеринарии Минсельхозпрода России В.В. Селиверстов 4 августа 1997 года N 13-7-2/1027.

42. Водный кодекс Российской Федерации: [Электронный ресурс] // Федеральное агентство водных ресурсов «Росводресурсы» URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102107048&intelsearch=74-%D4%C7> (Дата обращения 20.06.2019).

43. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водоемов. Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод: МУ 2.1.5.800-99: методические указания: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27 декабря 1999 года.

44. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Статистика, 1974. – 192 с.

45. Войтович, В.А. Аппараты вихревого слоя–импортозамещающее оборудование для производства лакокрасочных материалов и клеев / В.А. Войтович, М.А. Карт, Е.А. Захарычев, С.Г. Тарасов // Клеи. Герметика. Технологии. – 2016. – №10. – С. 25-28.

46. Володин, Г.И. Электромеханические процессы в устройствах с произвольной подвижной частью: дисс. докт. тех. наук: 05.09.01 / Г.И. Володин; ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск, 2009. – 304 с.

47. Ворожцов, О.В. Обоснование технологических и конструкционных параметров перемешивающего устройства, обеспечивающего гомогенизацию жидкого свиного навоза при его хранении в плёночных навозохранилищах: дисс. 05.20.01 канд. техн. наук. ФГБНУ ИАЭП, Санкт-Петербург, 2018. – 204 с.

48. Воронов, Ю.В. Водоотделение и очистка сточных вод: учеб. для вузов / Ю.В. Воронов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.

49. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения: СанПиН 2.1.7.573-96: утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора России 31.10.1996 г. № 46 / Минздрав России. – М., 1997. – 56 с.

50. Гладилин, А.В. Выбор и апробация приоритетных направлений переработки органических отходов в аграрном секторе экономики / А.В. Гладилин, Л.С. Качанова // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2017. – № 3 (60). – С. 57-62.

51. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для ВУЗов / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк. – 2003. – 479 с.

52. Голованчиков, А.Б. Моделирование процессов разделения неоднородных жидкостных систем в гидроциклоне с учётом критериев подобия / А.Б. Голованчиков, А.Е. Новиков, М.И. Ламскова, М.И. Филимонов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 34-38.

53. Гордеев, В.В. Сравнительная оценка технологий утилизации навозосодержащих стоков доильного зала / В.В. Гордеев, Т.Ю. Миронова // Агроинженерия. – 2020. – № 6 (100). – С. 59-65.

54. Гриднев, П.И. Влияние технологических и технических решений на функционирование систем утилизации навоза / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 4 (36). – С. 24-32.

55. Гриднев, П.И. Методология экологической оценки систем уборки и подготовки навоза к использованию / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева, А.А. Шведов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 2 (30). – С. 159-167.

56. Гриднев, П.И. Определение вероятности проскока частиц навоза через слой ферромагнитных элементов в аппаратах вихревого слоя / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 2 (284). – С. 36-39.

57. Гриднев, П.И. Определение потребного количества технических средств и параметров сооружений линии подготовки к использованию жидкого навоза с механическим разделением на фракции / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2 (38). – С. 62-68.

58. Гриднев, П.И. Результаты исследований процесса обработки навоза крупного рогатого скота в аппаратах вихревого слоя / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 6 (288). – С. 29-31.

59. Гриднев, П.И. Результаты исследований процесса разделения жидкого навоза на фракции установкой фильтрующего типа / П.И. Гриднев, Т.Т. Гриднева // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 10 (280). – С. 19-21.

60. Григорьев, В.С. Разработка самодезинфицирующих покрытий для обеззараживания поверхностей объектов животноводства / В.С. Григорьев // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 8 (278). – С. 28-33.

61. Гурьянов, Д.В. Аэрационный биореактор-электрообеззараживатель помета / Д.В. Гурьянов, В.Д. Хмыров, Ю.В. Гурьянова // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 4. – С. 75-78.

62. Гурьянов, Д.В. Обеззараживание куриного помета ультразвуковым облучением / Д.В. Гурьянов, В.Д. Хмыров, Р.В. Папихин, М.В. Маслова // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 2. – С. 78-81.

63. Гурьянов, Д.В. Обеззараживание куриного помета ультрафиолетовым облучением / Д.В. Гурьянов, В.Д. Хмыров, Р.В. Папихин, М.В. Маслова // Наука в центральной России. – 2018. – № 3 (33). – С. 65-70.

64. Гурьянов, Д.В. Поточный способ обеззараживания электрическим полем и переработки помета в органическое удобрение / Д.В. Гурьянов, В.Д. Хмыров, Ю.В. Гурьянова // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 75-78.

65. Гурьянов, Д.В. Пресс-гранулятор-обеззараживатель для изготовления гранул и брикетов из подстилочного навоза / Д.В. Гурьянов, В.Д. Хмыров, Т.В. Гребенникова, И.А. Мурог [и др.] // Вестник Рязанского государственного

агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 2 (38). – С. 82-85.

66. Давыдов, А.С. Использование бесподстилочного навоза для удобрительных поливов / А.С. Давыдов, Р.П. Воробьёва // Природообустройство. – 2008. – № 4. – С. 25-28.

67. Данилина, Э.М. Потери энергии на вихревые токи в электромагнитных аппаратах вихревого слоя и способы их снижения / Э.М. Данилина, Г.И. Володин, В.П. Бреславец // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2014. – №1. – С. 43-47.

68. Дегтярева, К.А. Комплекс питательных веществ животноводческих стоков и минеральных удобрений на планируемый урожай кормовой свеклы в системах орошения / Дегтярева К.А. [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 4 (32). – С. 8-11.

69. Дегтярева, К.А. Расчет подачи объёма птичьего помёта при удобрительных поливах томатов в первом обороте и огурцов во втором / Дегтярева К.А. [и др.]. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 141. – С. 1-18.

70. Дёмин, Е.Е. Совершенствование технологических процессов и технических средств погрузки навоза: дисс. 05.20.01 д-ра. техн. наук. Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилов, Саратов, 2007. – 480 с.

71. Деревянкин, Н.А. Аппараты с вихревым слоем в химической технологии / Н.А. Деревянкин, З.А. Михалёва // Обзорная информация. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение. Серия ХМ-1 / Тамбовский институт химического машиностроения. Тамбов, 1989. 37 с.

72. Домашенко Ю.Е. Исследования по оптимизации коагуляционной обработки животноводческих стоков с применением оксихлоридного коагулянта для целей орошения / Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев // Природообустройство. – 2016. – № 2. – С. 76-81.

73. Домашенко, Ю.Е. Ресурсосберегающие технологии по подготовке животноводческих стоков для орошения сельскохозяйственных культур / Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106. – С. 568-579.

74. Домашенко, Ю.Е. Экологически безопасная подготовка к утилизации высококонцентрированных органосодержащих сточных вод / Ю.Е. Домашенко, О.А. Суржко // Безопасность жизнедеятельности. – 2007. – № 10. – С. 44-46.

75. Домашенко, Ю.Е. Экологическое и технологическое обоснование подготовки животноводческих стоков хозяйств по выращиванию крупного рогатого скота / Ю.Е. Домашенко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 51. – С. 114-118.

76. Дорохов, А.С. Эффективность анаэробной переработки органических отходов в биофильтрах с использованием кондуктивного носителя / А.С. Дорохов, Д.А. Ковалев, А.В. Федотов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – № 1 (42). – С. 86-92.

77. Драйнер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Драйнер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.

78. Дрововозова, Т.И. Повышение санитарно-экологической безопасности сточных вод / Т.И. Дрововозова, Н.Н. Паненко, Е.С. Кулакова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 4-4 (58). – С. 39-42.

79. Дрововозова, Т.И. Экологизация систем водоснабжения малых сельских поселений / Т.И. Дрововозова, Е.С. Кулакова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2010. – № 19 (38). – С. 133-135.

80. Друзянова, В.П. Обеспечение экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве / В.П. Друзянова, А.В. Спиридонова,

М.Я. Рожина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 11. – С. 84-87.

81. Друзьянова, В.П. Ресурсосберегающая технология утилизации бесподстилочного навоза крупного рогатого скота в условиях Республики Саха (Якутия): дисс. канд. тех. наук: 05.20.01 / В.П. Друзьянова; ИГСА. – Иркутск. – 2004. – 162 с.

82. Друзьянова, В.П. Технология анаэробного сбраживания бесподстилочного навоза крупного рогатого скота / В.П. Друзьянова, Ю.А. Сергеев // Аграрная наука. – 2015. – № 5. – С. 24-26.

83. Дудка, А.А. Обоснование технологического процесса и параметров вибрационного фильтра для разделения навоза на фракции: дисс. канд. тех. наук: 05.20.01 / А.А. Дудка; ВОЛИОТКЗ АСН им. В.И. Ленина ЮО. – Харьков, 1983. – 241 с.

84. Евстафьев, Д.П. Повышение эффективности технологии анаэробной переработки биоотходов применением электротехнического устройства контроля pH: дисс. канд. тех. наук: 05.20.02 / Д.П. Евстафьев; СГАУ им. Н.И. Вавилова. – Саратов, 2014. – 181 с.

85. Евстафьев, Д.П. Повышение эффективности технологии анаэробной переработки биоотходов применением электротехнического устройства контроля pH: дисс. канд. тех. наук: 05.20.02 / Д.П. Евстафьев; СГАУ им. Н.И. Вавилова. – Саратов, 2014. – 181 с.

86. Жданова, Л.Г. Действия ультразвука на биологические свойства бактерий кишечной группы / Л.Г. Жданова, И.Ф. Перс // Сооб.1 Дезинтегрирующее действие ультразвука // ЖМЭИ. – 1961. – № 11. – с. 73-79.

87. Жидкий навоз: [Электронный ресурс] // Болезни и вредители полевых культур URL: <http://www.agrocounsel.ru/zhidkij-navoz/>. (Дата обращения: 18.06.2019).

88. Звеков, А.В. Совершенствование способа подготовки к использованию жидкого навоза / А.В. Звеков, А.И. Бабенков, И.А. Ершов // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 1 (1). – С. 159-164.

89. Зедгинидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

90. Игнатов, В.И. Понятийный аппарат как инструмент для создания системы рециклинга отходов / В.И. Игнатов, А.С. Дорохов, В.С. Герасимов, Н.О. Богатова // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 8. – С. 28-32.

91. Игнатов, В.И. Анатомия индустрии рециклинга отходов / В.И. Игнатов, Ю.В. Катаев, В.С. Герасимов, Н.К. Баулин, М.Н. Фархшатов, А.Ф. Фаюршин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3 (59). – С. 78-88.

92. Измайлов, А.Ю. Адсорбционно-окислительная технология переработки сточных вод предприятий агропромышленного комплекса / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.В. Федотов, В.С. Григорьев, Ценч Ю.С. // Вестник Мордовского университета. – 2018. – № 2. – С. 207-221.

93. Интенсивное разведение свиней [Электронный ресурс] / Агровестник. URL: <https://agrovesti.net/lib/tech/pig-breeding-tech/intensivnoe-razvedenie-svinej.html> (дата обращения 01.12.2020).

94. Калюга, В.В. Малая свиноферма с бесстрессовым способом содержания свиней / В.В. Калюга, А.В. Трифанов, В.И. Базыкин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства ГНУСЗНИИМЭСХ. – 2012 – №83. – С.111-121.

95. Качанова, Л.С. Методика прогнозирования и сценарии развития технологических процессов производства и применения органических удобрений в аграрном секторе экономики / Л.С. Качанова // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 7. – С. 107-110.

96. Качанова, Л.С. Совершенствование технологий переработки жидкого навоза на свиноводческих фермах / Л.С. Качанова, А.В. Барышников, С.А. Новиков // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 5. – С. 44-52.

97. Качанова, Л.С. Экономическая эффективность экологически регламентированного аграрного производства / Л.С. Качанова, А.М.

Бондаренко // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 6. – С. 323-327.

98. Киров, Ю.А. Гидроциклон-сгуститель навозных стоков / Ю.А. Киров, Ю.А. Савельев, В.А. Киров, Ю.З. Кирова // Сельский механизатор. – 2019. – № 6. – С. 24-25.

99. Киров, Ю.А. Исследование параметров новой конструкции центрифуги для разделения навозных стоков на фракции / Ю.А. Киров // Научное обозрение. – 2018. – № 2. – С. 18-23.

100. Киров, Ю.А. Обоснование конструктивно-режимных параметров установки для обезвоживания навоза при его уборке из животноводческих помещений / Ю.А. Киров, Ф.Г. Забиров // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 4 (32). – С. 70-74.

101. Киров, Ю.А. Повышение эффективности разделения на фракции стоков пивоваренного производства в гидроциклоне-сгустителе / Ю.А. Киров, Н.В. Батищева, В.С. Шкрабак // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 50. – С. 207-213.

102. Киров, Ю.А. Теоретическое обоснование устройства для съема флотационного шлама в установке очистки навозных стоков / Ю.А. Киров, Ю.А., А.С. Сычев, Е.В. Моисеев // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 4 (36). – С. 64-69.

103. Кирсанов, В.В. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве / В.В. Кирсанов, Ю.А. Цой // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14. – № 3. – С. 27-32.

104. Кирсанов, В.В. Структурно-функциональные модели построения цифровых технологических модулей современных молочных ферм / В.В. Кирсанов // Агроинженерия. – 2021. – № 2 (102). – С. 32-38.

105. Климов, Е.А. Оценка влияния составляющих нулевой последовательности на эффективность работы электромеханического активатора (Аппарата с вихревым слоем) / Е.А. Климов, В.В. Колосков, В.Е.

Сапрыкин // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 2012. – №1. – С. 67-71.

106. Ковалев, А.А. Энергетическая эффективность предварительной обработки синтетического субстрата метантенка в аппарате вихревого слоя / А.А. Ковалев, Д.А. Ковалев, В.С. Григорьев // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30. – № 1. – С. 92-110.

107. Коваленко, В.П. Анализ технологий и технических средств обработки бесподстилочного свиного навоза / В.П. Коваленко, С.С. Горб // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 2076-2090.

108. Коваленко, В.П. Оптимизация линий разделения жидкого навоза в свиноводческих комплексах / В.П. Коваленко, Г.Г. Шевцов // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1984. – № 5. – С. 95-100.

109. Коваленко, В.П. Параметры процесса эвакуации жидкого свиного навоза / В.П. Коваленко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 30. – С. 230-233.

110. Коваленко, В.П. Энергосберегающие технологии обработки бесподстилочного навоза / В.П. Коваленко, И.М. Пертенко, А.В. Коваленко; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Всероссийский научно-исследовательский и проектно технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Краснодар: КубГАУ, 2002. – 212 с.

111. Коваленко, В.П. Энергосберегающие технологии обработки бесподстилочного навоза / В.П. Коваленко, И.М. Петренко, А.В. Коваленко. – Краснодар. – 2002. – 212 с.

112. Колесникова, Т.А. Способы подготовки сточных вод животноводческих хозяйств для утилизации на сельскохозяйственных полях / Т.А. Колесникова, М.А. Куликова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 2 (14). – С. 206-211.

113. Колесникова, Т.А. Способы подготовки сточных вод животноводческих хозяйств для утилизации на сельскохозяйственных полях / Т.А. Колесникова, М.А. Куликова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 2 (14). – С. 206-211.

114. Кочубей, А.А. Физико–технологические основы упрочнения длинномерных деталей летательных аппаратов в устройствах с вращающимся электромагнитным полем / А.А. Кочубей, Ю.М. Вернигоров, Г.В. Дёмин // Вестник Московского авиационного института. – 2020. – Т. 27. – № 1. – С. 201-216.

115. Куликова, И.А. Совершенствование технологии обеззараживания сточных вод в целях ликвидации негативного воздействия на объекты геоэкологической среды: дисс. канд. тех. наук: 25.00.36; 05.23.04 / И.А. Куликова; ВГАСУ. – Волгоград, 2005. – 140 с.

116. Куликова, М.А. Переработка жидких отходов свинокомплексов на основе принципов наилучших доступных технологий / М.А. Куликова, К.О. Оковитая, О.А. Суржко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 4-1 (106). – С. 123-129.

117. Куликова, М.А. Формирование агропромышленных кластеров с комплексной переработкой отходов / М.А. Куликова, К.О. Оковитая, О.А. Суржко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 2-1 (104). – С. 159-165.

118. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – Киев. – 1986. – 325 с.

119. Кульский, Л.А. Химия воды: физико-химические процессы обработки природных и сточных вод / Л.А. Кульский, В.Ф. Накорчевекая. – К.: Вища школа, головное изд-во – 1983. – 240 с.

120. Лаврентьев, А.А. Моделирование электромагнитных характеристик индуктора электрического вихревого аппарата в среде Comsol Multiphysics / А.А. Лаврентьев, Н.В. Лимаренко, К.В. Хохлова // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 2021. – № 3 (Т. 64). – С. 12-17. DOI: 10.17213/0136-3360-

2021-3-12-17.

121. Лапшакова, К.А. Обеззараживание бытовых сточных вод малых населенных пунктов диафрагменным электрическим разрядом: дисс. канд. тех. наук: 05.23.04 / К.А. Лапшакова; ГОУ ВПО ЧГУ. – Иркутск, 2009. – 114 с.

122. Лапшакова, К.А. Обеззараживание бытовых сточных вод малых населенных пунктов диафрагменным электрическим разрядом: дисс. канд. тех. наук: 05.23.04 / К.А. Лапшакова; ГОУ ВПО ЧГУ. – Иркутск, 2009. – 114 с.

123. Лебедев, В.А. Технологические возможности обработки деталей в устройствах с вращающимся электромагнитным полем и перспективы их применения / В.А. Лебедев, А.А. Кочубей, Г.В. Дёмин, А.А. Ширин // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2020. – № 10 (112). – С. 22–28.

124. Лимаренко, Н.В. Алгоритмизация теорий и методик расчёта индуктора активатора / Н.В. Лимаренко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы 12-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 22-й междунар. агропром. выставки "Интерагромаш-2019", 27 февраля-1 марта 2019 г. – Ростов н/Д., 2019. – С. 357-360.

125. Лимаренко, Н.В. Влияние температуры на параметры работы индуктора, используемого при обеззараживании материалов / Н.В. Лимаренко, В.П. Жаров // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2016. – № 1. – С. 88-91.

126. Лимаренко, Н.В. Исследование влияния параметров рабочих тел индуктора на коэффициент мощности / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Г.А. Борисов, Н.В. Лимаренко // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса. – 2019. – № 3 (55). – с. 360-369. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-45.

127. Лимаренко, Н.В. Исследование параметров магнитного поля в рабочей камере индуктора / Н.В. Лимаренко, В.П. Жаров, Ю.В. Панов, Б.Г. Шаповал // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2016. – № 1. – С. 136-142.

128. Лимаренко, Н.В. Математическое моделирование магнитных характеристик индуктора для обеззараживания стоков сельского хозяйства / Н.В. Лимаренко, В.П. Жаров, Б.Г. Шаповал // Состояние и перспективы

развития сельскохозяйственного машиностроения: сб. трудов 9-й междунар. науч. конф. – Ростов-на-Дону, 2-4 марта, 2016. – с. 269-273.

129. Лимаренко, Н.В. Обоснование конструкции активаторов обеззараживания жидкой фракции отходов животноводства / Н.В. Лимаренко, Л.А. Пудеян // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]: сетевой электрон. науч. журн. / Северо-Кавказский научный центр высшей школы Южного федерального университета. – Ростов н/Д., 2019. – № 1(1). – 10 с. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5606>.

130. Лимаренко, Н.В. Обоснование параметров активатора обеззараживания стоков животноводческих предприятий: дисс. канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.В. Лимаренко; РГАТУ им. П.А. Костычева. – Рязань, 2018. – 160 с.

131. Лимаренко, Н.В. Определение закона распределения плотности вероятностей удельной электрической энергоёмкости при обеззараживании стоков агропромышленного комплекса / Н.В. Лимаренко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2017. – № 2. – С. 118-121.

132. Лимаренко, Н.В. Определение закона распределения плотности вероятностей числа колониеобразующих единиц в технологическом процессе обеззараживания стоков животноводческих ферм / Н.В. Лимаренко, В.П. Жаров // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т.16, № 2. – С. 136-140.

133. Лимаренко, Н.В. Оптимизация параметров операции обеззараживания сточных вод пищевых производств / Н.В. Лимаренко, Л.А. Пудеян // Современная наука и инновации. – 2020. – № 1 (29). – С. 68-74.

134. Лимаренко, Н.В. Процесс перемещения рабочих тел в пострабочей зоне активатора обеззараживания / Н.В. Лимаренко, А.А. Цымбал, Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, [и др.] // Вестник Рязанского агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань. – 2019. – №2. – С. 121-129.

135. Лимаренко, Н.В. Создание математической модели технологического процесса обеззараживания стоков животноводства / Н.В. Лимаренко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2017. – № 3. – С. 108-112.

136. Лимаренко, Н.В. Экспериментальная оценка достоверности оптимальных параметров активатора обеззараживания жидких отходов животноводства / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 8 (266). – С. 28-31.

137. Лимаренко, Н.В. Экспериментальное исследование влияния массы рабочих тел на параметры, характеризующие качество функционирования индуктора / Н.В. Лимаренко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т.16, № 2. – С. 90-96.

138. Личман, Г.И. Обоснование параметров машинной технологии приготовления органобактериальных удобрений / Г.И. Личман, Н.М. Марченко, В.П. Елизаров, А.Н. Марченко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 1. – С. 43–48.

139. Личман, Г.И. Оценка влияния качества внесения удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур / Г.И. Личман, А.А. Личман // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 5. – С. 16–21.

140. Лобачевский, Я.П. Аспекты цифровизации системы технологий и машин / Я.П. Лобачевский, В.М. Бейлис, Ю.С. Ценч // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 3 (36). – С. 40-45.

141. Лобачевский, Я.П. Энергетический потенциал продуктов деструкции органосодержащих отходов АПК при их переработке в сверхкритической водной среде / Я.П. Лобачевский, А.В. Федотов, В.С. Григорьев, Ю.С. Ценч // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 4 (44). – С. 5-11.

142. Логвиненко, Д.Д. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем /Д.Д. Логвиненко, О.П. Шеляков. – Киев: Техника, 1976. – 144 с.

143. Лопата, Ф.Ф. Ветеринарно-санитарное состояние навоза различных видов сельскохозяйственных животных: дисс. 16.00.06 канд. вет. наук. ГНУ ВНИИВСГЭ, Москва, 2008. – 133 с.

144. Лукьяненко, И.И. Исследование процесса фильтрования свиного навоза через перфорированные перегородки: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 – 17 с.

145. Мазанов, Р.Р. Смесители животноводческих стоков и минеральных удобрений в системах орошения / Р.Р. Мазанов [и др.] // Проблемы развития АПК региона. – 2019. – № 2 (38). – С. 117-124.

146. Мазанов, Р.Р. Струйные смесители минеральных удобрений и животноводческих стоков в системах орошения / Р.Р. Мазанов, Ч.М. Мутуев, С.А. Тарасьянц // Научная жизнь. – 2019. – № 6 (94). – С. 823-834.

147. Максимей, И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И.В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.

148. Марченко, Н.М. Механизация внесения органических удобрений / Н.М. Марченко, Г.И. Личман, А.Е. Шебалкин. – М.: Агропромиздат. – 1990. – 207 с.

149. Мейрамкулова, К.С. Экологическая оценка водопользования птицефабрик республики Казахстан / К.С. Мейрамкулова, Б.К. Толысбаев, А.С. Кыдырбеков, Л.И. Ринк [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 12. – С. 30-33.

150. Мелиоративные системы и сооружения: СП 100.13330.2016: утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. N 953/пр.

151. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

152. Месхи, Б.Ч. Создание математической модели для оценки энергоёмкости процесса обеззараживания стоков животноводства / Б.Ч. Месхи, Н.В. Лимаренко, В.П. Жаров // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т.18, № 4. – С. 129-135.

153. Методические рекомендации по расчету количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации

населенных пунктов: МДК 3-01.2001: утв. Госстроя России от 06.04.2001 № 75. – М., 2001. – 21 с.

154. Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов: РД-АПК 1.10.02.04-12: Система рекомендательных документов агропромышленного комплекса Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.: утверждены и введены в действие директором Департамента научно-технической политики НТС Минсельхоза России от 07 июня 2012 года N 19

155. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета: РД-АПК 1.10.15.02-17: Система нормативных документов агропромышленного комплекса Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.: утверждены и введены в действие заместителем Министра сельского хозяйства Российской Федерации И.В. Лебедевым 23 мая 2017 г.

156. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета № РД-АПК 1.10.15.02-08: МУ 1.10.15.02-08: утв. Мин. сель. хоз. России 29.04.2008. – М., 2008. – 97 с.

157. Методические указания по осуществлению государственного санитарного надзора за системами сбора, удаления, хранения, обеззараживания и использования навоза и навозных жидкой фракции отходов животноводческих предприятий животноводческих комплексов и ферм промышленного типа № 2156-80: МУ 2156-80: утв. зам. Глав. Государ. сан. врача СССР 12.03.1980. – М., 1980. – 17 с.

158. Миронов, В.Н. Способ утилизации выбросов вредных примесей в воздухе животноводческих помещений / В.Н. Миронов, В.В. Гордеев, В.Е. Хазанов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 5. – С. 50-51.

159. Миронова, Т.Ю. Способ минимизации выхода навозосодержащих стоков из доильного зала / Т.Ю. Миронова, В.В. Гордеев, А.М. Валге //

Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 56. – С. 178-184.

160. Митрофанов, С.В. Математические модели по прогнозированию баланса гумуса / С.В. Митрофанов, Н.Н. Новиков, В.С. Никитин, Д.А. Благов // Вестник Рязанского государственного агротехнического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – №2 (42). – С. 25–29.

161. Митрофанов, С.В. Цифровые технологии в проектировании систем удобрения в сельскохозяйственных предприятиях / С.В. Митрофанов, Д.А. Благов, В.С. Никитин, С.А. Белых // Техника и оборудование для села. – 2019. – №7 (265). – С. 14–17.

162. Михеева, Э.Р. Эффективность двухфазного анаэробного сбраживания и физико-химические свойства органической фракции твердых коммунальных отходов, переработанных в аппарате вихревого слоя / Э.Р. Михеева, И.В. Катраева, Д.Л. Ворожцов, Ю.В. Литти [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2020. – №6 (56). – С. 619-626.

163. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев – М.: Наука, 1981. – 488 с.

164. Моляко, В.А. Психология конструкторской деятельности / В.А. Моляко. – М.: Машиностроение, 1983. – 134 с.

165. Мосин, О.В. Аппараты магнитной обработки воды / О.В. Мосин // СОК. Сантехника, отопление, кондиционирование. – М.: Медиа Технолоджи. – 2011. – № 6. – С. 24-27.

166. Мыскин, В.А. Универсальная безотходная технология и средства переработки птичьего помета в органическое удобрение и добавку в корм животным / В.А. Мыскин, В.П. Капустин, Ю.В. Родионов, И.В. Иванова // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 3 (31). – С. 61-65.

167. Навоз жидкий. Ветеринарно-санитарные требования к обработке, хранению, транспортированию и использованию: ГОСТ 26074-84: государственный стандарт Союза ССР.: утвержден и введен в действие

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 9 января 1984 года N 47.

168. Навозоразбрасыватели. Рф. Navoz. Biz. Справочник по органическим удобрениям: [Электронный ресурс] // Бесплатная электронная библиотека URL:

http://www.навозоразбрасыватели.рф/spravoch/opredelenie_tsen_na_organicheskie_udobreniya.html (Дата обращения: 12.08.2021).

169. Новиков, А. Е. Моделирование гидродинамических и биоэкологических процессов очистки многокомпонентных систем от дисперсной фазы: монография / А.Е. Новиков, А.Б. Голованчиков, Е.А. Дугин, М.И. Филимонов; ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – 200 с.

170. Новиков, А.Е. Моделирование процессов центрифугирования и ультрафильтрации стоков животноводческих ферм / А.Е. Новиков, В.А. Шевченко, М.И. Филимонов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2019. – № 3 (91). – С. 27-35.

171. Нормы технологического проектирования оросительных систем с использованием животноводческих стоков: НТП-АПК 1.30.03.01-06: Система нормативных документов в агропромышленном комплексе Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.: утверждены и введены в действие заместителем Министра сельского хозяйства Российской Федерации С.Г. Митиным с 01.01.2007 г.

172. Нормы технологического проектирования свиноводческих ферм крестьянских хозяйств: НТП-АПК 1.10.02.001-00: Система нормативных документов в агропромышленном комплексе Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.: утверждены и введены в действие Заместителем министра Минсельхоза России Р.З. Алтынбаевым 15.09.2000 г.

173. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон № 52–ФЗ: [принят Гос. думой 12 марта 1999 года: одобрен Советом Федерации 17 марта 1999 года].

174. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон № 89–ФЗ: [принят Гос. думой 22 мая 1998 года: одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 года].

175. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон № 89–ФЗ: [принят Гос. думой 22 мая 1998 года: одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 года].

176. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон № 96–ФЗ: [принят Гос. думой 2 апреля 1999 года: одобрен Советом Федерации 22 апреля 1999 года].

177. Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7–ФЗ: [принят Гос. думой 20 декабря 2001 года: одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года].

178. Об утверждении доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации N 20: Утверждена указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года N 20.

179. Оковитая, К.О. Обеззараживание сточных вод на мясоперерабатывающем предприятии мясного кластера / К.О. Оковитая, О.А. Суржко // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2 (49). – С. 178.

180. Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод: МУ 2.1.5.800-99: утв. Минздравом России 27.12.1999: ввод. 01.06.00. – М., 2000. – 14 с.

181. Очков, В.Ф. Магнитная обработка воды: история и современное состояние // В.Ф. Очков // Энергосбережение и водоподготовка №2. – М.: ООО ЭНИВ. – 2006. – С. 23-29.

182. Павлов П.И. Эффективные средства механизации для удаления и утилизации навоза / П.И. Павлов // Естественные и технические науки. – 2017. – № 3 (105). – С. 87-89.

183. Павлов, П.И. Обоснование параметров шнекового погрузчика-смесителя органоминерального компоста / П.И. Павлов, И.Л. Дзюбан, А.О. Везиров // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2019. – № 6 (94). – С. 4-9.

184. Павлов, П.И. Технология уборки навоза / П.И. Павлов // Естественные и технические науки. 2017. № 3 (105). С. 85-86.

185. Павлов, П.И. Эффективные средства механизации для удаления и утилизации навоза / П.И. Павлов // Естественные и технические науки. – 2017. – № 3 (105). – С. 87-89.

186. Парфенова, В.Е. Нечеткое регрессионное моделирование в задачах управления аграрным производством / В.Е. Парфенова // Инновации. – 2019. – №7 (249). – С. 88–92.

187. Перельман, М.И. Бактерицидное действие ультразвука / М.И. Перельман, В.С. Моисеев // Проблемы техники в медицине. – Таганрог. –1980. – С. 38-41.

188. Петрова, С.А. Стабилизация анаэробного сбраживания отходов животноводства в условиях низких температур окружающей среды / С.А. Петрова, В.П. Друзянова, М.К. Охлопкова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 6. – С. 36-38.

189. Плаксин, И.Е. Перспективные направления развития отрасли свиноводства в России / И.Е. Плаксин, С.И. Плаксин, А.В. Трифанов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2020. – № 2 (103). – С. 72-81.

190. По технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета: МУ РД-АПК 1.10.15.02-08:

Рекомендательные документы агропромышленного комплекса Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.: утверждены и введены в действие Статс-секретарем - Заместителем Министра сельского хозяйства Российской Федерации Петриковым А.В. 29 апреля 2008 г.

191. Полторак, Я.А. Биотехнология для утилизации стоков животноводческих предприятий / Я.А. Полторак // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – №78 Т.04. – С. 1-10.

192. Полторак, Я.А. Биотехнология для утилизации стоков животноводческих предприятий / Я.А. Полторак // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – №78 –Т.04. – С. 1-10.

193. Попов, В.Д. Перспективы создания экологических центров промышленной переработки органических отходов животноводства / В.Д. Попов, М.Н. Ерохин, А.Ю. Брюханов, Э.В. Васильев [и др.] // Агроинженерия. 2020. – № 3 (97). – С. 4-11.

194. Попов, В.Д. Приоритеты экологического развития животноводства России и пути их реализации / В.Д. Попов, В.Ф. Федоренко, А.Ю. Брюханов / Техника и оборудование для села. – 2020. – № 12. – С. 2-5.

195. Постников, И.М. Проектирование электрических машин / И.М. Постников // – Киев. – 1960. – 910 с.

196. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций. ФАОСТАТ: [Электронный ресурс] // Данные URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#home> (Дата обращения 12.08.2021).

197. Прохорова И.А. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / Под ред. В.Г. Лазарева. – М.: Радио и связь, 1983. – 248с.

198. Пындак, В.И. Оптимизация систем очистки органосодержащих сточных вод и обработки иловых осадков / В.И. Пындак, А.Е. Новиков, В.Н. Штепа // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. – № 5. – С. 103-107.

199. Разъяснения Минприроды России по вопросу оформления лицензии по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию,

размещению отходов I – IV классов опасности при обращении с навозом [Электронный ресурс] // Росприроднадзор URL: <http://29.rpn.gov.ru/node/22799> (Дата обращения 30.06.2019).

200. Ракутько, С.А. Моделирование и численный анализ энергоэкологичности светокультуры / С.А. Ракутько, Е.Н. Ракутько // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13. – № 3. – С. 11–17.

201. Ракутько, С.А. Энергоэкологические основы наилучших доступных технологий светокультуры / С.А. Ракутько // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2019. – № 1 (98). – С. 44-60.

202. Редина, А.В. Агромелиоративная оценка очищенных животноводческих сточных вод при орошении чернозёмов южных / А.В. Редина, Ю.Е. Домашенко, С.М. Васильев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6 (68). – С. 8-11.

203. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике: в 2-х кн. кн. 1. пер. с англ. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел. – М.: Мир, 1986. – 349 с.

204. Романенко, Н.А. Использование животноводческих сточных вод и их осадков для орошения и удобрения сельскохозяйственных культур / Н.А. Романенко, Р.П. Воробьева, З.М. Гафурова. – М.: Россельхозакадемия, 1995. – 271 с.

205. Рудаков, В.А. Удобрительные поливы культурооборота томата и огурца птичьим помётом с использованием струйных смесителей / Рудаков В.А. [и др.] // Проблемы развития АПК региона. – 2019. – № 2 (38). – С. 151-155.

206. Рудаков, В.А. Экономическое обоснование использования смесителей животноводческих стоков, минеральных удобрений и воды в системах орошения сельскохозяйственных культур / Рудаков В.А. [и др.] // Проблемы развития АПК региона. – 2019. – № 2 (38). – С. 145-151.

207. Ряднов, А.И. Повышение производительности зерноуборочных комбайнов / А.И. Ряднов, С.В. Тронеv, О.А. Федорова // Сельский механизатор. – 2019. – № 8. – С. 2-3.

208. Ряднов, А.И. Повышение производительности соргоуборочного комбайна за счет применения усовершенствованного режущего аппарата жатки / А.И. Ряднов, О.А. Федорова, Р.В. Шарипов, В.А. Бариль // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 1 (61). – С. 441-452.

209. Ряднов, А.И. Повышение эффективности использования зерноуборочных машин за счет применения сменных бункеров зерна / А.И. Ряднов, О.А. Федорова, О.И. Поддубный, С.Ю. Фандеев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 2 (58). – С. 337-346.

210. Ряднов, А.И. Результаты оптимизации геометрических параметров экспериментальной грузовой платформы для перевозки рулонов сена / А.И. Ряднов, О.А. Федорова, И.В. Алмазов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 281-289.

211. Ряднов, А.И. Факторы, влияющие на эффективность использования машин по формированию и транспортировке рулонов сена / А.И. Ряднов, С.Ю. Фандеев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 4 (60). – С. 460-468.

212. Ряднов, А.И. Методы оценки эффективности уборки сельскохозяйственных культур: монография / А.И. Ряднов // Волгоградская гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2008. – 108 с.

213. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.: утверждено постановлением

Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 25 сентября 2007 года N 74.

214. Санитарные правила для животноводческих предприятий: СП 4542-87: утверждены Заместителем главного государственного санитарного врача СССР А.М. Складовым № 4542-87, 31 декабря 1987 г.

215. Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2019616853 РФ Определение оптимальных параметров операции обеззараживания отходов агропромышленного комплекса «Optimum agriculture system v. 1.0»: Бюл. – б. – № 2019616853. Опубл. 30.05.2019. / Н.В. Лимаренко, Н.В. Дьяченко, Р.Т. Акушуев, А.С. Отакулов.

216. Селиверстов, Г.В. Оценка влияния ротора на рабочие параметры аппаратов вихревого слоя / Г.В. Селиверстов, Д.П. Титов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – №3. – С. 415-425.

217. Сельское хозяйство и балансы продовольственных ресурсов / Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy?print=1 (дата обращения 01.12.2020).

218. Сельское хозяйство. UniversityAgro.ru. Агрохимия. Навоз: [Электронный ресурс] // Бесплатная электронная библиотека URL: <https://universityagro.ru/агрохимия/навоз/#i-23> (Дата обращения: 12.08.2021).

219. Семёнова, П.Я. Бесподстильный навоз и его использование для удобрения / П.Я. Семёнова. – М.: Колос. – 1978. – 271 с.

220. Семёнова, П.Я. Бесподстильный навоз и его использование для удобрения / П.Я. Семёнова. – М.: Колос. – 1978. – 271 с.

221. Серпокрылов, Н.С. Особенности пуска сооружений биологической очистки сточных вод в режимах нитрификации и денитрификации / Н.С. Серпокрылов, Е.В. Вильсон, Л.А. Долженко, М.А. Саид // Градостроительство и архитектура. – 2018. – Т. 8. – № 3 (32). – С. 55-61.

222. Серпокрылов, Н.С. Особенности реагентной очистки сточных вод птицефабрик / Н.С. Серпокрылов, Л.Г. Спиридонова, И.А. Кулик // Интернет-журнал Науковедение. – 2012. – № 4 (13). – С. 203.

223. Серпокрылов, Н.С. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений / Н.С. Серпокрылов, С.Е. Петренко, В.Ю. Борисова // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2 (25). – С. 20.

224. Серпокрылов, Н.С. Сравнительная оценка аэраторов для очистки сточных вод по обобщенному критерию аэрации / Н.С. Серпокрылов, А.С. Смоляниченко, И.И. Лесников // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 97-100.

225. Симонян, З.Г. Влияние ультразвуковых волн на патогенные свойства стафилококков и их чувствительность к антибиотикам / З.Г. Симонян, Ц.В. Кавтарадзе // тр. НИ кожно-венерол. института МЗГССР. – 1970. – Т. 13–14. – С.381-388.

226. Ситдилов, Ф.Ф. Основные направления и проблемы цифровизации агропромышленного комплекса / Ф.Ф Ситдилов, Ю.А. Цой, Б.Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 3 (54). – С. 112-115.

227. Романов, И.В. Исследование методов подготовки органосодержащих сельскохозяйственных отходов для их дальнейшей переработки в сверхкритической водной среде / И.В. Романов, В.С. Григорьев // Технический сервис машин. – 2021. – № 2 (143). – С. 85-90.

228. Скорб, И.И. Экспериментальные исследования процесса гомогенизации жидкого расслоившегося навоза в открытом канале / И.И. Скорб // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4. – С. 133-137.

229. Соловьев, Д.А. Повышение эффективности орошения на основе внедрения цифровых моделей прогнозирования водопотребления / Д.А.

Соловьев, Г.Н. Камышова, Д.А. Колганов, Н.Н. Терехова // Известия НВ АУК. – 2020. – № 4(60). – С. 402–414.

230. Сорока, С.А. Влияние акустических колебаний на биологические объекты / С.А. Сорока // Вибрация в технике и технологиях. – 2005. – № 1. – с. 39-41.

231. Сторожук, Т.А. Ультразвуковое обеззараживание стоков животноводческих предприятий / Т.А. Сторожук // Сельский механизатор. – 2014. – № 1. – С. 34-35.

232. Строгий, Б.Н. Обоснование параметров процесса разделения жидкого свиного навоза на фракции установкой с многократного механического отжима осадка: дис. 05.20.01 канд. техн. наук. АЧГАА, зерноград 2009. – 144 с.

233. Субботин, И.А. Энергоэкологическая оценка использования различных генерирующих источников в сельском хозяйстве / И.А. Субботин, А.Ю. Брюханов, Е.В. Тимофеев, А.Ф. Эрк. // Инженерные технологии и системы. – 2019. Т. 29. – № 3. – С. 366-382.

234. Суржко, О.А. Биологический способ обеззараживания сточных вод свиноводческих комплексов / О.А. Суржко, К.О. Оковитая // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3 (50). – С. 106.

235. Суржко, О.А. Ресурсосбережение и экологическая безопасность при утилизации отходов животноводческих хозяйств. О.А. Суржко. – Ростов-н/Д. – 2003. – 176 с.

236. Суржко, О.А. Ресурсосбережение и экологическая безопасность при утилизации отходов животноводческих хозяйств. О.А. Суржко. – Ростов-н/Д. – 2003. – 176 с.

237. Тарасов, С.И. Особенности применения бесподстильного навоза / С.И. Тарасов // Агрохимический вестник. – 2013. – № 4. – С. 32-34.

238. Тарасьянц, С.А. Технологический процесс производства работ по очистке мелководных водоемов универсальной гидравлической установкой / С.А. Тарасьянц [и др.] // АПК России. – 2020. – № 1 (27). – С. 149-154.

239. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки: ГОСТ 34393-2018: межгосударственный стандарт.: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации протокол от 30 марта 2018 г. N 107-П.

240. Тиво, П.Ф. Анализ современных технологий использования животноводческих стоков / П.А. Тиво, А.С. Анженков, Л.А. Саскевич, Е.А. Бут // Мелиорация. – 2017. – № 3 (81). – С. 54-63.

241. Токарев, К.Е. Теория и технологии управления орошением сельскохозяйственных культур на основе информационных технологий поддержки принятия решений и математического моделирования / К.Е. Токарев, Н.И. Лебедь, В.А. Кузьмин, А.Н. Чернявский // Известия НВ АУК. – 2020. – № 4(60). – С. 433-448.

242. Томашевская, Е.П. Технология переработки вторичного сырья в условиях Севера / Е.П. Томашевская, В.П. Друзьянова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 11. – С. 151-153.

243. Трифанов, А.В. Теоретические предпосылки анализа работы самотечной системы удаления навоза периодического действия / А.В. Трифанов, В.В. Калюга, В.И. Базыкин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – №54. – С. 140-147.

244. Тютюнов, С.И. Использование свиных стоков животноводческих предприятий в качестве органических удобрений / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловиченко, Е.В. Навольнева // Международный научно-исследовательский журнал, № 10 (41). – Екатеринбург, 2015. с. 76-79.

245. Тютюнов, С.И. Использование свиных стоков животноводческих предприятий в качестве органических удобрений / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловиченко, Е.В. Навольнева // Международный научно-исследовательский журнал, № 10 (41). – Екатеринбург, 2015. с. 76-79.

246. Уваров, Р.А. Повышение эффективности переработки навоза крупного рогатого скота путем разработки биоферментационной установки

барабанного типа: дисс. 05.20.01 канд. техн. наук. ФГБНУ ИАЭП, Санкт-Петербург, 2018. – 160 с.

247. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия: ГОСТ 33830-2016: межгосударственный стандарт.: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (от 28 июня 2016 г. N 49).

248. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия: ГОСТ Р 53117-2008: национальный стандарт Российской Федерации.: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2008 г. N 537-ст.

249. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия: ГОСТ 33830-2016: межгосударственный стандарт.: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 28 июня 2016 года N 49.

250. Удобрения органические. Метод определения pH: ГОСТ 27979-88: государственный стандарт Союза ССР.: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 22.12.88 N 4442.

251. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка: ГОСТ 26713-85: государственный стандарт Союза ССР.: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1985 года N 4213.

252. Удобрения органические. Метод определения общего азота: ГОСТ 26715-85: государственный стандарт Союза ССР.: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1985 года N 4213.

253. Удобрения органические. Метод определения общего калия: ГОСТ 26718-85: государственный стандарт Союза ССР.: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1985 года N 4213.

254. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора: ГОСТ 26717-85: государственный стандарт Союза ССР.: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1985 года N 4213.

255. Удобрения органические. Методы определения органического вещества: ГОСТ 27980-88: государственный стандарт Союза ССР.: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 22.12.88 N 4442.

256. Удобрения органические. Общие требования к методам анализа: ГОСТ 26712-94: межгосударственный стандарт.: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации протокол N 6-94 от 21 октября 1994 года.

257. Удобрения органические. Термины и определения: ГОСТ 34103-2017: межгосударственный стандарт.: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 1 июня 2017 г. N 51).

258. Успенский И. А. Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин: дис. ... д-ра. техн. наук. – Москва, 1997. – 396 с.

259. Успенский, И.А. Разработка контрольно-измерительного комплекса оценки энергозатрат электрооборудования транспортно-технологических средств / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко // Актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной техники: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры технической эксплуатации транспорта 12 октября 2020 года. Рецензируемое научное издание. – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2020. – Том 1 – С. 286-291.

260. Утилизация навоза/помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подземных водных объектов в ленинградской области: [Электронный ресурс] //

Бесплатная электронная библиотека URL: <http://kniga.seluk.ru/k-mehanika/94649-1-utilizaciya-navoza-pometa-zhivotnovodcheskih-fermah-dlya-obespecheniya-ekologicheskoy-bezopasnosti-territorii-nazemnih.php>. (Дата

обращения: 19.06.2019).

261. Федоренко, В.Ф. Цифровые беспроводные технологии для оценки показателей сельскохозяйственной техники / В.Ф. Федоренко, В.Е. Таркинский // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – № 1 (14). – С. 10-15.

262. Федотов, А.В. Комплексная переработка сточных вод, содержащих органические загрязнения, и растительных отходов агропромышленного комплекса / А.В. Федотов, А.А. Свитцов, В.И. Ванчурин // Сверхкритические флюиды: теория и практика. – 2020. – № 4 (15). – С. 39-48.

263. Федотов, А.В. Переработка органосодержащих отходов с использованием адсорбционных и сверхкритических технологий / А.В. Федотов, В.С. Григорьев, А.А. Володина, И.В. Романов, И.А. Шемберев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 1 (30). – С. 294-303.

264. Федотов, А.В. Перспективный носитель биомассы для систем анаэробной переработки органических отходов АПК / А.В. Федотов, В.С. Григорьев, Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – № 1 (38). – С. 148-155.

265. Федотов, А.В. Энергоэффективная технология комплексной утилизации твердых и жидких органосодержащих отходов в сверхкритических условиях / А.В. Федотов, А.А. Володина, В.С. Григорьев, И.В. Романов, И.А. Шемберев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 1 (34). – С. 133-139.

266. Федотов, А.В. Энергосберегающие технологии технического сервиса и переработки органических отходов / А.В. Федотов // Технический сервис машин. – 2020. – № 1 (138). – С. 65-75.

267. Фесенко, Л.Н. Оценка экономической эффективности обеззараживания питьевой воды прямым электролизом / Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, А.С. Териков // Военный инженер. – 2017. – № 4 (6). – С. 11-18.
268. Флейшман, Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б.С. Флейшман. – М.: Советское радио, 1971. – 224 с.
269. Фрог, Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.Г. Первов. – М.: изд-во АСВ, 2015. – 512 с.
270. Фурсин, П.А. Обоснование, создание и исследование функционирующей механизированной поточной линии удаления и переработки жидкого навоза на животноводческих фермах: дисс. д-р. тех. наук: 05.20.01 / П.А. Фурсин; КОТКЗСИ. – Краснодар. – 1982. – 478 с.
271. Хазанов, В.Е. Современные тенденции в технологиях уборки и обработки навоза на молочных фермах / В.Е. Хазанов, В.В. Гордеев, Е.Е. Хазанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 20. – С. 342-346.
272. Хмыров, В.Д. Эффективность системы применения удобрений в органическом земледелии / В. Д. Хмыров, Б.С. Труфанов, О.И. Журавлева // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (58). – С. 14-18.
273. Хмыров, В.Д. Эффективность системы применения удобрений в органическом земледелии / В. Д. Хмыров, Б.С. Труфанов, О.И. Журавлева // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (58). – С. 14-18.
274. Хмыров, В.Д. Эффективность системы применения удобрений в органическом земледелии / В.Д. Хмыров, Б.С. Труфанов, О.И. Журавлева // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (58). – С. 14-18.
275. Храмченкова, А.О. Интегральная оценка эффективности труда в молочном скотоводстве / А.О. Храмченкова, Е.А. Ракул // Экономика труда. – 2019. –Том 6. –№ 1. – С. 305–320.

276. Хубка, В. Теория технических систем / В. Хубка – М.: Мир, 1987. – 208 с.
277. Цой, Ю.А. Контуры управления в автоматизации функционирования умной фермы / Ю.А. Цой, Г.К. Толоконников // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2017. – № 4 (28). – С. 37-42.
278. Цой, Ю.А. Применение и технологическая модернизация эргатических биомашсистем в животноводстве / Ю.А. Цой, Р.А. Баишева, В.В. Танифа // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 3 (31). – С. 128-131.
279. Цымбал, А.А. Моделирование эпидемиологических свойств бесподстилочного навоза при подготовке физико-химическим обеззараживанием / А.А. Цымбал, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко // Вестник Рязанского агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань. – 2020. – № 3. – С. 89-98.
280. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. - М.: Высш. шк., 2004. – 445 с.
281. Черноиванов, В.И. Биомашсистемы энергосберегающих технологий переработки отходов АПК / В.И. Черноиванов, Г.К. Толоконников, А.В. Федотов // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 2 (272). – С. 2-7.
282. Чеснокова, Л.Н. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем / Л.Н. Чеснокова. – М.: Цветметинформация. – 1971. 75 с.
283. Шалавина, Е.В. Алгоритм принятия решений при выборе машинных технологий биоконверсии отходов животноводства / Е.В. Шалавина, Э.В. Васильев // Васильев Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 1 (17). – С. 366–370.
284. Шалавина, Е.В. Повышение эффективности переработки свиного навоза путем оптимизации технологических процессов и формирования

адаптивных технологий: дисс. канд. тех. наук: 05.20.01 / Е.В. Шалавина; СпбГАУ. – Санкт-Петербург. – 2015. – 152 с.

285. Шаталова, О.М. Основные положения методики информационного обеспечения в оценке эффективности технологических инноваций методами нечеткого моделирования / О.М. Шаталова // Вестник Южно–Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2018. – Т.12. – №4. – С. 102–112.

286. Шигапов, И.И. Модель биотехнической системы процесса уборки, транспортировки и переработки навоза / И.И. Шигапов // Аграрная наука. – 2017. – № 3. – С. 27-31.

287. Шигапов, И.И. Разработка и обоснование технологий и технических средств уборки навоза из животноводческих помещений и его переработки: дисс. 05.20.01. д-ра техн. наук. ФГБОУ ВО Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина, Ульяновск, 2017. – 404 с.

288. Шигапов, И.И. Технология переработки навозной массы / И. И. Шигапов, А. В. Поросятников, О. Н. Краснова // Сельский механизатор. – 2019. – № 5. – С. 28-29.

289. Щедрин, В.Н. Подходы к формированию информационной системы «Цифровая мелиорация» / В.Н. Щедрин, С.М. Васильев, В.В. Слабунов, А.В. Слабунова, А.А. Завалин // Информационные технологии и вычислительные системы. –2020. –№ 1. – С. 53-64.

290. Эльпинер, И.Е. Биофизика ультразвука / И.Е. Эльпинер. – М.: Наука, 1973. – 384 с.

291. Яковлев, С.В. Очистка производственных сточных вод: уч. пос. для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков. – М.: Стройиздат. – 1985. – 335 с.

292. Ackers, M.L. An outbreak of Escherichia coli O₁₅₇: H₇ infections associated with leaf lettuce consumption / M.L. Ackers, et al. // Journal of Infectious Diseases:

26th Interscience Conference on Antimicrobial Agents and Chemotherapy Jun. – 1998. – № 177 (6). – pp.1588-1593

293. Bing, S. The synergistic effects of slightly acidic electrolyzed water and UV-C light on the inactivation of *Salmonella enteritidis* on contaminated eggshells / S. Bing, et al. // *Poultry Science*. – 2019. – № 98 (12). – pp. 6914-6920. DOI:10.3382/ps/pez454.

294. Blaustein, R.A. Release and removal of microorganisms from land-deposited animal waste and animal manures: a review of data and models / R.A. Blaustein, Y.A. Pachepsky, D.R. Shelton, R.L. Hill // *J. Environ. Qual.* – 2015. – № 5 (44). – pp. 1338-1354.

295. Byshov, N.V. Ecological and technological criteria for the efficient utilization of liquid manure / N.V. Byshov, I.A. Uspensky, I.A. Yukhin, N.V. Limarenko // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. DOI:10.1088/1755-1315/422/1/012069. URL:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42878732>.

296. Byshov, N.V. Parameters of optimized system of technological process of waste water disinfection of livestock enterprises in integrated physico-chemical effects / N.V. Byshov, I.A. Uspensky, I.A. Yukhin, N.V. Limarenko [et al.]// *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – № 341 (012140). DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012140.

297. Chick, H. An investigation of the laws of disinfection / H. Chick // *Journal of Hygiene*. – 2009. – № 8 (1). – pp. 92-158.

298. Cluett, Jessie R. Surface covers affect liquid manure temperature, albedo, and evaporation / Jessie R. Cluett, Andrew C. VanderZaag, Timothy Rennie, Ward Smith, Robert J. Gordon // *Transactions of the ASABE*. – 2020. – № 63(1). – pp. 199-210.

299. Favier, G.I. Effect of chlorine, sodium chloride, trisodium phosphate, and ultraviolet radiation on the reduction of *Yersinia enterocolitica* and mesophilic aerobic bacteria from eggshell surface / G.I. Favier, M.E. Escudero, D.E. Guzman // *Journal of Food Protection*. – 2001. – № 64 (10). – pp.1621-1623.

300. Golovanchikov, A.B. Modeling the process of separation of non-homogeneous liquid disperse systems in a hydrocyclone accounting for similarity criteria / A.B. Golovanchikov, A.E. Novikov, M.I. Lamskova, M.I. Filimonov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2018. – T. 54. – № 1-2. – С. 118-124.
301. Gomez-Lopez, V.M. Pulsed light for food decontamination: a review / V.M. Gomez-Lopez, P. Ragaert, F. Devlieghere // Trends in Food Science & Technology. – 2007. – № 18 (9). – pp.464-473.
302. Hinojosa, C. Use of Foaming Disinfectants and Cleaners to Reduce Aerobic Bacteria and Salmonella on Poultry Transport Coops / C. Hinojosa, et al. // Animals. – 2018. – № 8 (11): 195. DOI:10.3390/ani8110195
303. Jagisso, Yonas. Unlocking the Agricultural Potential of Manure in Agropastoral Systems: Traditional Beliefs Hindering Its Use in Southern Ethiopia / Yonas Jagisso, Jens Aune, Ayana Angassa // Agriculture. – 2019, – №. 9(3), 45.
304. Kabelitz, T. Functional relationship of particulate matter (PM) emissions, animal species, and moisture content during manure application / Tina Kabelitz, et al. // Environment International. – 2020. – Vol. 143, 105577. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105577>
305. Limarenko, N.V. The study of the electromagnetic activator energy efficiency in the preparation of liquid organic waste for disposal / N.V. Limarenko, E.V. Krasnova, L.A. Pudean // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 659 (012109). DOI:10.1088/1755-1315/659/1/012109.
306. Liu, J. A review of regulations and guidelines related to winter manure application / J. Liu, et al. // Ambio. – 2018. – № 47. – pp. 657–670.
307. Liu, J. Seasonal manure application timing and storage effects on field- and watershed-level phosphorus losses / J. Liu, et al. // Journal of Environmental Quality. – 2017. – № 46. – pp. 1403–1412.
308. Mahmoud, Sharara. Consequential Life Cycle Assessment of Swine Manure Management within a Thermal Gasification Scenario / Mahmoud Sharara, Daesoo Kim, Sammy Sadaka, Greg Thoma // Energies. – 2019. – № 12(21), 4081.

309. Place, F. Prospects for integrated soil fertility management using organic and inorganic inputs: Evidence from smallholder African agricultural systems / F. Place, C.B. Barrett, H.D. Freeman, J.J. Ramisch, B. Vanlauwe // Food Policy. – 2003 – № 28. – pp. 365-378.

310. Stroheim, Erich. Valuing Cattle Manure as an Agricultural Resource for Efficiency and Environmental Sustainability / Erich von Stroheim, Dana Loyd Keske Hoag // Sustainability. – 2021. – № 13(16), 9375; <https://doi.org/10.3390/su13169375>

311. Webb, J. An assessment of the variation of manure nitrogen efficiency throughout Europe and an appraisal of means to increase manure N efficiency / J. Webb, et al. // Advances in Agronomy. – 2012. – № 119. – pp. 371-442.

Приложения

Приложение А – Справочные данные и результаты расчётов

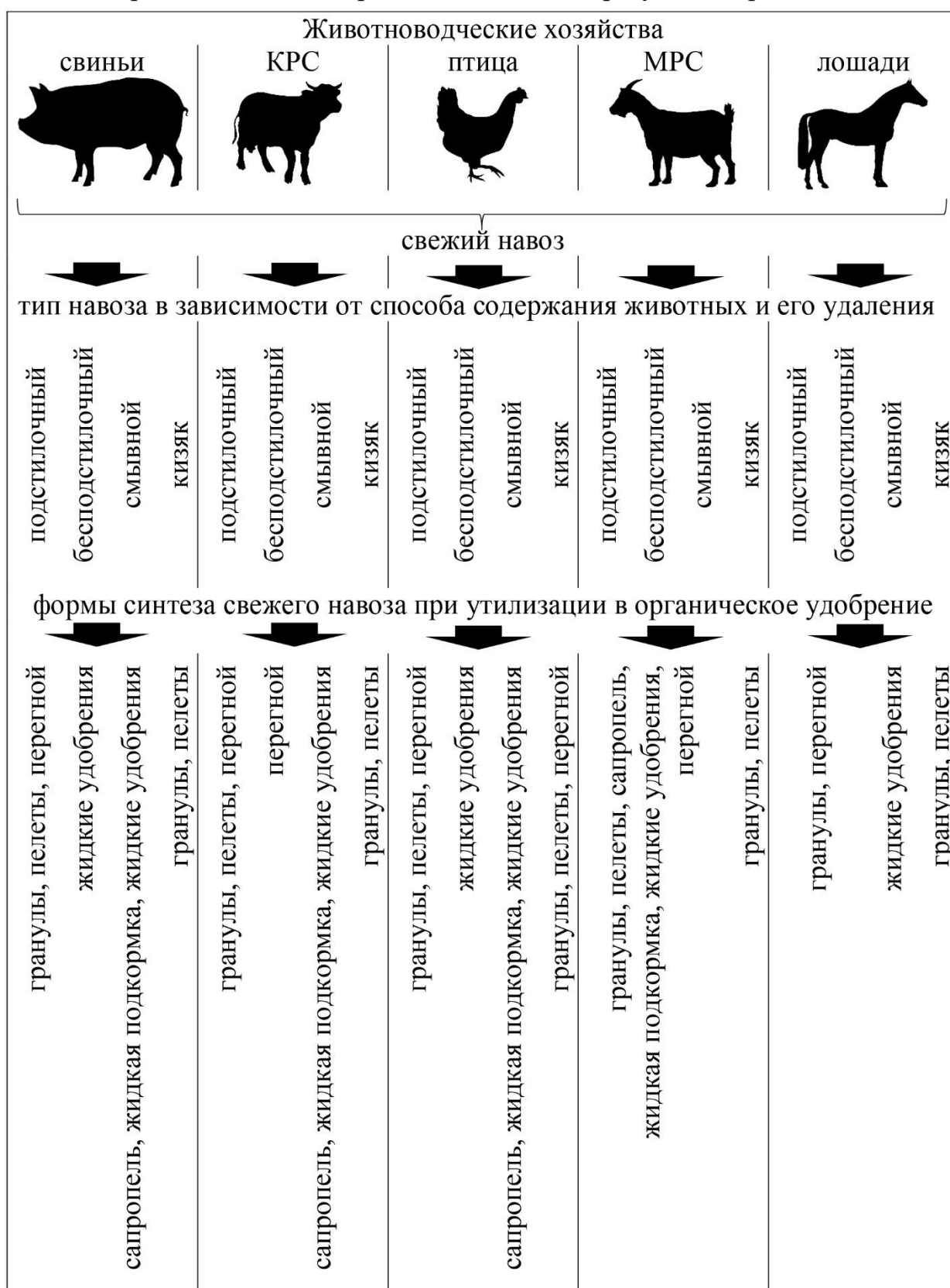


Рисунок А.1 – Классификация направлений утилизации органических отходов животноводства в зависимости от типа животных

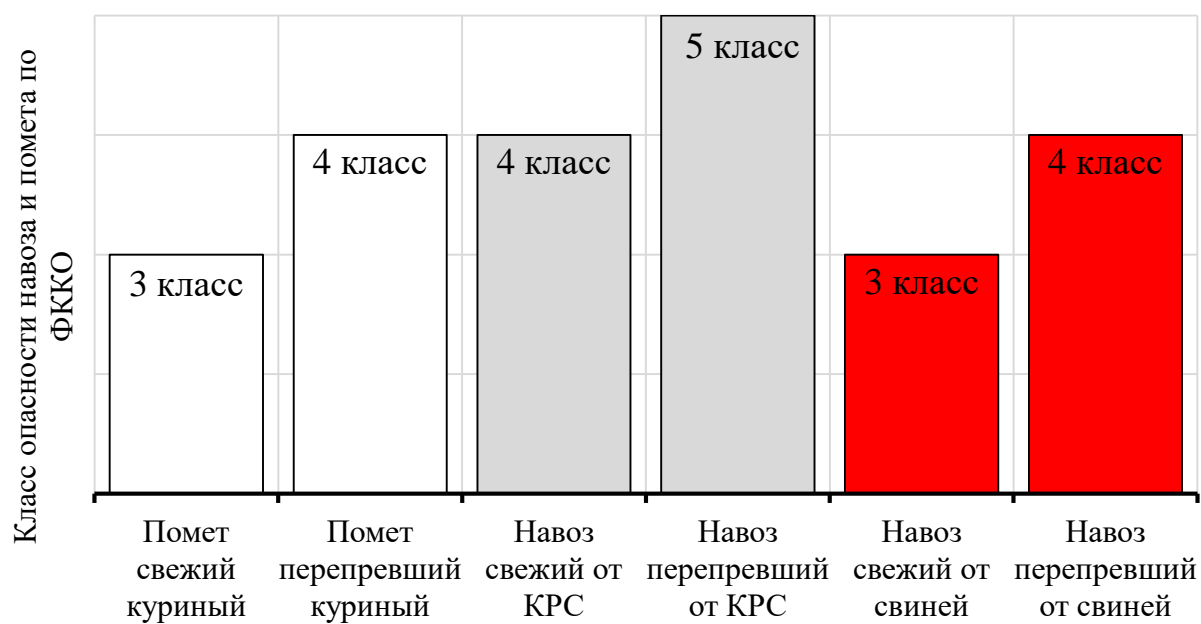


Рисунок А.2 – Класс опасности навоза и помета по ФККО, в зависимости от его типа

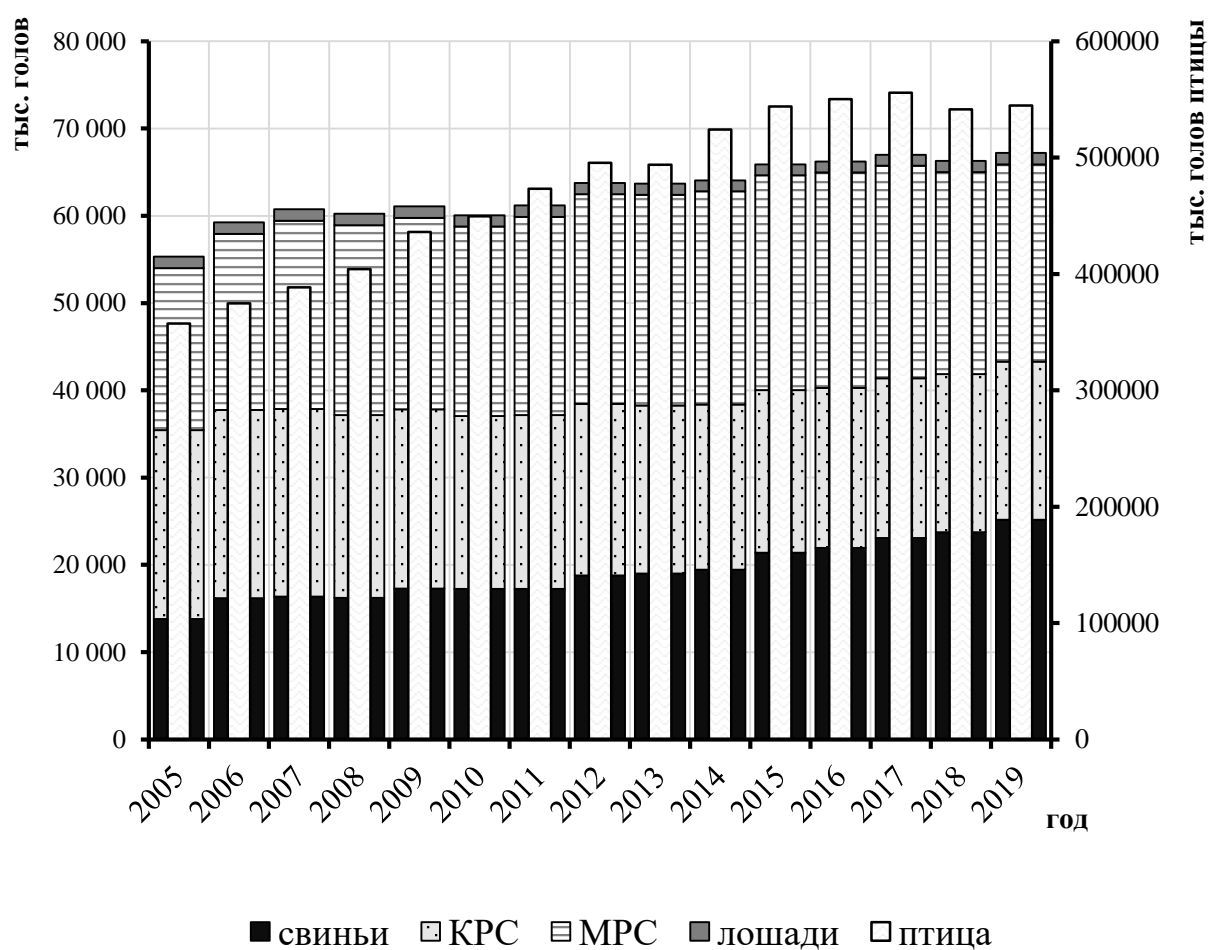


Рисунок А.3 – Динамика распределения поголовья сельскохозяйственных животных

Таблица А.1 – Физические (физико-реологические) свойства бесподстилочного навоза

Влажность B_n , %	Характеристики бесподстилочного навоза														
	В.П. Коваленко			А.С. Галушко, М.Г. Ярулин			В.В. Калюга			И.И. Лукьяненок			РД-АПК 1.10.15.02-17		
	η , Па·с	ρ , кг/м ³	τ_0 , Па	η , Па·с	ρ , кг/м ³	τ_0 , Па	η , Па·с	ρ , кг/м ³	τ_0 , Па	η , Па·с	ρ , кг/м ³	τ_0 , Па	η , Па·с	ρ , кг/м ³	τ_0 , Па
	Полужидкий навоз														
86	0,90	1054,4	66,0	-	-	-	6,30	1200	16,9	-	-	-	0,700	1054,4	50,00
87	0,80	1050,4	50,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,520	1050,4	30,00
88	0,60	1046,4	38,0	-	-	-	2,40	1200	3,6	-	-	-	0,400	1046,4	20,00
89	0,40	1042,4	32,0	0,40	1200	25,0	1,80	1100	1,2	-	-	-	0,320	1042,4	15,00
90	0,30	1038,4	30,0	-	-	-	-	-	-	0,380	-	-	0,280	1038,4	9,00
91	0,24	1034,4	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,220	1034,4	5,00
92	0,20	1010,3	1,8	-	-	-	-	-	-	0,230	1019	1,7	0,200	1010,3	1,80
Жидкий навоз															
93	0,18	1026,3	1,6	0,15	1030	1,5	-	-	-	-	-	-	0,150	1026,3	1,60
94	0,10	1022,3	0,9	-	-	-	0,14	1030	0,4	0,100	1014	0,2	0,100	1022,3	0,90
95	0,02	1018,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,020	1018,5	-
96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	1010	-	0,016	1014,3	-
97	-	-	-	0,02	1008	-	-	-	-	-	-	-	0,011	1010,1	-
Навозные стоки															
98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	1005	-	0,006	1005,0	-
99				0,02	1002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица А.2 – Химические свойства бесподстилочного навоза

№ п/п	Тип животных	Бесподстилочный навоз							
		$N_{общ}$, кг/м ³	NH_4 , кг/м ³	P_2O_5 , кг/м ³	K_2O , кг/м ³	ХПК от массы ОВ	БПК ₅ от величины ХПК	БПК от величины ХПК	Отношение БПК ₅ к БПК
1	Коровы	5	3	3	8	1,4	0,12	0,3...0,4	0,36
		4	2	2	6				
		3	2	1	4				
2	КРС на откорме	5	3	3	5				
		4	2	2	3				
		3	2	2	2				
3	Свиньи	8	6	6	4	1,2	0,42	0,84	0,50
		6	4	5	3				
		4	3	3	2				
4	Птица	10	7	9	5	1,7	0,22	0,43	0,50

Таблица А.3 – Концентрации биогенных элементов сухого вещества органических отходов в зависимости от типа животных

№ п/п	Тип животных	Содержание в массе сухого вещества, %		
		общий азот (N)	фосфор (P_2O_5)	калий (K_2O)
1	Экскременты свиней:			
	– общее содержание	6,0	3,2	2,5
	– в жидкой фракции	3,3	0,32	1,25
	– в твёрдой фракции	2,7	2,88	1,25
2	Экскременты КРС			
	– общее содержание	3,2	1,8	5,0
	– в жидкой фракции	1,28	0,04	4,25
	– в твёрдой фракции	1,92	1,76	0,75
3	Птичий бесподстилочный помёт	6,2	3,5	2,1
4	Птичий подстилочный помёт	3,6	3,4	2,0

Таблица А.4 – Содержание биогенных веществ в массе сырого вещества в зависимости от типа животных

№	Тип животных	Средняя влажность, %	Содержание в массе сырого вещества, %				
			Азот			Фосфор (P_2O_5)	Калий (K_2O)
			общий	аммонийный	нитратный		
1	Бесподстилочный навоз						
	куриный	71...73	1,7... 1,9	0,05	—	1,8... 2,0	0,5...0,6
	индюшинный	64...66	0,8... 0,9	0,08	—	0,6... 0,7	0,5...0,6
	гусиный	80...82	0,6... 0,8	0,10	—	0,5... 0,6	0,8... 0,10
	утиный	80...82	0,9... 1,0	0,10	—	1,1... 1,5	0,3... 0,4
2	Подстилочный помёт						
	торфяной	48	2,05	0,61	0,100	1,90	0,80
	опилочный	23	2,05	0,30	0,004	1,78	0,80

продолжение таблицы А.4

№	Тип животных	Средняя влажность, %	Содержание в массе сырого вещества, %				
			Азот			Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
			общий	аммонийный	нитратный		
	торфяной 20% в сочетании с опилками	31	1,81	0,64	0,020	2,32	0,93
	торфяной 20% в сочетании с соломой	35	2,43	0,55	0,100	1,79	0,70

Таблица А.5 – Биологические свойства бесподстилочного навоза

№	Наименование параметра, шт	Исходное содержание	Предельно допустимые параметры согласно ГОСТ 33830-2016, МУ 2.1.5.800-99
1	КОЕ бактерий группы кишечных палочек	$\approx 10^8$ - 10^9	≤ 100
2	КОЕ бактерий группы стафилококков	$\approx 10^7$	≤ 100
3	КОЕ бактерий группы энтерококков	$\approx 10^7$	≤ 100
4	КОЕ бактерий группы аэробных спорообразующих микроорганизмов	$\approx 10^7$	≤ 100
5	КОЕ яиц: аскариды, трихоцефала, эзофагостом, фасциол, личинок стронгилят, крысиного цепня, клещей	$\approx 10^7$	Отсутствие
6	КОЕ цист простейших и ооцист эймерий	$\approx 10^3$	Отсутствие

Таблица А.6 – Нормы выхода свиного навоза в зависимости от половозрастных групп

Половозрастные группы свиней	Показатели	Состав экскрементов		
		всего	в том числе	
			кал	моча
1	2	3	4	5
Хряки	Масса, кг	11,1	3,86	7,24
	Влажность, %	89,4	75,0	97,0
Свиноматки:				
- холостые	Масса, кг	8,8	2,46	6,34
	Влажность, %	90,0	73,1	97,5
- супоросные	Масса, кг	10,0	2,6	7,4
	Влажность, %	91,0	73,1	98,3
- подсосные	Масса, кг	15,3	4,3	11,0
	Влажность, %	90,1	73,1	96,8
Поросята (возраст, дни):				
26-42	Масса, кг	0,4	0,1	0,3
	Влажность, %	90,0	70,0	96,7
43-60	Масса, кг	0,7	0,3	0,4
	Влажность, %	86,0	71,0	96,0
61-106	Масса, кг	1,8	0,7	1,1
	Влажность, %	86,1	71,4	96,3

продолжение таблицы А.6

Половозрастные группы свиней	Показатели	Состав экскрементов		
		всего	в том числе	
			кал	моча
Свиньи на откорме:				
до 70	Масса, кг	5,0	2,05	2,95
	Влажность, %	87,0	73,0	96,7
более 70	Масса, кг	6,5	2,7	3,8
	Влажность, %	87,5	74,7	96,9
Примечания				
1. Общую зольность экскрементов следует принимать 15%, плотность сухого вещества - 1400 кг/м.				
2. Содержание мочи, полученной на фермах и комплексах с проектным поголовьем, следует принимать 65% от общей массы экскрементов, содержание сухого вещества в моче - 17% от общей массы сухого вещества в экскрементах.				
3. При многокомпонентном кормлении влажными мешанками количество экскрементов следует принимать на 30% больше приведенных в таблице.				
4. Массу экскрементов на свиноводческих фермах и комплексах с законченным циклом производства в среднем на 1 голову (исключая поросят-сосунов) допускается принимать 4,5 кг, влажность - 88%.				
5. Количество и влажность подстилочного навоза свиней определяется расчётным путём, исходя из условий содержания свиней, а также вида, влажности и количества добавляемой подстилки на одну голову в сутки.				

Таблица А.7 – Нормы выхода навоза КРС в зависимости от половозрастных групп

Половозрастные группы крупного рогатого скота	Показатели	Состав экскрементов		
		всего	в том числе	
			кал	моча
Быки-производители	Масса, кг	40,0	30,0	10,0
	Влажность, %	86,0	83,0	95,0
Коровы лактирующие стельные (сухостойные) и нетели за два месяца до отёла	Масса, кг	55,0	35,0	20,0
	Влажность, %	88,4	85,2	94,1
Телята:				
до 3 мес.	Масса, кг	4,5	1,0	3,5
	Влажность, %	91,8	80,0	95,1
до 6 мес. на откорме до 4 мес.	Масса, кг	7,5	5,0	2,5
	Влажность, %	87,4	83,0	96,2
на откорме с 4 до 6 мес.	Масса, кг	14,0	10,0	4,0
	Влажность, %	87,2	83,5	96,5
Молодняк: телки и нетели				
6-12 мес.	Масса, кг	14,0	10,0	4,0
	Влажность, %	87,2	83,5	96,5
12-18 мес.	Масса, кг	27,0	20,0	7,0
	Влажность, %	86,7	83,5	96,0
На откорме:				
6-12 мес.	Масса, кг	26,0	14,0	12,0

продолжение таблицы А.7

Половозрастные группы крупного рогатого скота	Показатели	Состав экскрементов		
		всего	в том числе	
			кал	моча
	Влажность, %	86,2	79,5	94,1
старше 12 мес.	Масса, кг	35,0	23,0	12,0
	Влажность, %	84,9	80,1	94,2
Примечания				
1. Плотность сухого вещества экскрементов следует принимать 1250 кг/м ³ , зольность сухого вещества - 16%.				
2. Количество и влажность подстилочного навоза крупного рогатого скота определяется расчетным путем из условий содержания животных, а также вида, влажности и количества добавляемой подстилки на одну голову в сутки.				
3. Зоогигиенические нормы потребности подстилки на одну голову в сутки для различных половозрастных групп крупного рогатого скота приведены в соответствующих нормативных документах.				

Таблица А.8 – Нормы выхода птичьего помёта в зависимости от половозрастных групп

Виды и возрастная группа птиц	Выход помета, г/гол/сут	Расчетная влажность помета, %	Объемная масса помета, т/м
1	2	3	4
ВЗРОСЛАЯ ПТИЦА			
Куры:			
- яичные родительского и прародительского стада	189	71-73	0,6-0,7
- яичные промышленного стада	175	71-73	0,6-0,7
- мясные родительского стада	276-300	71-73	0,6-0,7
Индейки	450	64-66	0,6-0,7
Утки	423	80-82	0,7-0,8
Гуси	594	80-82	0,7-0,8
МОЛОДНЯК РЕМОНТНЫЙ			
Куры яичных пород в возрасте, недели:			
1-4	24	66-74	0,6-0,7
5-9	97	66-74	0,6-0,7
10-17	176	66-74	0,6-0,7
Куры мясных пород в возрасте, недели:			
1-8	140	66-74	0,6-0,7
9-18 (19)	184	66-74	0,6-0,7
19 (20)-26	288	66-74	0,6-0,7
Индейки в возрасте, недели:			
1-17	378	70-72	0,6-0,7
18-33 (34)	480	70-72	0,6-0,7
Гуси в возрасте, недели:			

продолжение таблицы А.8

Виды и возрастная группа птиц	Выход помета, г/гол/сут	Расчетная влажность помета, %	Объемная масса помета, т/м
1	2	3	4
1-3	330	76-78	0,7-0,8
4-9	480	76-78	0,7-0,8
10-30 (27)	495	76-78	0,7-0,8
31 (28)-34	495	76-78	0,7-0,8
Утки в возрасте, недели:			
1-7 (8)	230	76-78	0,7-0,8
8 (9)-21	210	76-78	0,7-0,8
22-26 (28)	234	76-78	0,7-0,8
8-21 (тяжелый кросс)	234	76-78	0,7-0,8
22-28 (тяжелый кросс)	253	76-78	0,7-0,8
МОЛОДНЯК НА МЯСО			
Цыплята-бройлеры в возрасте, недели:			
1-8 (в клетках)	135	66-74	0,6-0,7
1-9 (на полу)	158	66-74	0,6-0,7
Индейки в возрасте, недели:			
1-8	175	70-72	0,6-0,7
9-16	364	70-72	0,6-0,7
9-23	420	70-72	0,6-0,7
Гуси в возрасте, недели:			
1-3	352	76-78	0,7-0,8
4-9	480	76-78	0,7-0,8
Утки в возрасте, недели:			
1-8	230	76-78	0,7-0,8
Примечания 1. Усушка помета взрослых кур, индеек и молодняка старше 60 дней при клеточном содержании составляет, %: через 12 ч - 13; через 24 ч - 27. 2. Усушка помета молодняка кур и индеек в возрасте 1-60 дней составляет, %: через 12 ч - 16; через 24 ч - 33. 3. Усушка помета кур и индеек (взрослых и молодняка при напольном содержании) составляет 50%; уток - 35%. 4. Объемная масса помета (при расчете помётохранилища) составляет 0,7-0,8 т/м, зольность - 17,3%, влажность - 55-60%. 5. При содержании кур на подстилке в птичниках с пометными коробами следует считать: в коробах - 60% помета; на подстилке - 40%. 6. Количество и влажность подстилочного помета определяется расчетным путем из условий содержания птицы, а также вида, влажности и количества добавляемой подстилки на одну голову в сутки.			

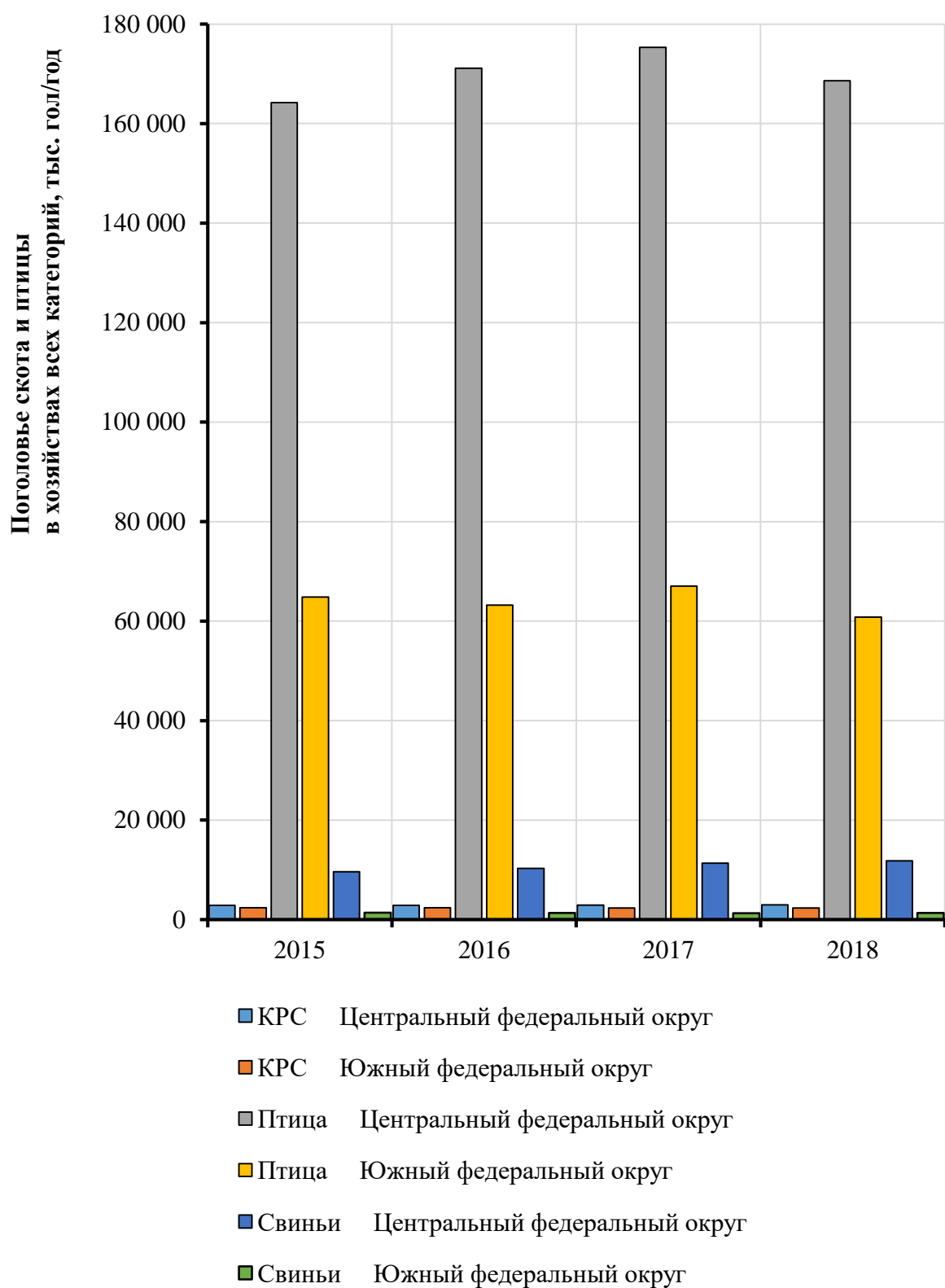


Рисунок А.4 – Динамика роста поголовья КРС, птицы и свиней в 2015-2018 годах в Центральном и Южном федеральных округах РФ

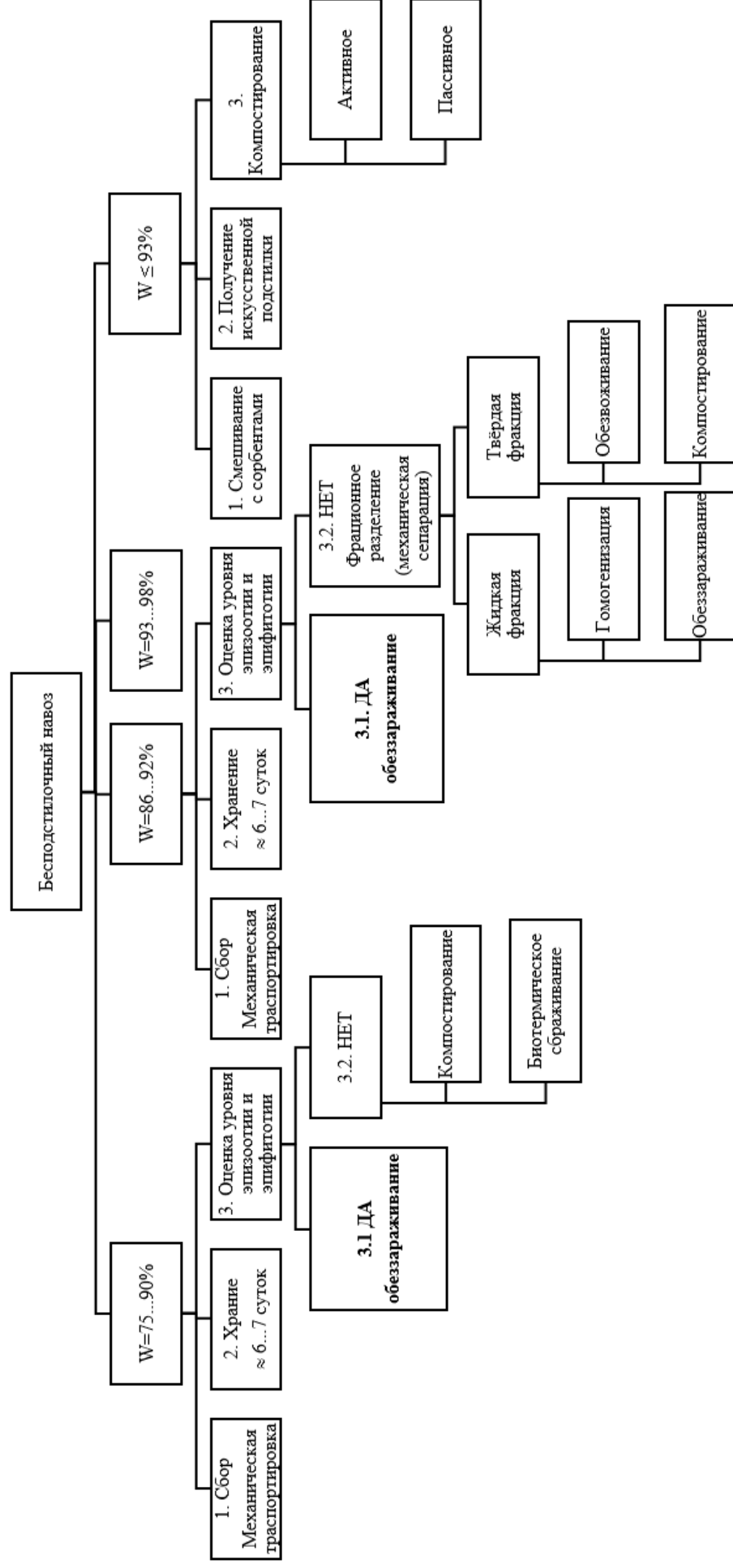


Рисунок А.5 – Блок-схема классификации выбора технологических операций утилизационного цикла в зависимости от влажности исходного материала

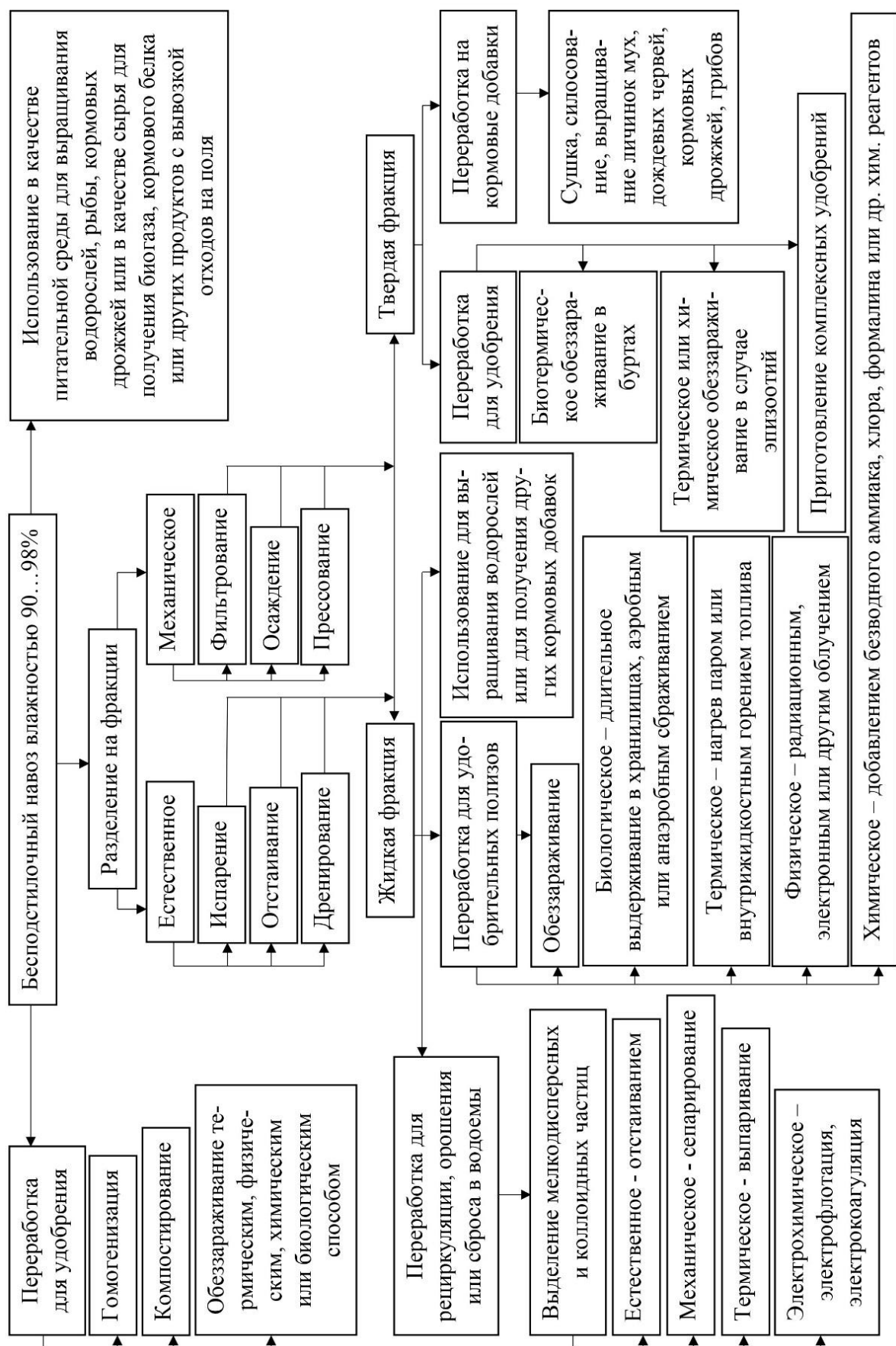


Рисунок А.6 – Блок-схема направлений и способов утилизации бесподстильного навоза

Параметры характеризующие санитарно-эпидемиологическую эффективность обеззараживания бесподстилочного навоза	Физические	Радиологические	Удельная суммарная альфа-активность Удельная суммарная бета-активность Количество радионуклидов
		Органолептические	Запах Привкус
		Реологические	Начальное напряжение сдвига Плотность Динамическая вязкость
	Химические	pH	Относительная влажность Содержание минеральных веществ Содержание азота общее
		Общая минерализация	ХПК
			БРК
		Общая жёсткость	Содержание оксида фосфора
			Цветность
			Мутность
	Биологические	Бактериологические	Содержание оксида калия
			Число КОЕ ОКБ, БОЕ, ТТКБ
		Паразитологические	Общая концентрация микробов
Количество спор сульфит-редуцирующих клостридий Количество цист лямблий			

Рисунок А.7 – Блок-схема классификации параметров, характеризующих экологическую безопасность бесподстилочного навоза

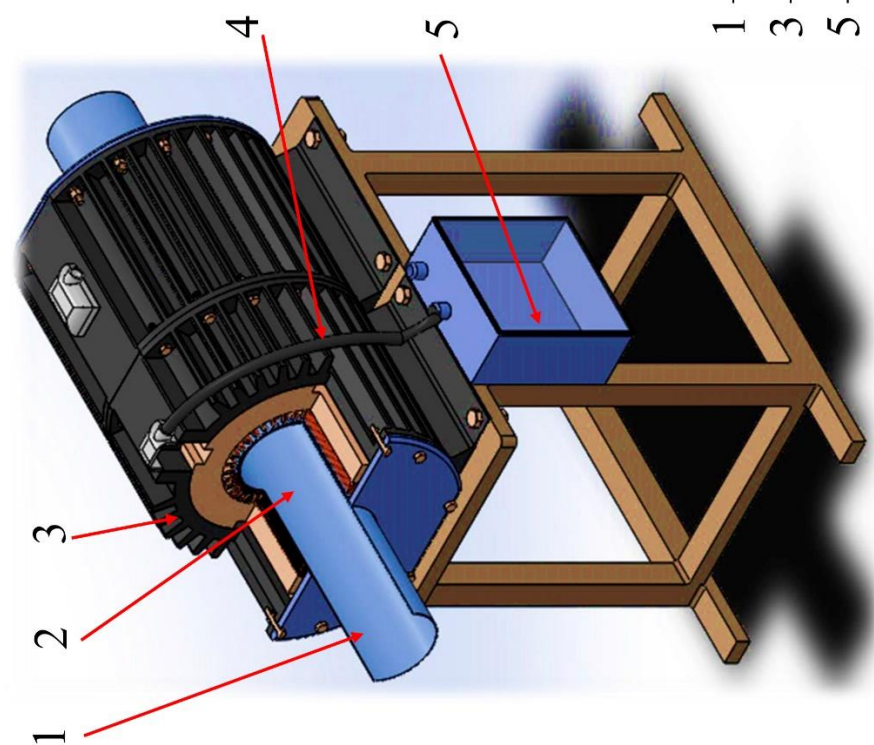
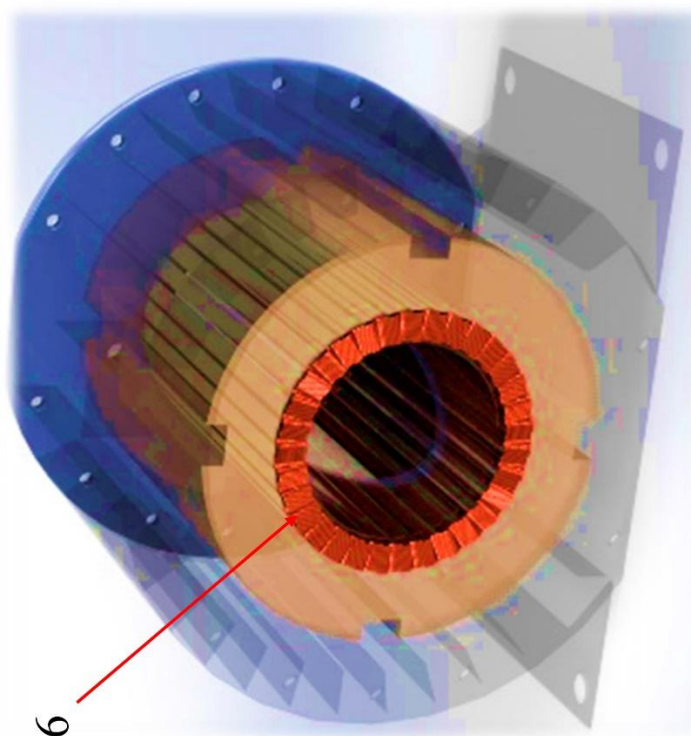


Рисунок А.8 – Общий вид электромагнитного активатора



- 1 – Защитная втулка; 2 – Технологическая зона;
 3 – Корпус активатора; 4 – Система подачи реагента;
 5 – Шкаф управления; 6 – Электромагнитный индуктор



Рисунок А.9 – Картина распределения подвижных органов исполнения 1 в зависимости от в рабочей зоне электромагнитного активатора



Рисунок А.10 – Картина распределения подвижных органов исполнения 1 в зависимости от исполнения в рабочей зоне электромагнитного активатора

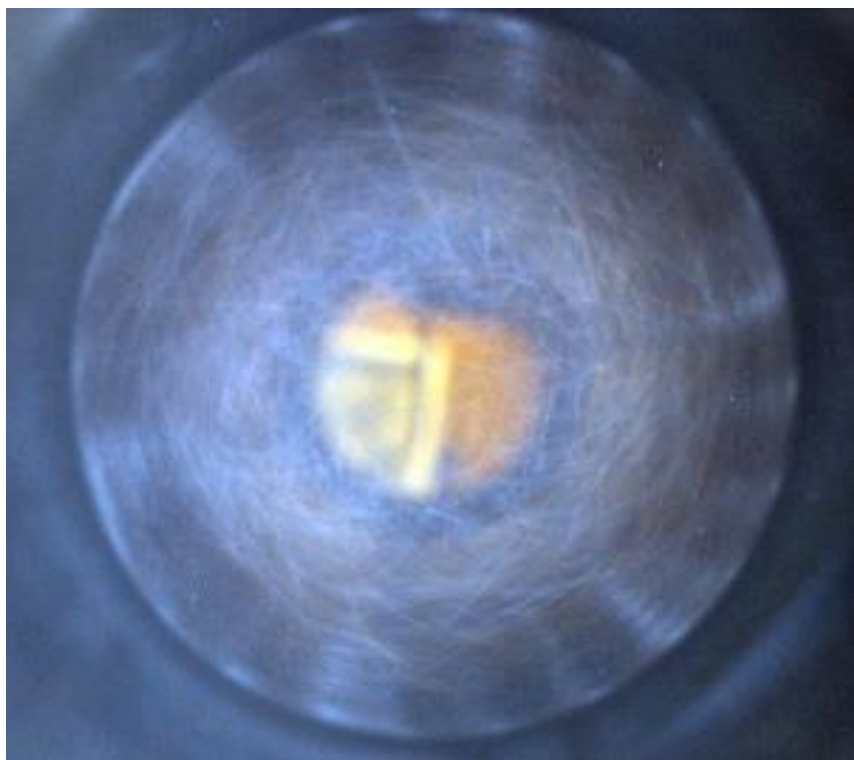


Рисунок А.11 – Картина распределения подвижных органов исполнения 2 в зависимости от исполнения в рабочей зоне электромагнитного активатора



Рисунок А.12 – Картина распределения подвижных органов исполнения 2 в зависимости от исполнения в рабочей зоне электромагнитного активатора

Таблица А.9 – Пример электромагнитных характеристик индуктора активатора без рабочих тел

№	Параметр активатора	При уровне магнитной индукции								
		$B = 40,94 \text{ мТл}$			$B = 61,08 \text{ мТл}$			$B = 80,01 \text{ мТл}$		
		Фазы			Фазы			Фазы		
		А	В	С	А	В	С	А	В	С
1	Сила тока I , А	61,0	60,9	60,8	82,6	82,2	82,1	101,4	101,3	100,9
2	Напряжение U , В	48,0	48,7	46,4	73,5	73,3	71,1	98,4	98,3	98,1
3	Циклическая частота колебаний тока в сети f , Гц	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
4	Активная мощность P , кВт	0,68	0,68	0,60	1,61	1,58	1,43	2,61	2,71	2,59
5	Реактивная мощность Q , кВАр	2,86	2,84	2,74	5,86	5,80	5,70	8,61	8,63	8,12
6	Полная мощность S , кВА	2,96	2,93	2,81	6,02	6,03	5,88	11,22	11,34	10,71
7	Сдвиг фаз между током и напряжением $\cos \varphi$	0,232	0,233	0,213	0,27	0,26	0,25	0,29	0,28	0,29

Приложение А – Методика обработки измеренных значений уровня магнитной индукции в зависимости от их типа

Модуль магнитной индукции переменного магнитного поля характеризуется следующими значениями: мгновенным, пиковым (амплитудным), средним, среднеквадратическим, средневыпрямленным.

Мгновенное значение магнитной индукции B_i – значение сигнала в момент времени t_i

$$B_i = B(t_i). \quad (\text{А.1})$$

Пиковое (амплитудное) значение магнитной индукции \hat{B} – наибольшее по модулю мгновенное значение за период

$$\hat{B} = B(t). \quad (\text{А.2})$$

Среднее значение магнитной индукции \bar{B} – постоянная составляющая

$$\bar{B} = \frac{1}{T} \int_0^T B(t) \cdot dt. \quad (\text{А.3})$$

Среднеквадратическое значение магнитной индукции (устар. действующее, эффективное) \tilde{B} – корень квадратный из среднего значения квадрата сигнала

$$\tilde{B} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T B(t) \cdot dt}. \quad (\text{А.4})$$

Средневыпрямленное значение B_m – среднее значение модуля сигнала

Таблица А.10 – Статистические характеристики патогенных маркеров бесподстилочного навоза свиноводческого хозяйства после воздействия в активаторе

№ ин-т-ла	Число КОЕ ОКБ				Число КОЕ БОЕ				Число КОЕ ТТКБ				Число КОЕ ФКСТК			
	Интер вал	p_{cui}^{cu}	Частота		Интер вал	p_{cui}^{cu}	Частота		Интер вал	p_{cui}^{cu}	Частота		Интер вал	p_{cui}^{cu}	Частота	
			m_i	m'_i			m_i	m'_i			m_i	m'_i			m_i	m'_i
1	68...69	68,571	6	4	60...61	60,5	4	3	77...78	77,571	6	4	2...3	2,500	9	3
2	69...70	69,714	15	11	62...63	61,5	17	8	78...79	78,714	13	11	3...4	3,500	12	8
3	70...71	70,857	17	20	63...64	62,5	20	17	79...80	79,857	19	20	4...5	4,500	16	15
4	71...72	72,000	22	25	65...66	63,5	24	24	81...82	81,000	22	25	5...6	5,500	22	21
5	72...73	73,143	18	21	66...67	64,5	18	23	83...84	82,143	21	20	6...7	6,500	19	21
6	73...74	74,286	14	12	67...68	65,5	12	15	84...85	83,286	11	12	7...8	7,500	12	16
7	75...76	75,429	8	5	68...69	66,5	5	7	85...86	84,429	8	5	8...9	8,500	10	9
	Сумма		100	97,1	Сумма		100	96,72	Сумма		100	97,18	Сумма		100	93,611

$$B_m = \frac{1}{T} \int_0^T \left| \hat{B}(t) \right| \cdot dt. \quad (A.5)$$

Таблица А.11 – Соответствие статистических характеристик патогенных маркеров бесподстилочного навоза свиноводческого хозяйства после воздействия в активаторе критерию согласия Пирсона

№ инт-ла	Частость случайной величины				Проверка соответствию критерию согласия Пирсона			
	Число КОЕ ОКБ	Число КОЕ БОЕ	Число КОЕ ТТКБ	Число КОЕ ФКСТК	Число КОЕ ОКБ	Число КОЕ БОЕ	Число КОЕ ТТКБ	Число КОЕ ФКСТК
1	0,857	0,571	0,857	1,286	0,58	0,36	0,46	3,39
2	2,143	2,429	1,857	1,714	1,08	4,37	0,21	1,03
3	2,429	2,857	2,714	2,286	0,48	0,41	0,08	0,02
4	3,143	3,429	3,143	3,143	0,30	0,00	0,31	0,06
5	2,571	2,571	3,000	2,714	0,44	1,32	0,01	0,20
6	2,000	1,714	1,571	1,714	0,27	0,72	0,04	1,14
7	1,143	0,714	1,143	1,429	1,31	0,56	1,51	0,16
$\chi_{\text{расчётное}}$					4,46	7,73	2,61	5,99
$\chi_{\text{критическое}}$					15,51			

Таблица А.12 – Расчётные и критические значения критерия согласия Пирсона патогенных маркеров свиного бесподстилочного навоза

Расчётные значения критерия Пирсона патогенных маркеров χ_p^2		Критические значения критерия Пирсона патогенных маркеров χ_k^2
Число КОЕ ОКБ $\chi_{\text{р КОЕ ОКБ}}^2$	4,47	< 15,51
Число КОЕ БОЕ $\chi_{\text{р КОЕ БОЕ}}^2$	7,73	
Число КОЕ ТТКФ $\chi_{\text{р КОЕ ТТКФ}}^2$	2,61	
Число КОЕ ФКСТК $\chi_{\text{р КОЕ ФКСТК}}^2$	5,99	

Таблица А.13 – Матрица планирования 3-х факторного эксперимента Бокса-Бенкена в кодированной форме

№	x_1	x_2	x_3	y_1	№	x_1	x_2	x_3	y_1	№	x_1	x_2	x_3	y_1
1	-1	-1	0	-/-	6	1	0	-1	-/-	11	0	-1	1	-/-
2	1	-1	0	-/-	7	-1	0	1	-/-	12	0	1	1	-/-
3	-1	1	0	-/-	8	1	0	1	-/-	13	0	0	-1	-/-
4	1	1	0	-/-	9	0	-1	-1	-/-	14	0	0	1	-/-
5	-1	0	-1	-/-	10	0	1	-1	-/-	15	0	0	0	-/-

Таблица А.14 – Матрица планирования Хартли 5 в кодированной форме

Часть плана	N	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2	y_3	y_4
Ядро плана	1	0	-1	-1	-1	1	-//-	-//-	-//-	-//-
	2	1	-1	-1	-1	-1	-//-	-//-	-//-	-//-
	3	-1	1	-1	-1	-1	-//-	-//-	-//-	-//-
	4	1	1	-1	-1	1	-//-	-//-	-//-	-//-
	5	-1	-1	1	-1	-1	-//-	-//-	-//-	-//-
	6	1	-1	1	-1	1	-//-	-//-	-//-	-//-
	7	-1	1	1	-1	1	-//-	-//-	-//-	-//-
	8	1	1	1	-1	-1	-//-	-//-	-//-	-//-
	9	-1	-1	-1	1	-1	-//-	-//-	-//-	-//-
	10	1	-1	-1	1	1	-//-	-//-	-//-	-//-
	11	-1	1	-1	1	1	-//-	-//-	-//-	-//-
	12	1	1	-1	1	-1	-//-	-//-	-//-	-//-
	13	-1	-1	1	1	1	-//-	-//-	-//-	-//-
	14	1	-1	1	1	-1	-//-	-//-	-//-	-//-
	15	-1	1	1	1	-1	-//-	-//-	-//-	-//-
	16	1	1	1	1	1	-//-	-//-	-//-	-//-
"Звездные" точки	17	- 1,771	0	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	18	1,771	0	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	19	0	-1,771	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	20	0	1,771	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	21	0	0	-1,771	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	22	0	0	1,771	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	23	0	0	0	-1,771	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	24	0	0	0	1,771	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	25	0	0	0	0	-1,771	-//-	-//-	-//-	-//-
	26	0	0	0	0	1,771	-//-	-//-	-//-	-//-
Центр плана	27	0	0	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	28	0	0	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	29	0	0	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	30	0	0	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-
	31	0	0	0	0	0	-//-	-//-	-//-	-//-

Приложение Б – Результаты экспериментальных исследований
и расчётов статистических характеристик

Таблица Б.1 – Матрица плана 3-х факторного эксперимента Бокса-Бенкена
в натуральных переменных

№ опыта	$m_{ш}$, гр	B , мТл	t , с	Удельная энергоёмкость $N_{уд}$, кВт*ч/м ³
1	400	40	4	3,88
2	400	40	12	6,13
3	400	80	4	6,48
4	400	80	12	8,53
5	1 400	40	4	3,63
6	1 400	40	12	5,68
7	1 400	80	4	6,03
8	1 400	80	12	8,08
9	472	60	8	5,20
10	1 528	60	8	4,44
11	600	34	8	4,86
12	600	86	8	8,90
13	600	60	3	5,42
14	600	60	13	8,87
15	600	60	8	6,55
16	600	60	8	6,55

Таблица Б.2 – Матрица планирования в натуральных переменных стержневой

Часть плана	N	ω	$m_{ст}$	B	W	t	$Y_{КОЕВОЕ}^{ст}$	$Y_{КОЕОКВ}^{ст}$	$Y_{КОЕТТКВ}^{ст}$	$Y_{уд.э}^{ст.}$
Ядро плана	1	10	600	40	88	12	70	75	81	4,70
	2	16	600	40	88	6	57	62	68	4,20
	3	10	1400	40	88	6	57	62	65	9,20
	4	16	1400	40	88	12	141	146	150	9,70
	5	10	600	80	88	6	55	60	66	11,20
	6	16	600	80	88	12	140	145	151	11,70
	7	10	1400	80	88	12	140	145	148	16,70
	8	16	1400	80	88	6	121	121	121	16,20
	9	10	600	40	98	6	0	5	11	4,70
	10	16	600	40	98	12	85	90	96	5,20
	11	10	1400	40	98	12	85	90	93	10,20

продолжение таблицы Б.2

Часть плана	N	ω	$m_{ст}$	B	W	t	$Y_{КОЕВОЕ}^{ст}$	$Y_{КОЕОВ}^{ст}$	$Y_{КОЕТТКВ}^{ст}$	$Y_{удз}^{ст.}$
	12	16	1400	40	98	6	71	76	80	9,70
	13	10	600	80	98	12	83	88	94	12,20
	14	16	600	80	98	6	70	75	81	11,70
	15	10	1400	80	98	6	70	75	78	16,70
	16	16	1400	80	98	12	31	31	31	17,20
	17	8	1000	60	93	9	61	66	69	6,70
"Звездные" точки	18	18	1000	60	93	9	115	120	124	6,70
	19	13	292	60	93	9	64	69	76	5,70
	20	13	1708	60	93	9	118	123	127	10,70
	21	13	1000	25	93	9	60	65	69	4,70
	22	13	1000	95	93	9	58	58	58	11,70
	23	13	1000	60	84	9	104	109	113	6,20

продолжение таблицы Б.2

Часть плана	N	ω	$m_{ст}$	B	W	t	$Y_{КОЕВОЕ}^{ст}$	$Y_{КОЕОКБ}^{ст}$	$Y_{КОЕТТКБ}^{ст}$	$Y_{удз}^{ст.}$
	24	13	1000	60	102	9	72	77	81	6,70
	25	13	1000	60	93	4	52	57	61	7,70
	26	13	1000	60	93	14	77	77	77	8,20
Центр плана	27	13	1000	60	93	9	89	94	98	6,70
	28	13	1000	60	93	9	92	92	92	7,64
	29	13	1000	60	93	9	88	88	88	7,24
	30	13	1000	60	93	9	102	102	102	6,15
	31	13	1000	60	93	9	88	88	88	6,35

Таблица Б.3 – Результаты проверки адекватности уравнения регрессии описывающего влияние варьируемых факторов на число КОЕ БОЕ при обеззараживании стержневым вихревым слоем по критерию Фишера

Отклик y	Расчетный отклик y_i	$(y-y_i)^2$	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
70	62,97	55,22264	144,779	4,113	5,8911
57	58,07	2,16082			
57	58,26	2,13995			
141	140,07	0,86964			
55	48,29	50,50757			
140	130,10	90,29315			
140	130,29	90,42843			
121	120,39	0,36993			
0	3,52	9,71903			
85	85,32	0,52148			
85	85,52	0,51125			
71	80,62	92,47102			
83	75,55	61,69644			
70	70,65	1,09508			
70	70,84	1,08024			
31	29,64	1,83890			
61	72,20	128,87815			
115	111,96	11,18018			
64	74,97	128,51345			
118	115,07	11,07294			
60	51,58	64,35432			
58	74,03	256,98939			
104	119,54	227,23136			
72	64,92	49,92017			
52	43,12	76,64561			
77	93,76	281,01567			
89	88,81	0,03475			
92	88,81	10,15331			
88	88,81	0,66190			
102	88,81	173,88183			
88	88,81	0,66190			

Таблица Б.4 – Результаты проверки адекватности уравнения регрессии описывающего влияние варьируемых факторов на число КОЕ ОКБ при обеззараживании стержневым вихревым слоем по критерию Фишера

Отклик y	Расчетный отклик y_i	$(y-y_i)^2$	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
75	67,67	59,78251	160,260	4,827	5,8911
62	63,92	5,36531			
62	64,11	5,33239			
146	145,47	0,28018			
60	53,34	49,78171			
145	134,71	97,89384			
145	134,90	98,03470			
121	121,15	0,02160			
5	9,01	13,04584			
90	90,37	0,59813			
90	90,57	0,58717			
76	86,81	116,95336			
88	79,80	73,93494			
75	76,05	2,10159			
75	76,24	2,08101			
31	29,60	1,94867			
66	77,41	133,81306			
120	115,58	22,26465			
69	80,18	133,44144			
123	118,69	22,11321			
65	55,00	92,21491			
58	74,45	270,67082			
109	123,96	210,08811			
77	69,34	58,44908			
57	45,74	123,88980			
77	94,98	323,27307			
94	90,25	14,09277			
92	90,25	3,07663			
88	90,25	5,04436			
102	90,25	138,15731			
88	90,25	5,04436			

Таблица Б.5 – Результаты проверки адекватности уравнения регрессии описывающего влияние варьируемых факторов на число КОЕ ТТКБ при обеззараживании стержневым вихревым слоем по критерию Фишера

Отклик y	Расчетный отклик y_i	$(y-y_i)^2$	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
81	72,93	65,06561	166,031	4,279	5,8733
68	70,87	8,24314			
65	67,98	8,86744			
150	149,76	0,05936			
66	58,89	50,53002			
151	140,67	106,70719			
148	137,78	104,51342			
121	121,71	0,51013			
11	14,91	15,31596			
96	96,69	0,47899			
93	93,80	0,63813			
80	91,74	137,73934			
94	84,71	86,25662			
81	82,65	2,72240			
78	79,76	3,08602			
31	29,54	2,14553			
69	80,45	140,24472			
124	118,71	31,21850			
76	88,43	146,01359			
127	121,56	33,97099			
69	57,91	114,50430			
58	74,96	287,49960			
113	127,67	201,56561			
81	73,04	63,07911			
61	48,01	165,49427			
77	96,12	365,55921			
98	91,27	45,32666			
92	91,27	0,53657			
88	91,27	10,67651			
102	91,27	115,18672			
88	91,27	10,67651			

Таблица Б.6 – Результаты проверки адекватности уравнения регрессии описывающего влияние варьируемых факторов на уровень удельной энергоёмкости операционного воздействия при обеззараживании стержневым вихревым слоем по критерию Фишера

Отклик y	Расчетный отклик y_i	$(y-y_i)^2$	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
5	4,98	0,08113	1,565	4,084	5,7744
4	4,55	0,11980			
9	8,93	0,07112			
10	9,37	0,10756			
11	10,69	0,26195			
12	11,13	0,32843			
17	15,51	1,40635			
16	15,08	1,26476			
5	4,98	0,08113			
5	5,42	0,04998			
10	9,81	0,15151			
10	9,37	0,10756			
12	11,57	0,40243			
12	11,13	0,32843			
17	15,51	1,40635			
17	15,95	1,55545			
7	7,85	1,32130			
7	7,85	1,32130			
6	5,47	0,05514			
11	13,23	6,42001			
5	3,91	0,62178			
12	14,79	9,53260			
6	7,21	1,02222			
7	7,99	1,65871			
8	8,71	1,02222			
8	9,49	1,65871			
7	5,96	0,54948			
8	5,96	2,82666			
7	5,96	1,64165			
6	5,96	0,03658			
6	5,96	0,15309			

Таблица Б.7 – Матрица планирования в натуральных переменных шаровой вихревой слой с химическим реагентом

Часть плана	N	ω	$m_{ш}$	B	W	t	$Y_{КОЕБОЕ}^{ш}$	$Y_{КОЕОКБ}^{ш}$	$Y_{КОЕТТКБ}^{ш}$	$Y_{уд.э}^{ш}$
Ядро плана	1	10	600	40	88	12	72	71	71	3,87
	2	16	600	40	88	6	54	57	52	3,37
	3	10	1400	40	88	6	58	58	57	8,37
	4	16	1400	40	88	12	138	141	136	8,87
	5	10	600	80	88	6	57	56	55	10,37
	6	16	600	80	88	12	137	140	134	10,87
	7	10	1400	80	88	12	141	141	139	15,87
	8	16	1400	80	88	6	121	121	121	15,37
	9	10	600	40	98	6	2	1	1	3,87
	10	16	600	40	98	12	82	85	80	4,37
	11	10	1400	40	98	12	86	86	85	9,37

продолжение таблицы Б.7

Часть плана	N	ω	$m_{ш}$	B	W	t	$Y_{КОЕБОЕ}^{III}$	$Y_{КОЕОКБ}^{III}$	$Y_{КОЕТТКБ}^{III}$	$Y_{уд.э}^{III}$
	12	16	1400	40	98	6	68	71	66	8,87
	13	10	600	80	98	12	85	84	83	11,37
	14	16	600	80	98	6	67	70	64	10,87
	15	10	1400	80	98	6	71	71	69	15,87
	16	16	1400	80	98	12	31	31	31	16,37
	17	8	1000	60	93	9	64	62	62	5,87
"Звездные" точки	18	18	1000	60	93	9	112	115	109	5,87
	19	13	292	60	93	9	62	64	59	4,87
	20	13	1708	60	93	9	116	118	113	9,87
	21	13	1000	25	93	9	58	60	56	3,87
	22	13	1000	95	93	9	58	58	58	10,87
	23	13	1000	60	84	9	102	104	99	5,37

продолжение таблицы Б.7

Часть плана	N	ω	$m_{ш}$	B	W	t	$Y_{КОЕБОЕ}^{ш}$	$Y_{КОЕОКБ}^{ш}$	$Y_{КОЕТТКБ}^{ш}$	$Y_{уд.э}^{ш}$
Центр плана	24	13	1000	60	102	9	70	72	67	5,87
	25	13	1000	60	93	4	50	52	47	6,87
	26	13	1000	60	93	14	77	77	77	7,37
	27	13	1000	60	93	9	87	89	84	5,87
	28	13	1000	60	93	9	92	95	92	4,98
	29	13	1000	60	93	9	88	83	86	5,64
	30	13	1000	60	93	9	102	85	81	5,20
	31	13	1000	60	93	9	88	83	79	6,40

Таблица Б.8 – Результаты проверки адекватности уравнения регрессии описывающего влияние варьируемых факторов на число КОЕ БОЕ при обеззараживании шаровым вихревым слоем по критерию Фишера

Отклик y	Расчетный отклик y_i	$(y-y_i)^2$	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
72	64,17	55,25654	144,266	3,718	5,8911
54	55,10	1,21404			
58	58,96	0,92067			
138	137,23	1,35880			
57	49,31	53,17580			
137	127,58	88,68683			
141	131,44	91,38756			
121	119,98	1,04935			
2	4,40	7,82445			
82	82,67	0,45162			
86	86,53	0,28059			
68	77,47	82,17455			
85	76,88	59,62897			
67	67,81	0,66150			
71	71,67	0,45026			
31	29,55	2,11465			
64	75,57	138,72643			
112	109,67	7,29992			
62	73,09	131,25680			
116	114,01	5,66609			
58	50,42	51,60030			
58	74,26	264,37838			
102	118,08	243,60963			
70	63,45	42,66202			
50	42,37	56,28785			
77	93,58	274,86007			
87	88,02	1,03118			
92	88,02	15,87648			
88	88,02	0,00024			
102	88,02	195,56710			
88	88,02	0,00024			

Таблица Б.9 – Результаты проверки адекватности уравнения регрессии описывающего влияние варьируемых факторов на число КОЕ ОКБ при обеззараживании шаровым вихревым слоем по критерию Фишера

Отклик y	Расчетный отклик y_i	$(y-y_i)^2$	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
71	64,37	49,41363	133,497	5,134	5,8911
57	58,51	3,63765			
58	59,66	3,47662			
141	140,50	0,24528			
56	49,69	44,95913			
140	130,54	82,17388			
141	131,69	82,94976			
121	120,83	0,02922			
1	4,92	12,38510			
85	85,76	1,34426			
86	86,92	1,24708			
71	81,05	101,07235			
84	76,95	55,54717			
70	71,08	2,20151			
71	72,24	2,07664			
31	30,08	0,84414			
62	72,75	107,38157			
115	110,80	20,19929			
64	73,90	105,39206			
118	114,00	19,34168			
60	50,51	82,67226			
58	72,96	223,81879			
104	118,47	196,10869			
72	63,85	66,19019			
52	42,05	96,53184			
77	92,69	246,27677			
89	84,81	17,54100			
95	84,81	103,79938			
83	84,81	3,28263			
85	84,81	0,03542			
83	84,81	3,28263			

Таблица Б.10 – Результаты проверки адекватности уравнения регрессии описывающего влияние варьируемых факторов на число КОЕ ТТКБ при обеззараживании шаровым вихревым слоем по критерию Фишера

Отклик y	Расчетный отклик y_i	$(y-y_i)^2$	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
71	63,84	45,65062	119,375	4,718	5,8911
52	53,13	1,26816			
57	57,95	0,89914			
136	135,52	0,76653			
55	47,81	46,11537			
134	125,39	74,21094			
139	130,21	77,30757			
121	120,09	0,82778			
1	3,60	8,98272			
80	81,17	1,37680			
85	86,00	0,99097			
66	75,28	78,82112			
83	75,86	45,47592			
64	65,14	1,29747			
69	69,96	0,92385			
31	30,14	0,74404			
62	72,71	107,57451			
109	106,06	10,98842			
59	68,60	99,40011			
113	110,48	8,48572			
56	48,64	56,43177			
58	72,57	212,25700			
99	114,07	213,10964			
67	59,44	56,87182			
47	39,44	55,27349			
77	91,49	210,00499			
84	81,77	4,97955			
92	81,77	104,68339			
86	81,77	17,90551			
81	81,77	0,59061			
79	81,77	7,66465			

Таблица Б.11 – Результаты проверки адекватности уравнения регрессии описывающего влияние варьируемых факторов на уровень удельной энергоёмкости операционного воздействия при обеззараживании шаровым вихревым слоем по критерию Фишера

Отклик y	Расчетный отклик y_i	$(y-y_i)^2$	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
4	4,19	0,10249	1,490	4,739	5,7805
3	3,75	0,14548			
8	8,14	0,05354			
9	8,58	0,08566			
10	9,89	0,22707			
11	10,33	0,28922			
16	14,72	1,32389			
15	14,28	1,18662			
4	4,19	0,10249			
4	4,63	0,06701			
9	9,02	0,12528			
9	8,58	0,08566			
11	10,77	0,35889			
11	10,33	0,28922			
16	14,72	1,32389			
16	15,16	1,46866			
6	6,93	1,12239			
6	6,93	1,12239			
5	4,55	0,10554			
10	12,31	5,97179			
4	2,99	0,77191			
11	13,87	8,98466			
5	6,29	0,84824			
6	7,07	1,43487			
7	7,79	0,84824			
7	8,57	1,43487			
6	4,83	1,08599			
5	4,83	0,02314			
6	4,83	0,65952			
5	4,83	0,13847			
6	4,83	2,47153			

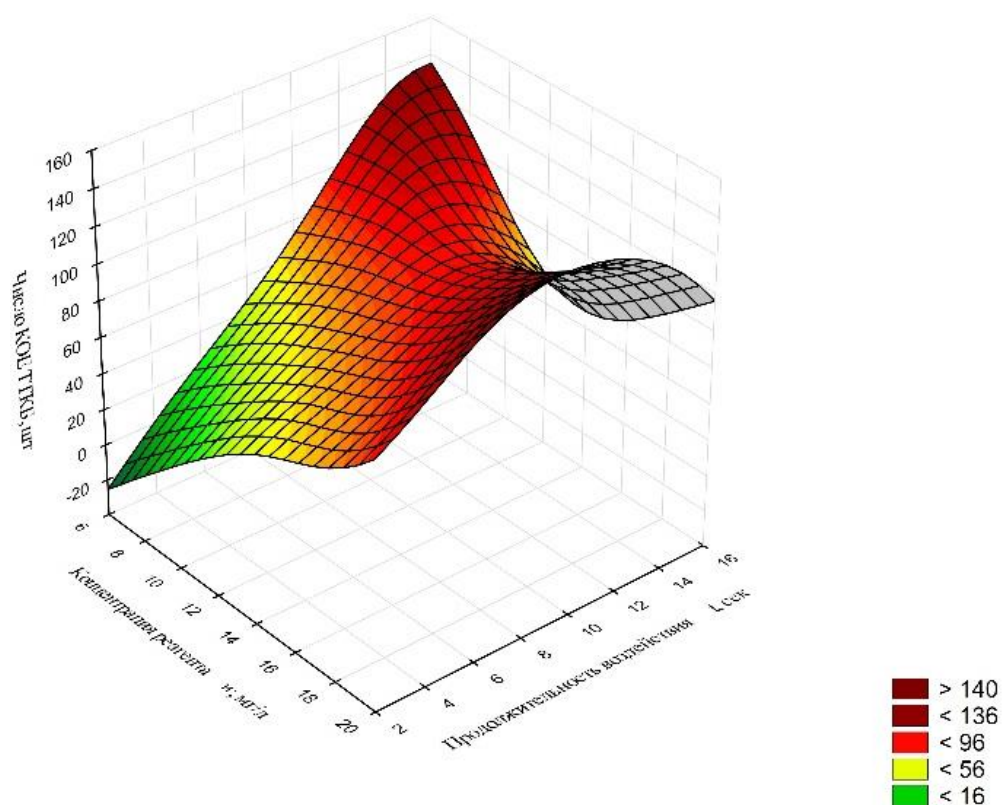


Рисунок Б.1 – Влияние концентрации реагента и продолжительности воздействия на число КОЕ ТТКБ

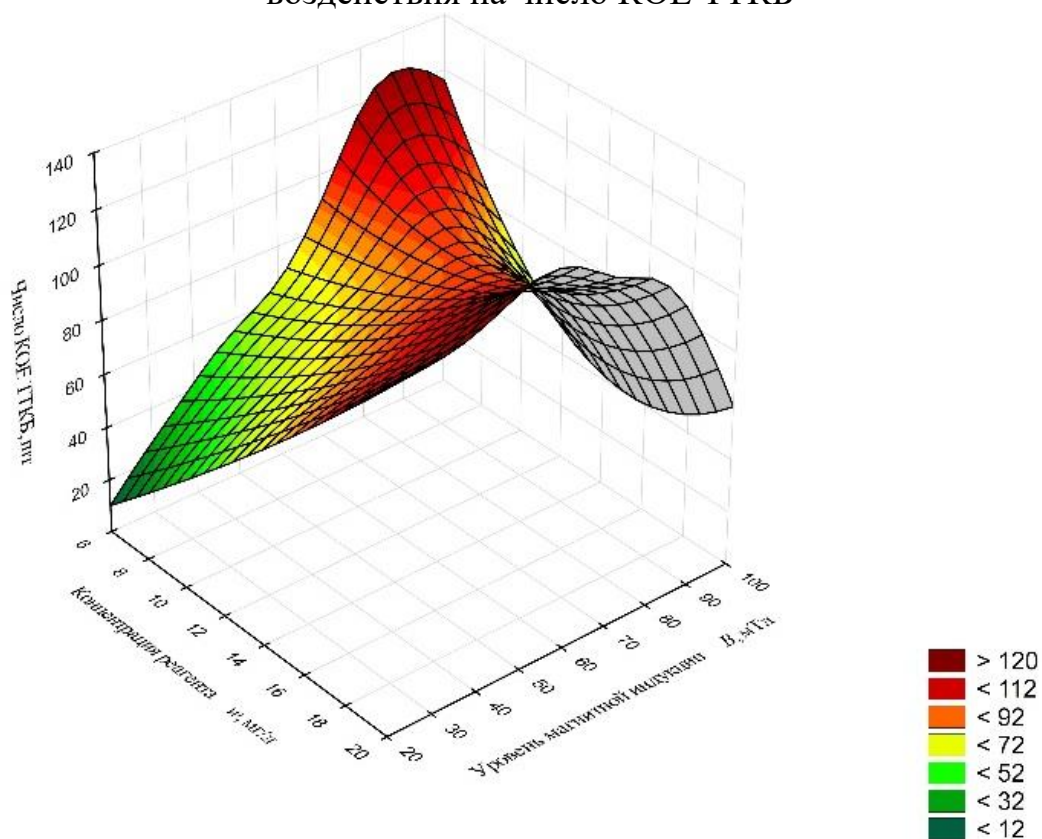


Рисунок Б.2 – Влияние концентрации реагента и уровня магнитной индукции на число КОЕ ТТКБ

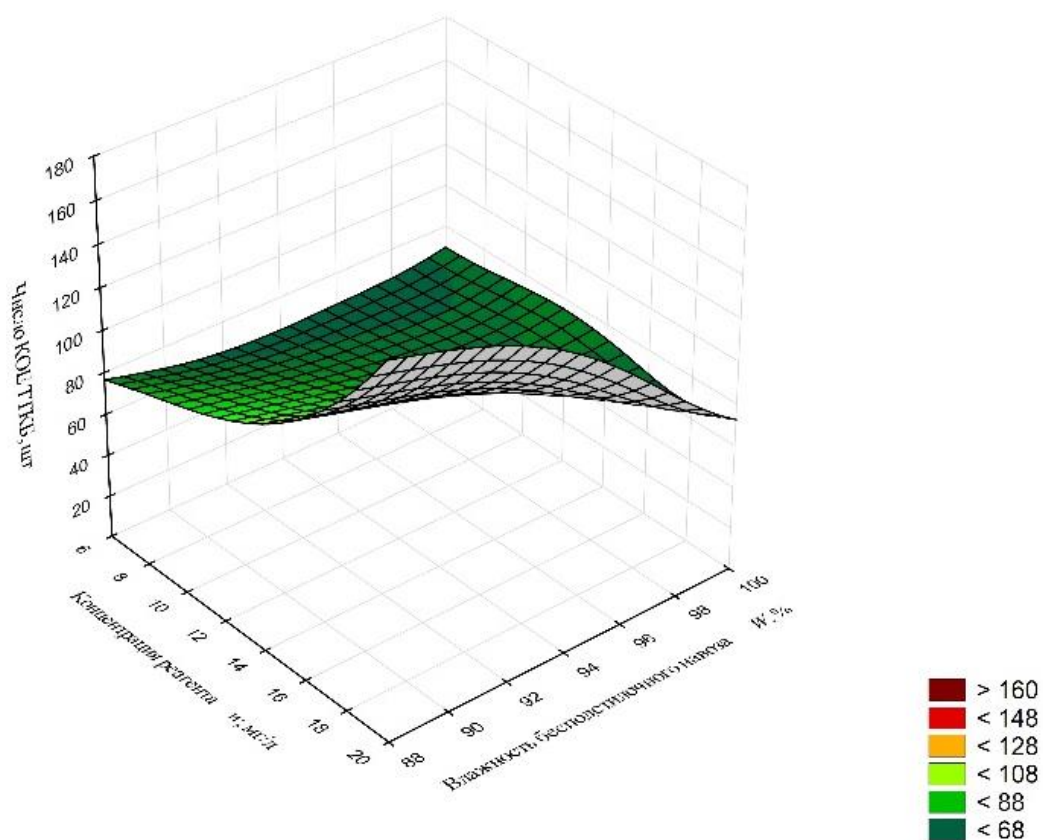


Рисунок Б.3 – Влияние концентрации реагента и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ТТКБ

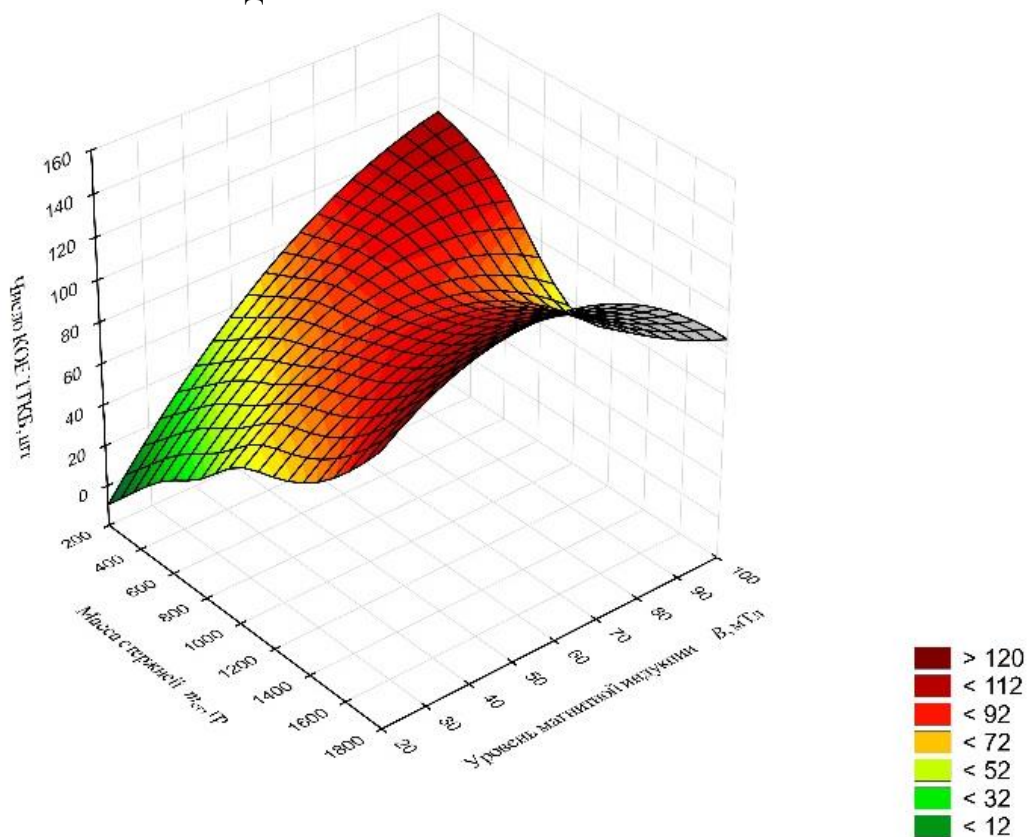


Рисунок Б.4 – Влияние массы стержней и уровня магнитной индукции на число КОЕ ТТКБ

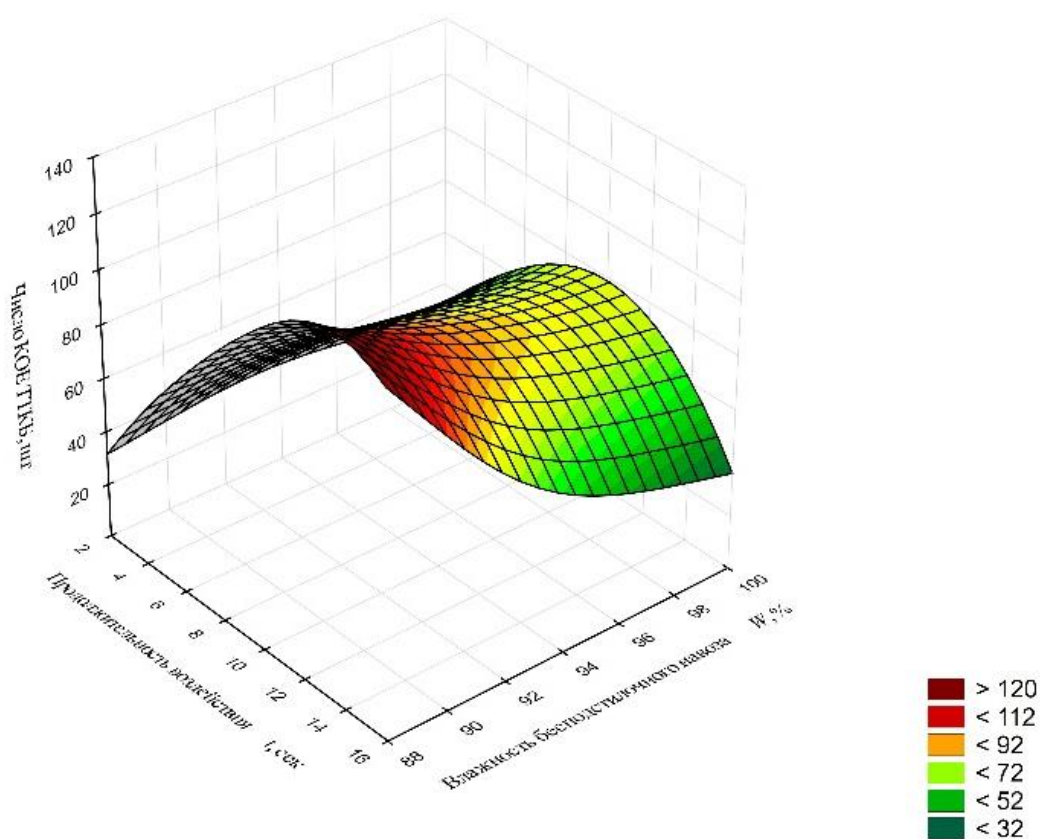


Рисунок Б.5 – Влияние продолжительности воздействия и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ТТКБ

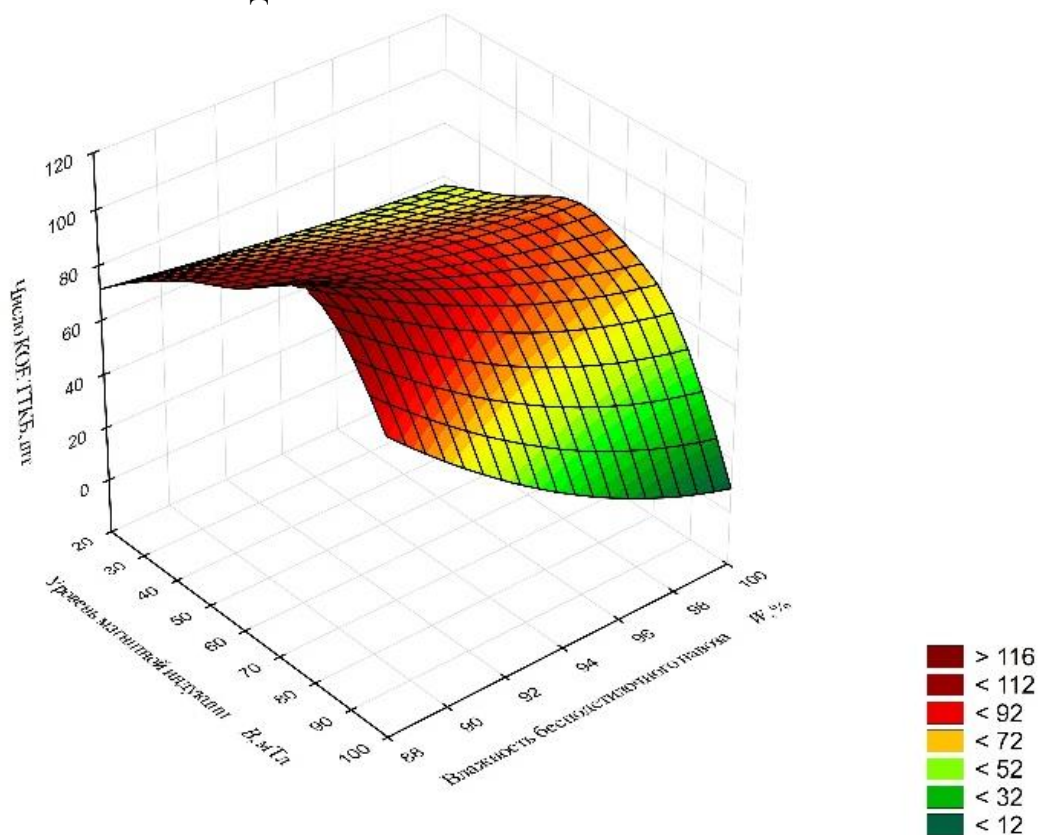


Рисунок Б.6 – Влияние уровня магнитной индукции и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ТТКБ

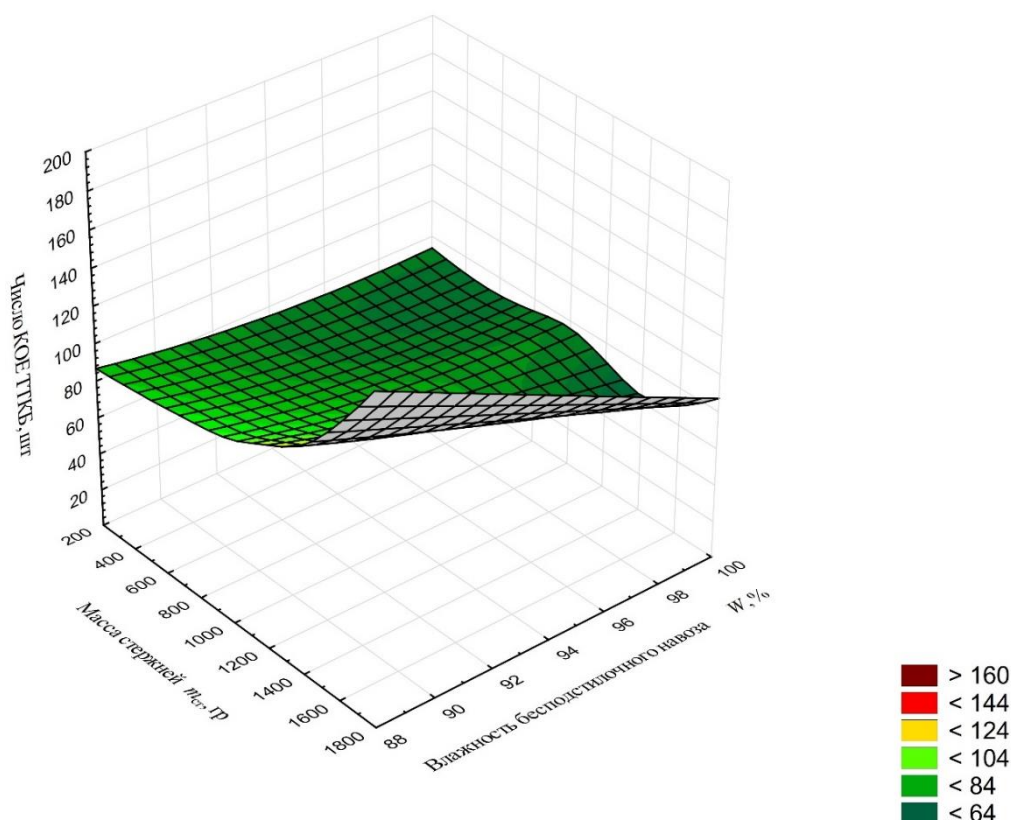


Рисунок Б.7 – Влияние массы стерней и влажности бесподстилочного навоза на число КОЕ ТТКБ

1.00 1.00 1.00 -0.60 0.60 N=16.340 КОЕ=103.2748	1.00 1.00 1.00 -0.60 0.60 N=16.340 КОЕ= 96.3764	1.00 1.00 1.00 -0.60 0.60 N=16.340 КОЕ= 96.4596
1.00 1.00 1.00 -0.60 1.00 N=16.980 КОЕ= 97.8860	1.00 1.00 1.00 -0.60 1.00 N=16.980 КОЕ= 91.0940	1.00 1.00 1.00 -0.60 1.00 N=16.980 КОЕ= 91.3140
1.00 1.00 1.00 -0.20 -1.00 N=16.980 КОЕ= 92.1420	1.00 1.00 1.00 -0.20 -1.00 N=16.980 КОЕ= 85.6460	1.00 1.00 1.00 -0.20 -1.00 N=16.980 КОЕ= 86.0860
1.00 1.00 1.00 -0.20 -0.60 N=16.340 КОЕ= 93.8188	1.00 1.00 1.00 -0.20 -0.60 N=16.340 КОЕ= 87.0980	1.00 1.00 1.00 -0.20 -0.60 N=16.340 КОЕ= 87.3132
1.00 1.00 1.00 -0.20 -0.20 N=16.020 КОЕ= 93.4092	1.00 1.00 1.00 -0.20 -0.20 N=16.020 КОЕ= 86.5212	1.00 1.00 1.00 -0.20 -0.20 N=16.020 КОЕ= 86.5820
1.00 1.00 1.00 -0.20 0.20 N=16.020 КОЕ= 90.9132	1.00 1.00 1.00 -0.20 0.20 N=16.020 КОЕ= 83.9156	1.00 1.00 1.00 -0.20 0.20 N=16.020 КОЕ= 83.8924
1.00 1.00 1.00 -0.20 0.60 N=16.340 КОЕ= 86.3308	1.00 1.00 1.00 -0.20 0.60 N=16.340 КОЕ= 79.2812	1.00 1.00 1.00 -0.20 0.60 N=16.340 КОЕ= 79.2444
1.00 1.00 1.00 -0.20 1.00 N=16.980 КОЕ= 79.6620	1.00 1.00 1.00 -0.20 1.00 N=16.980 КОЕ= 72.6180	1.00 1.00 1.00 -0.20 1.00 N=16.980 КОЕ= 72.6380
1.00 1.00 1.00 0.20 -1.00 N=16.980 КОЕ= 80.3180	1.00 1.00 1.00 0.20 -1.00 N=16.980 КОЕ= 74.0740	1.00 1.00 1.00 0.20 -1.00 N=16.980 КОЕ= 74.7140
1.00 1.00 1.00 0.20 -0.60 N=16.340 КОЕ= 80.7148	1.00 1.00 1.00 0.20 -0.60 N=16.340 КОЕ= 74.1452	1.00 1.00 1.00 0.20 -0.60 N=16.340 КОЕ= 74.4804
1.00 1.00 1.00 0.20 -0.20 N=16.020 КОЕ= 79.0252	1.00 1.00 1.00 0.20 -0.20 N=16.020 КОЕ= 72.1876	1.00 1.00 1.00 0.20 -0.20 N=16.020 КОЕ= 72.2884
1.00 1.00 1.00 0.20 0.20 N=16.020 КОЕ= 75.2492	1.00 1.00 1.00 0.20 0.20 N=16.020 КОЕ= 68.2012	1.00 1.00 1.00 0.20 0.20 N=16.020 КОЕ= 68.1380
1.00 1.00 1.00 0.20 0.60 N=16.340 КОЕ= 69.3868	1.00 1.00 1.00 0.20 0.60 N=16.340 КОЕ= 62.1860	1.00 1.00 1.00 0.20 0.60 N=16.340 КОЕ= 62.0292
1.00 1.00 1.00 0.20 1.00 N=16.980 КОЕ= 61.4380	1.00 1.00 1.00 0.20 1.00 N=16.980 КОЕ= 54.1420	1.00 1.00 1.00 0.20 1.00 N=16.980 КОЕ= 53.9620
1.00 1.00 1.00 0.60 -1.00 N=16.980 КОЕ= 68.4940	1.00 1.00 1.00 0.60 -1.00 N=16.980 КОЕ= 62.5020	1.00 1.00 1.00 0.60 -1.00 N=16.980 КОЕ= 63.3420
1.00 1.00 1.00 0.60 -0.60 N=16.340 КОЕ= 67.6108	1.00 1.00 1.00 0.60 -0.60 N=16.340 КОЕ= 61.1924	1.00 1.00 1.00 0.60 -0.60 N=16.340 КОЕ= 61.6476
1.00 1.00 1.00 0.60 -0.20 N=16.020 КОЕ= 64.6412	1.00 1.00 1.00 0.60 -0.20 N=16.020 КОЕ= 57.8540	1.00 1.00 1.00 0.60 -0.20 N=16.020 КОЕ= 57.9948
1.00 1.00 1.00 0.60 0.20 N=16.020 КОЕ= 59.5852	1.00 1.00 1.00 0.60 0.20 N=16.020 КОЕ= 52.4868	1.00 1.00 1.00 0.60 0.20 N=16.020 КОЕ= 52.3836
1.00 1.00 1.00 0.60 0.60 N=16.340 КОЕ= 52.4428	1.00 1.00 1.00 0.60 0.60 N=16.340 КОЕ= 45.0908	1.00 1.00 1.00 0.60 0.60 N=16.340 КОЕ= 44.8140
1.00 1.00 1.00 0.60 1.00 N=16.980 КОЕ= 43.2140	1.00 1.00 1.00 0.60 1.00 N=16.980 КОЕ= 35.6660	1.00 1.00 1.00 0.60 1.00 N=16.980 КОЕ= 35.2860
1.00 1.00 1.00 1.00 -1.00 N=16.980 КОЕ= 56.6700	1.00 1.00 1.00 1.00 -1.00 N=16.980 КОЕ= 50.9300	1.00 1.00 1.00 1.00 -1.00 N=16.980 КОЕ= 51.9700
1.00 1.00 1.00 1.00 -0.60 N=16.340 КОЕ= 54.5068	1.00 1.00 1.00 1.00 -0.60 N=16.340 КОЕ= 48.2396	1.00 1.00 1.00 1.00 -0.60 N=16.340 КОЕ= 48.8148
1.00 1.00 1.00 1.00 -0.20 N=16.020 КОЕ= 50.2572	1.00 1.00 1.00 1.00 -0.20 N=16.020 КОЕ= 43.5204	1.00 1.00 1.00 1.00 -0.20 N=16.020 КОЕ= 43.7012
1.00 1.00 1.00 1.00 0.20 N=16.020 КОЕ= 43.9212	1.00 1.00 1.00 1.00 0.20 N=16.020 КОЕ= 36.7724	1.00 1.00 1.00 1.00 0.20 N=16.020 КОЕ= 36.6292
1.00 1.00 1.00 1.00 0.60 N=16.340 КОЕ= 35.4988	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60 N=16.340 КОЕ= 27.9956	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60 N=16.340 КОЕ= 27.5988
1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 N=16.980 КОЕ= 24.9900	1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 N=16.980 КОЕ= 17.1900	1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 N=16.980 КОЕ= 16.6100
min index 2 0 0 0 2	min index 2 0 0 0 2	min index 2 0 0 0 2
min znachen -0.20 -1.00 -1.00 -1.00 -0.20	min znachen -0.20 -1.00 -1.00 -1.00 -0.20	min znachen -0.20 -1.00 -1.00 -1.00 -0.20
Nmin= 4.9240 КОЕ= 40.3100	Nmin= 4.9240 КОЕ= 37.2892	Nmin= 4.9240 КОЕ= 42.4260

а) для БОЕ

б) для ОКБ

в) для ТТКБ

Рисунок Б.8 – Результаты решения оптимизационной задачи максимизации энергетической эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза стержневым вихревым слоем

1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	0.60	N=15.828	KOE= 95.5724
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	1.00	N=16.512	KOE= 90.2540
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-1.00	N=16.324	KOE= 84.4460
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-0.60	N=15.639	KOE= 86.0780
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-0.20	N=15.296	KOE= 85.6652
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	0.20	N=15.296	KOE= 83.2076
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	0.60	N=15.639	KOE= 78.7052
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	1.00	N=16.324	KOE= 72.1580
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-1.00	N=16.324	KOE= 72.4940
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-0.60	N=15.639	KOE= 72.8972
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-0.20	N=15.296	KOE= 71.2556
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	N=15.296	KOE= 67.5692
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.60	N=15.639	KOE= 61.8380
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	1.00	N=16.324	KOE= 54.0620
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-1.00	N=16.512	KOE= 60.5420
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-0.60	N=15.828	KOE= 59.7164
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-0.20	N=15.485	KOE= 56.8460
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.20	N=15.485	KOE= 51.9308
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.60	N=15.828	KOE= 44.9708
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	N=16.512	KOE= 35.9660
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	N=16.890	KOE= 48.5900
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	N=16.205	KOE= 46.5356
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	N=15.863	KOE= 42.4364
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	N=15.863	KOE= 36.2024
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	N=16.205	KOE= 28.1036
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	N=16.890	KOE= 17.8700
min index 2 0 0 2							
min znachen -0.20 -1.00 -1.00 -0.20 -0.20							
Nmin= 4.1332 KOE= 34.4668							

а) для БОЕ

1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	0.60	N=15.828	KOE= 96.4204
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	1.00	N=16.512	KOE= 91.6460
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-1.00	N=16.324	KOE= 85.9020
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-0.60	N=15.639	KOE= 86.9644
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-0.20	N=15.296	KOE= 86.2476
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	0.20	N=15.296	KOE= 83.7516
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	0.60	N=15.639	KOE= 79.4764
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	1.00	N=16.324	KOE= 73.4220
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-1.00	N=16.324	KOE= 74.0780
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-0.60	N=15.639	KOE= 73.8604
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-0.20	N=15.296	KOE= 71.8636
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	N=15.296	KOE= 68.0876
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.60	N=15.639	KOE= 62.5324
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	1.00	N=16.324	KOE= 55.1980
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-1.00	N=16.512	KOE= 62.2540
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-0.60	N=15.828	KOE= 60.7564
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-0.20	N=15.485	KOE= 57.4796
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.20	N=15.485	KOE= 52.4236
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.60	N=15.828	KOE= 45.5884
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	N=16.512	KOE= 36.9740
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	N=16.890	KOE= 50.4300
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	N=16.205	KOE= 47.6524
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	N=15.863	KOE= 43.0956
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	N=15.863	KOE= 36.7596
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	N=16.205	KOE= 28.6444
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	N=16.890	KOE= 18.7500
min index 2 0 0 2							
min znachen -0.20 -1.00 -1.00 -0.20 -0.20							
Nmin= 4.1332 KOE= 35.4892							

б) для ОКБ

1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	0.60	N=15.828	KOE= 94.1980
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	1.00	N=16.512	KOE= 89.6460
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-1.00	N=16.324	KOE= 83.6620
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-0.60	N=15.639	KOE= 84.5980
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	-0.20	N=15.296	KOE= 83.8700
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	0.20	N=15.296	KOE= 81.4780
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	0.60	N=15.639	KOE= 77.4220
1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	1.00	N=16.324	KOE= 71.7020
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-1.00	N=16.324	KOE= 71.5580
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-0.60	N=15.639	KOE= 71.3260
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	-0.20	N=15.296	KOE= 69.4300
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	N=15.296	KOE= 65.8700
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.60	N=15.639	KOE= 60.6460
1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	1.00	N=16.324	KOE= 53.7580
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-1.00	N=16.512	KOE= 59.4540
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-0.60	N=15.828	KOE= 58.0540
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	-0.20	N=15.485	KOE= 54.9900
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.20	N=15.485	KOE= 50.2620
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	0.60	N=15.828	KOE= 43.8700
1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	N=16.512	KOE= 35.8140
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	N=16.890	KOE= 47.3500
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.60	N=16.205	KOE= 44.7820
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-0.20	N=15.863	KOE= 40.5500
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	N=15.863	KOE= 34.6540
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	N=16.205	KOE= 27.0940
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	N=16.890	KOE= 17.8700
min index 2 0 0 2							
min znachen -0.20 -1.00 -1.00 -0.20 -0.20							
Nmin= 4.1332 KOE= 31.7276							

в) для ТТКБ

Рисунок Б.9 – Результаты решения оптимизационной задачи максимизации энергетической эффективности
обеззараживания бесподстилочного навоза шаровым вихревым слоем

Приложение В – Интерфейсы модулей цифровизированной смарт-системы повышения эффективности обеззараживания бесподстильного навоза

Цифровизированная смарт-система, зооветеринарной, экологической, утилизации органических отходов животноводства

Выберите половозрастную группу

Хряки

Свиноматка

Супоросный

Подсосный

Поросота

Поросота (43-60 дней)

Поросота (61-106 дней)

Самка на откорме до 70 дней

Самка на откорме более 70 дней

Моделирование экологической нагрузки

Хряки

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Свиноматка

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Супоросный

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Подсосный

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Поросота

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Поросота (43-60 дней)

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Поросота (61-106 дней)

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Самка на откорме до 70 дней

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Самка на откорме более 70 дней

Всего животных, голов

0

Время накопления навоза, сутки

0

Подстилка

Объем жидкости необходимый для дачения отхода, л/сутки

0

Рисунок В.1 – Незаполненная форма модуля моделирования экологической нагрузки

352

ЦИФРОВИЗИРОВАННАЯ СМАРТ СИСТЕМА ЭКОТЕКНИЧНОЙ ЭНЕРГО- ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Выберите половозростную группу

Хряки

Свиноматка

Супоросной

Подсосной

Поросота

Поросота (43-60 дней)

Поросота (61-106 дней)

Свинья на откорме до 70 дней

Свинья на откорме более 70 дней

Моделирование экологической нагрузки

Хряки

Всего животных, голов

300

Время накопления навоза, сутки

120

Подстпила

Объем жидкости необходимый для удаления отходов, л/сутки

32

Свиноматка

Всего животных, голов

600

Время накопления навоза, сутки

120

Подстпила

Объем жидкости необходимый для удаления отходов, л/сутки

35

Супоросной

Всего животных, голов

800

Время накопления навоза, сутки

120

Подстпила

Объем жидкости необходимый для удаления отходов, л/сутки

30

Подсосной

Всего животных, голов

250

Время накопления навоза, сутки

120

Подстпила

Объем жидкости необходимый для удаления отходов, л/сутки

30

Поросота

Всего животных, голов

450

Время накопления навоза, сутки

120

Подстпила

Объем жидкости необходимый для удаления отходов, л/сутки

30

Поросота (43-60 дней)

Всего животных, голов

450

Время накопления навоза, сутки

120

Подстпила

Объем жидкости необходимый для удаления отходов, л/сутки

30

Поросота (61-106 дней)

Всего животных, голов

350

Время накопления навоза, сутки

120

Подстпила

Объем жидкости необходимый для удаления отходов, л/сутки

30

Свинья на откорме более 70 дней

Всего животных, голов

400

Время накопления навоза, сутки

120

Подстпила

Объем жидкости необходимый для удаления отходов, л/сутки

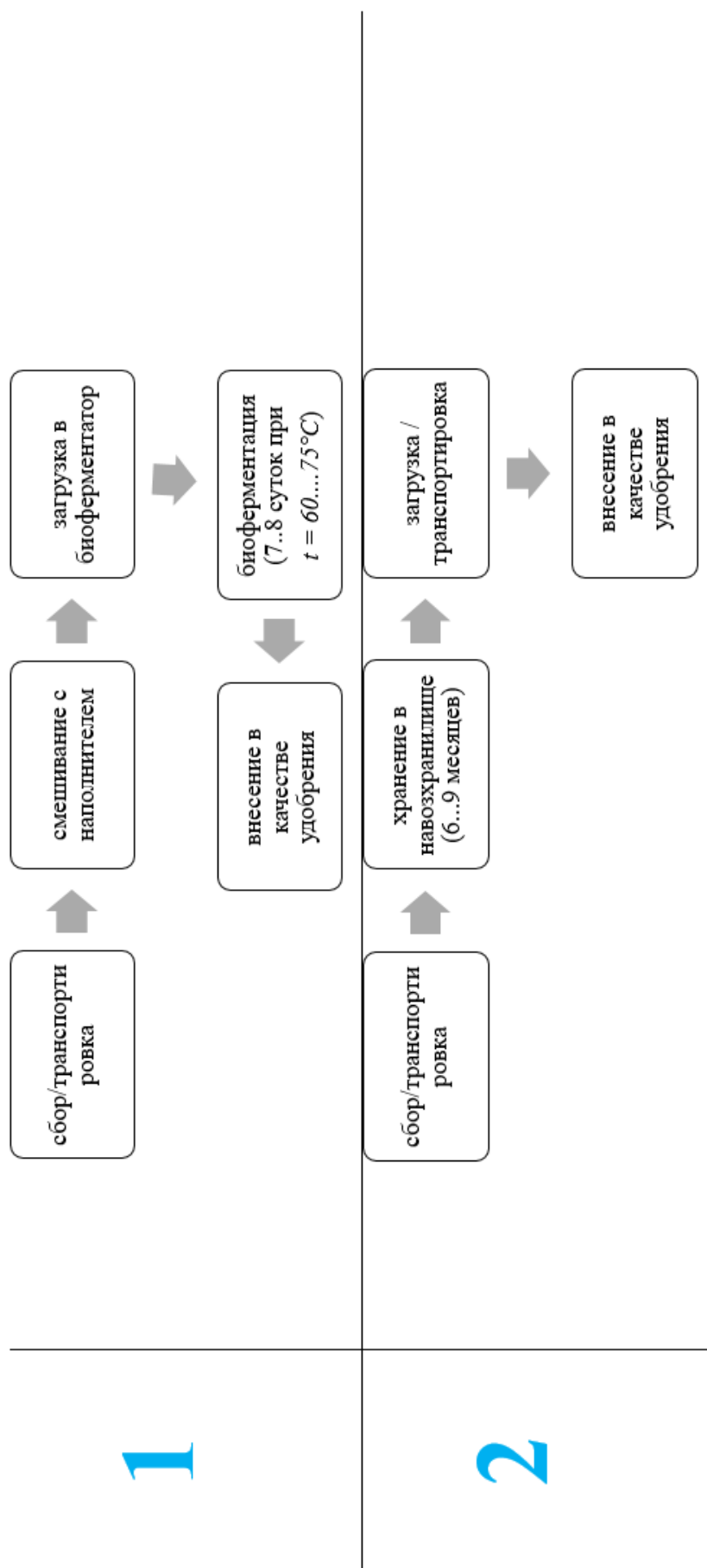
30

Рисунок В.2 – Заполненная интерфейсная форма модуля моделирования экологической нагрузки

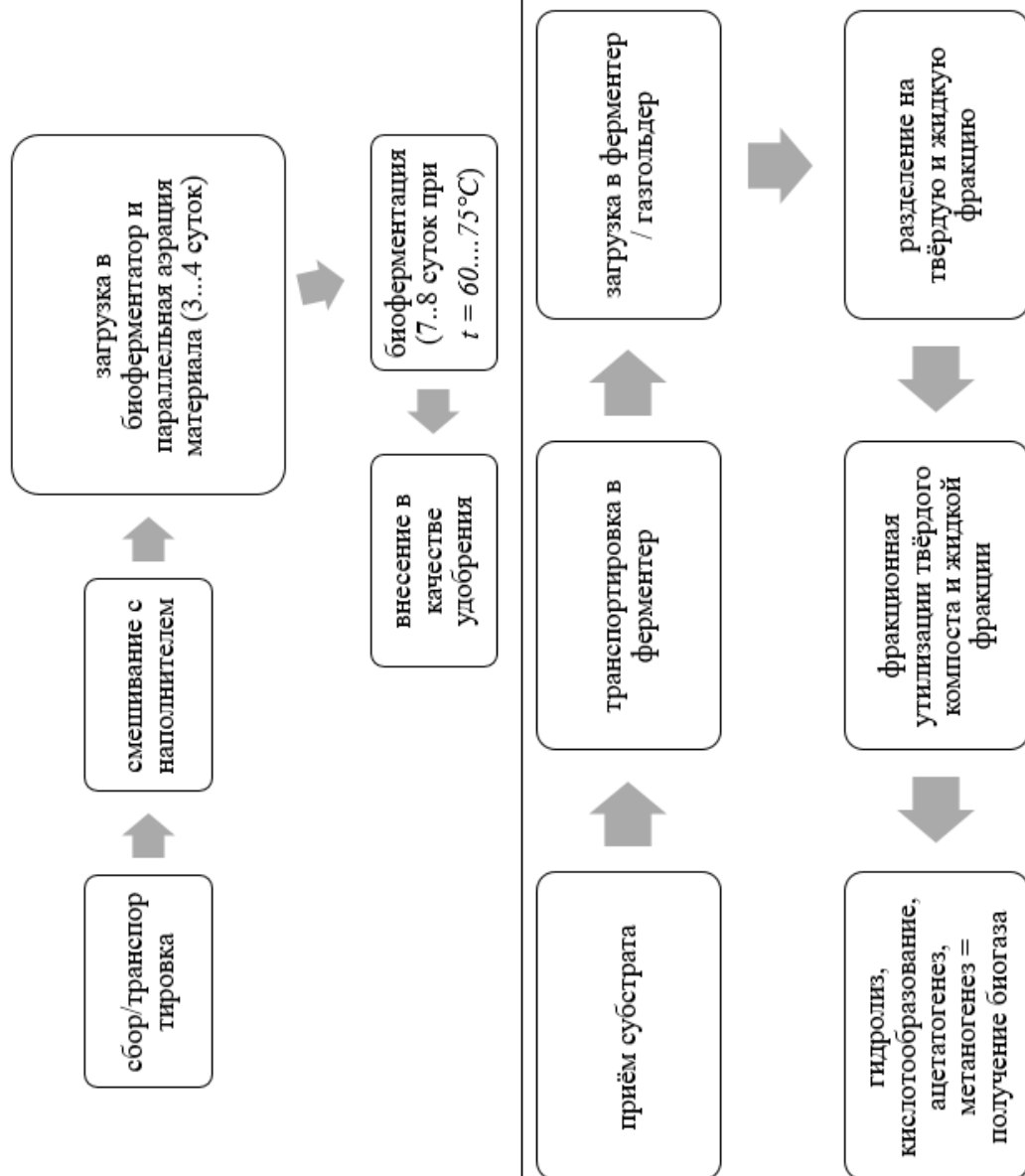
Результат

353

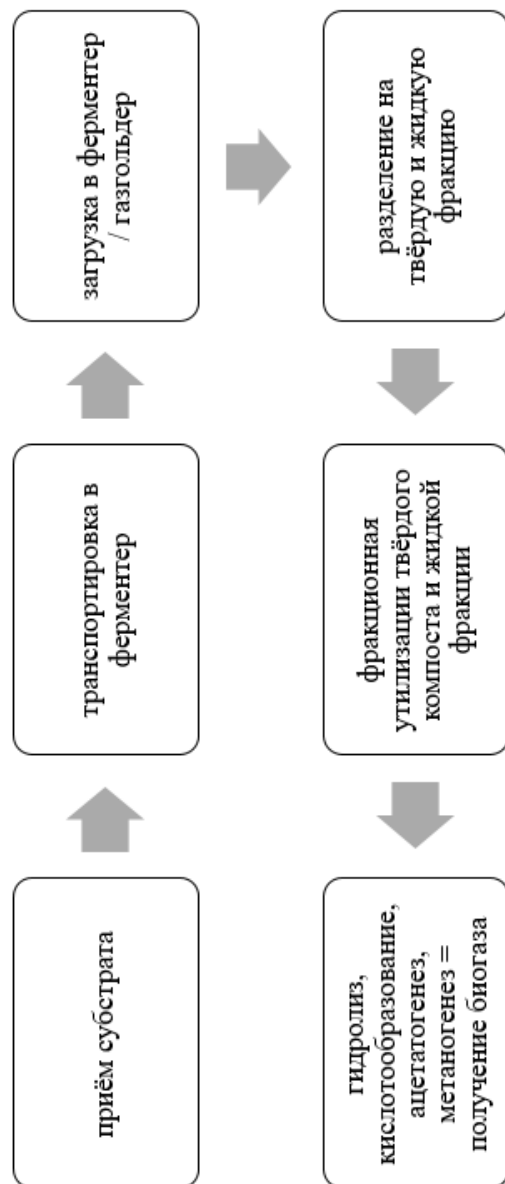
Таблица В.1 – Пример вывода доступных технологий утилизации органических отходов животноводства в результате моделирования в модуле оценки экологической нагрузки



3

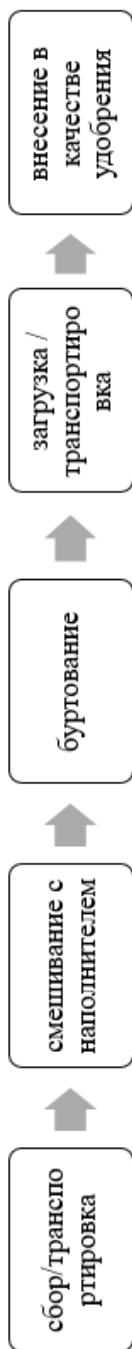


4

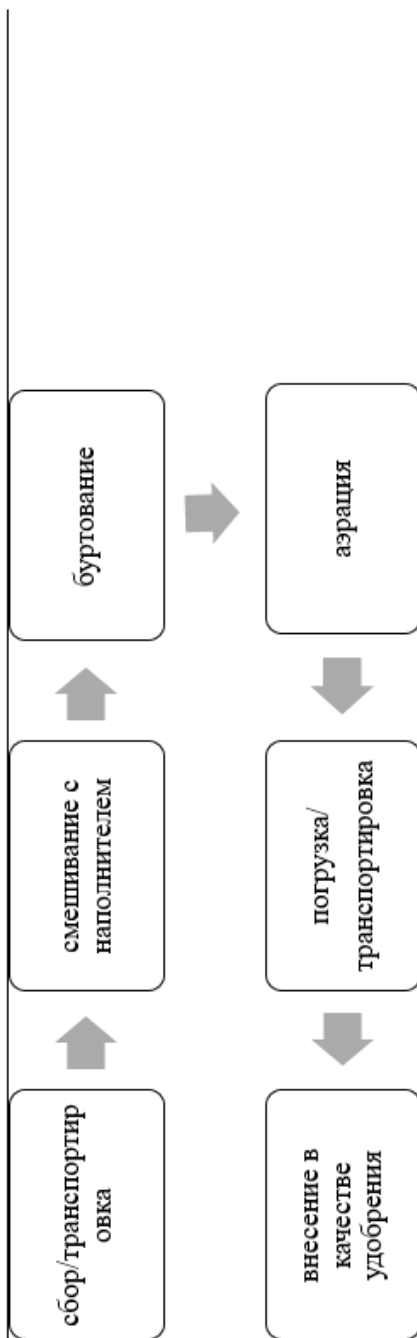


продолжение таблицы В.1

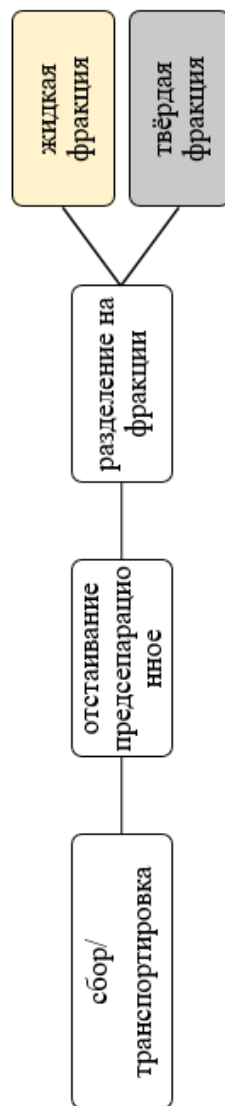
5



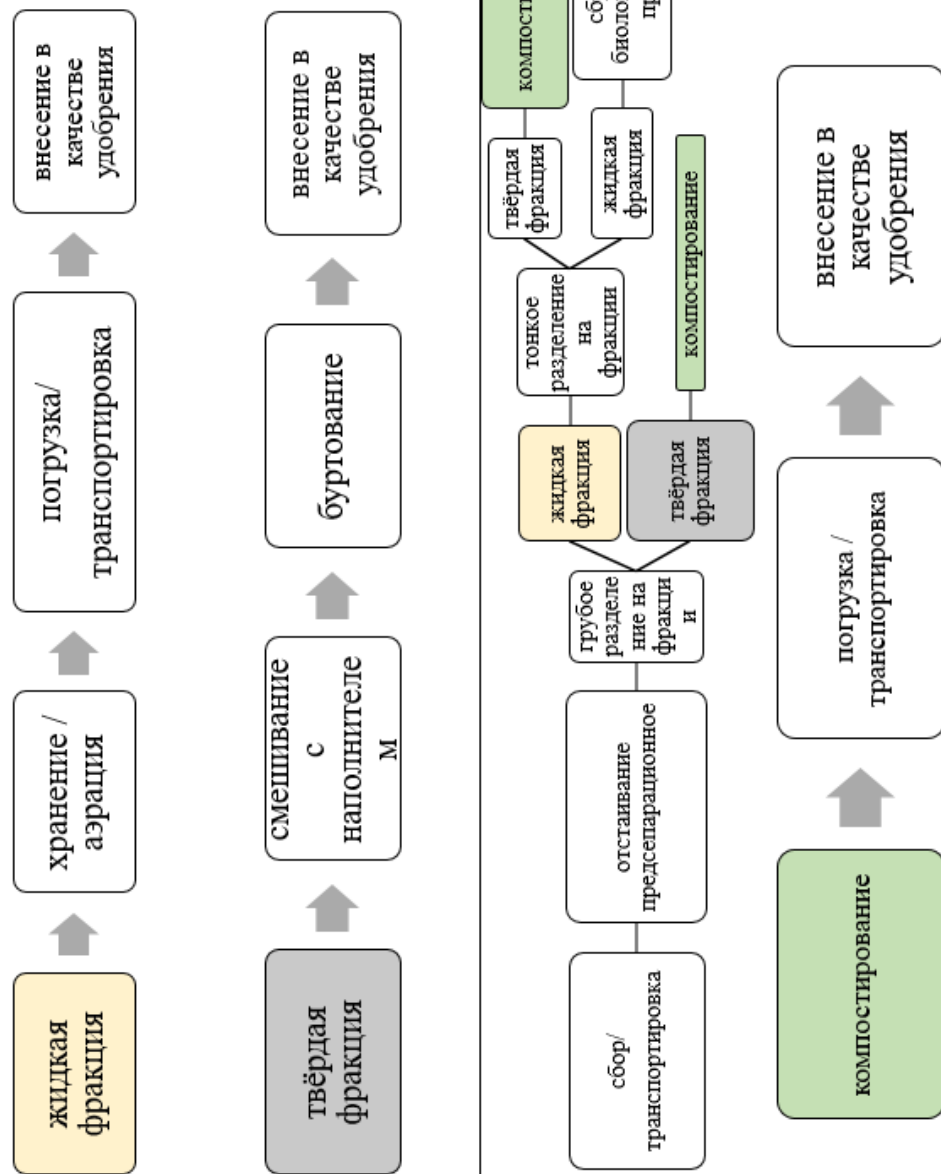
6

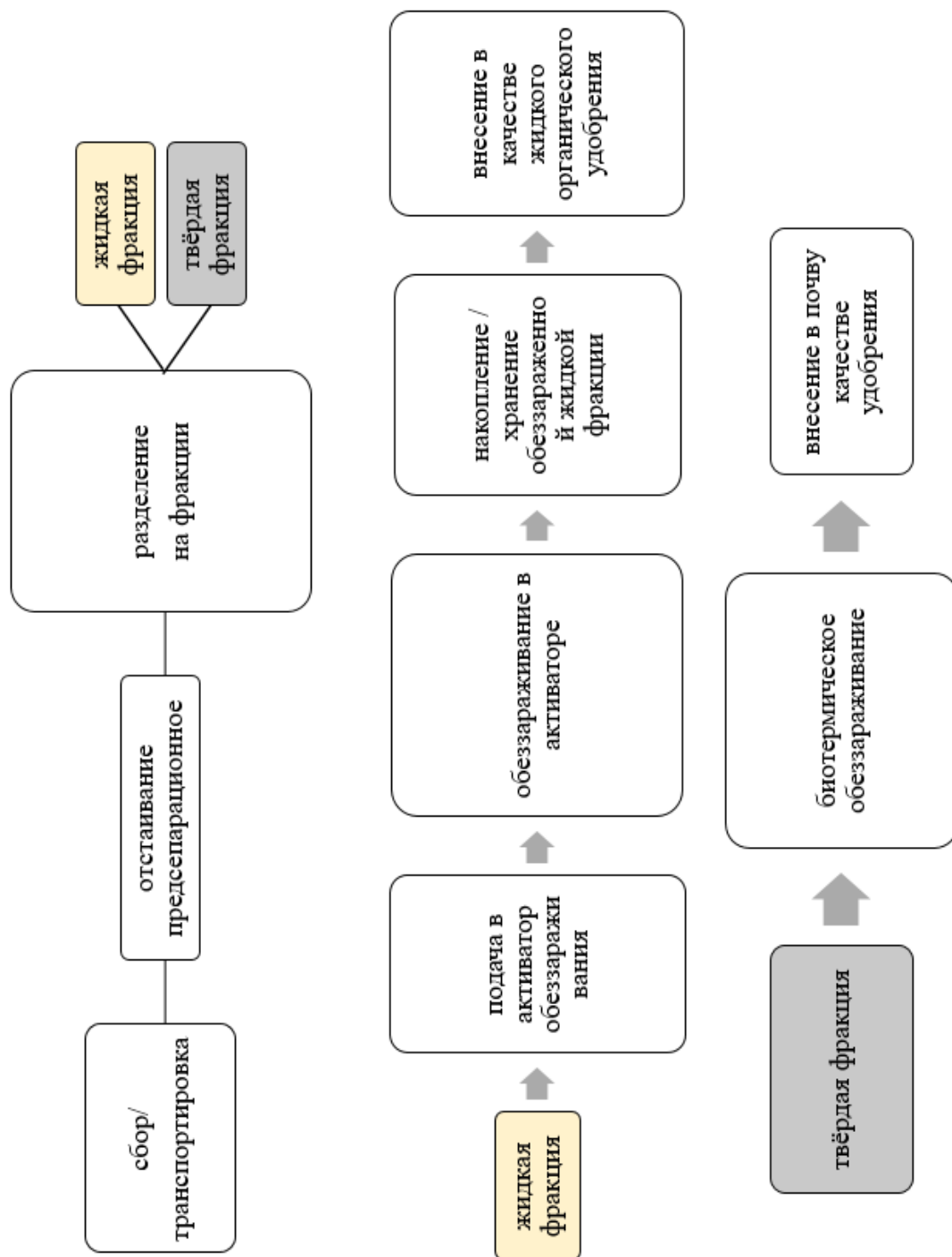


7



продолжение таблицы В.1





Моделирование энергозатрат на обеззараживание в активаторе

Масса стержней	0	, гр
Уровень магнитной индукции	0	, мТл
Продолжительность воздействия	0	, с
Концентрация реагента	0	, мг/л
Удельная энергоёмкость активатора обеззараживания бесподстилочного навоза со стержневыми рабочими телами: 0 Вт*ч/м3		

Масса шаров	0	, гр
Уровень магнитной индукции	0	, мТл
Продолжительность воздействия	0	, с
Концентрация реагента	0	, мг/л
Влажность бесподстилочного навоза	0	, %
Удельная энергоёмкость активатора обеззараживания бесподстилочного навоза с шаровыми рабочими телами: 0 Вт*ч/м3		

Рисунок В.3 – Интерфейсные формы модуля моделирования энергозатрат на обеззараживание в активаторе

Моделирование энергетических характеристик индуктора в зависимости от производительности

Размеры сердечника статора		Размеры паза		Определение основных параметров и расчёт числа витков в пазу.	
Z1		N°	Номер паза	Частота вращения магнитного потока n	
36		1		3000	3000.00 об/мин
Диаметр индуктора Da		a		Число пар полюсов 2p	
190	мм	6		2	2.00
Диаметр рабочей зоны Di		b		Звезда YU	
140	мм	7,5		380	380.60 В
Длина рабочей зоны L		h1		Треугольник Δ U	
500	мм	15		220	219.65 В
Высота яра h		Высота паза hn		a	
15	мм	16,5		0,5	
Ширина зуба b				Bz	
4	мм			0,8	0.77 Тл
				N	
				5	0.17
				Зр мин	4.67
				q	6.00
				у	18.00
				Вс	1.16 Тл

Рисунок В.4 – Интерфейс ввода данных модуля моделирования энергетических характеристик индуктора активатора в зависимости от производительности

Моделирование энергетических характеристик индуктора активатора в зависимости от производительности

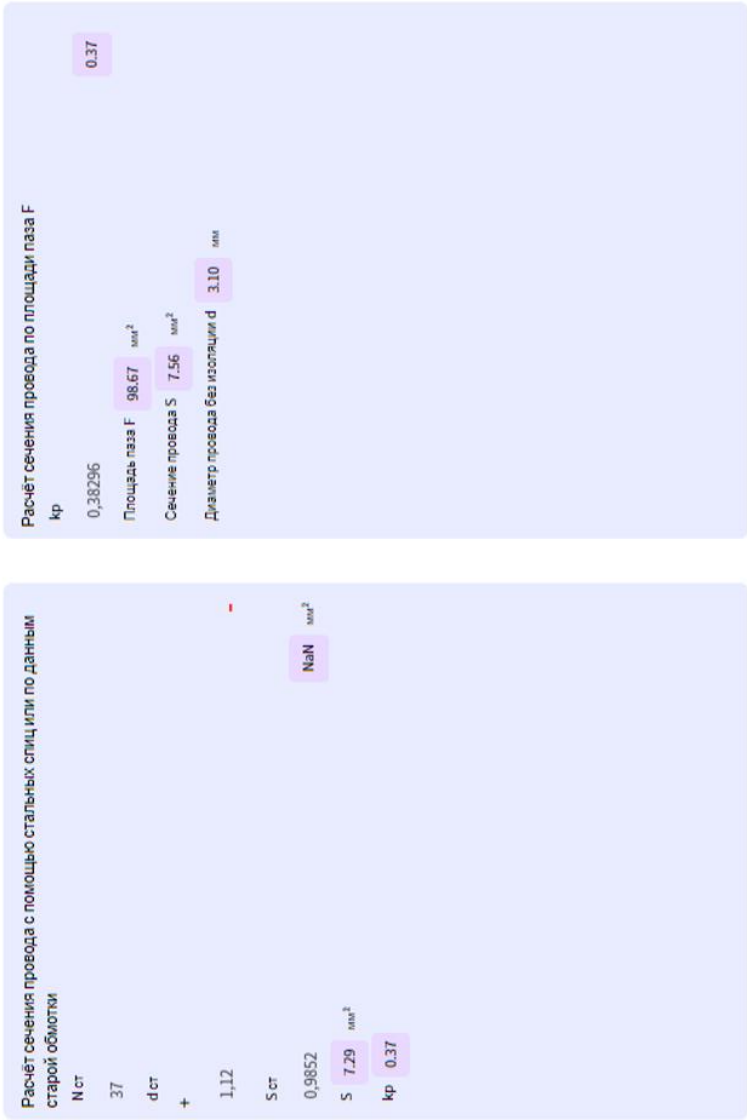
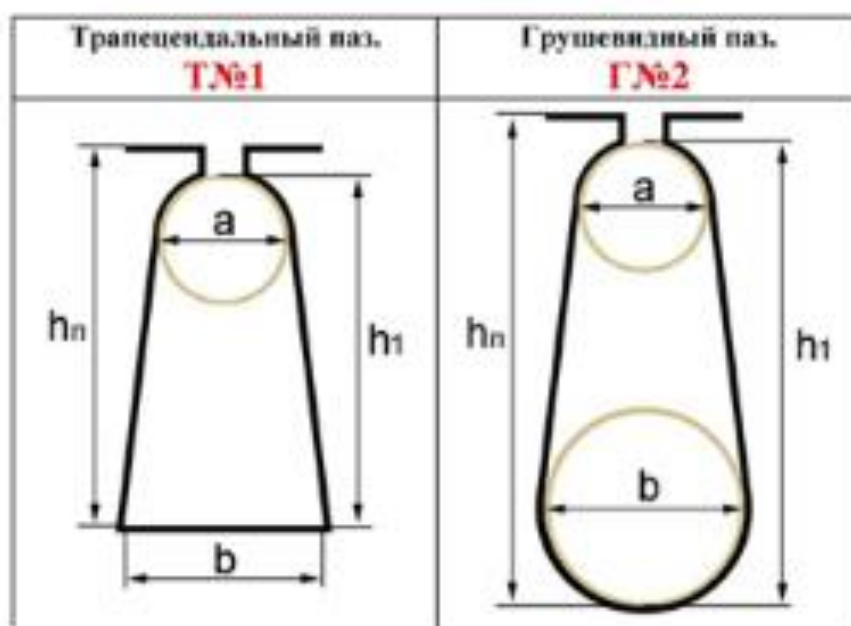
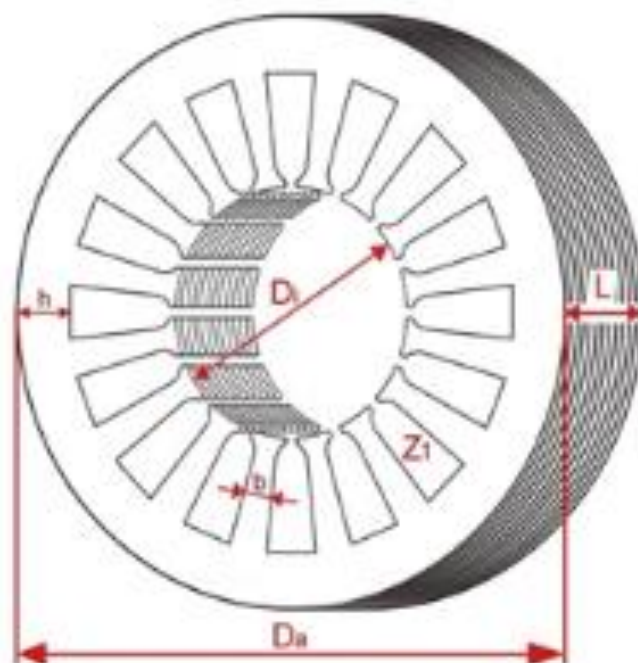


Рисунок В.5 – Интерфейс ввода данных модуля моделирования энергетических характеристик индуктора активатора в зависимости от производительности



Обмотка	Паз	kп		
		до 1,0 кВт.	1 – 10 кВт.	10 – 100 кВт.
Однослойная	Трапецидальный	0,37	0,40	0,43
	Грушевидный	0,42	0,46	0,50
Двухслойная	Трапецидальный	0,36	0,37	0,40
	Грушевидный	0,37	0,40	0,43

Рисунок В.6 – Графическая визуализация расчётного моделирования модуля

Добавить мощность

Расчёт энергетической эффективности технических средств утилизации бесподстилочного навоза

Мощность, затраченная на перекачивание воздуха	
+	
Удельная потребляемая мощность по газу	Н
Введите данные	
Средняя скорость движения воздуха	м/сек
Введите данные	

Мощность, необходимая на привод рабочих органов и вспомогательных органов и вспомогательных органов на холостом ходу	
+	
Суммарный момент от сгорания топлива на валу привода	Н*м
Введите данные	
Удельная частота вращения привода ТУ	мин ⁻¹
Введите данные	

Мощность, потребляемая на выполнение основной технологической операции	
+	
Линейная скорость ТУ	м/сек
Введите данные	
Момент на приводном валу ТУ	Н
Введите данные	
Площадь перемещения	м²
Введите данные	
Удельная частота вращения привода ТУ	мин ⁻¹
Введите данные	
Масса глыбы, перемещаемой на плетне	кг
Введите данные	
Удельная потребляемая мощность	кВт/м²
Введите данные	
Коэффициент, зависящий от плетня	Н
Введите данные	
Удельная площадь плетня, град	Н
Введите данные	
Площадь кубического глыбы	куб.м
Введите данные	
Удельная температура и влажность	град
Введите данные	

Рисунок В.7 – Интерфейс модуля расчёта энергетической эффективности технических средств утилизации бесподстилочного навоза

Приложение Г – Акты внедрения результатов НИР



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «Рязанский свинокомплекс»

Р.Ю. Джалилов

7 октября 2021 г.

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов научно-исследовательской работы в производство

Мы, нижеподписавшиеся, главный ветеринарный врач: Аникин А.С., начальник производственной службы: Киреева Т.Г., главный бухгалтер: Буданова Н.Н., составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской работы к.т.н. Лимаренко Николая Владимировича внедрены в производственную деятельность ОАО «Рязанский свинокомплекс» (390517, Рязанская обл., Рязанский р-н, п. Искра, литера Ж).

Вид внедрения – методика обоснованного выбора параметров технологического процесса обеззараживания бесподстилочного навоза реализованная в виде программного продукта оценки оптимального энерго-экологического направления утилизации отходов животноводства (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021661091 РФ), программного продукта, позволяющего осуществлять седиментационный анализ бесподстилочного навоза (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664999 РФ), а также программного продукта в виде цифровизированной смарт системы эффективной энерго-экологической утилизации органических отходов животноводства (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021663928 РФ).

Область и форма внедрения – обеззараживание бесподстилочного навоза и оценка энерго-экологического потенциала.

Эффект от внедрения и новизна – разработанная и внедрённая методика обоснованного выбора параметров технологического процесса обеззараживания бесподстилочного навоза реализованная в виде программного продукта оценки оптимального энерго-экологического направления утилизации отходов животноводства обеспечивает повышение производительности труда более, чем на 20 %, снижение удельных энергетических затрат в связи с сокращением продолжительности обеззараживания бесподстилочного навоза.

Гл. ветеринарный врач

Нач. производственной службы

Главный бухгалтер

Аникин А.С.

Киреева Т.Г.

Буданова Н.А.

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ОАО «Атемарская птицефабрика»
Сурков М.А.
15 октября 2021 г.

**АКТ ВНЕДРЕНИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ**

Мы, нижеподписавшиеся, Теребинов В. Е., главный зоотехник, Будянский И.В., главный инженер ОАО «Птицефабрика «Атемарская» и Чаткин М.Н., профессор кафедры МЭС и СХМ им. Профессора А.И. Лещанкина МГУ им. Н. П. Огарева составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской работы Лимаренко Николая Владимировича внедрены в производственную деятельность ОАО «Птицефабрика «Атемарская».

Вид внедрения результатов – использование программных комплексов при моделировании уровня экологической нагрузки и энергетического потенциала, образуемого бесподстилочного навоза:

1. «Цифровизированная смарт система эффективной энерго-экологической утилизации органических отходов животноводства» (Свид. О гос. Рег. Пр. ЭВМ 2021663928 РФ);

2. Система выбора оптимального энерго-экологического направления утилизации отходов животноводства (Свид. О гос. Рег. Пр. ЭВМ 2021661091 РФ).

Область и форма внедрения – цифровизация процесса подготовки и обеззараживания бесподстилочного навоза.

Эффект от внедрения и новизна – использование разработанных программных продуктов предприятию получить технико-экономический эффект в виде снижения удельных энергетических затрат на обеззараживания бесподстилочного навоза не менее чем на 10 %, а также цифровизировать процесс подготовки образуемого навоза к утилизации, а также повысить эффективность его обеззараживания на 17...20 %.

Главный зоотехник

ТЕРЕБИНОВ В. Е.

Главный инженер
Профессор кафедры МЭС и СХМ
им. профессора А.И. Лещанкина
МГУ им. Н.П. Огарева

БУДЯНСКИЙ И. В.

ЧАТКИН М. Н.

«УТВЕРЖДАЮ»



И.О. проректора по научной работе

ФГБОУ ВО РГАТУ

Л.Н. Лазуткина

2021 г.

АКТ

о проведении лабораторных исследований активатора обеззараживания бесподстилочного навоза

Мы, нижеподписавшиеся, представители федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице заведующего кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» д.т.н., профессора И.А. Успенского, заведующего кафедрой «Автотракторная техника и теплоэнергетика» д.т.н., доцента И.А. Юхина, учебного мастера кафедры «Техническая эксплуатация транспорта» к.т.н. Н.В. Лимаренко составили настоящий акт в том, что с 4-го по 8-е октября 2021 года были проведены лабораторные исследования повышения эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза путём оптимизации и цифровизации его параметров в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева».

Исследование эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза проводилось с использованием цифровизированных решений. В качестве наиболее перспективного инструмента решения оптимизационных задач подобного рода использовался разработанный авторами программный продукт: «Определение оптимальных параметров операции обеззараживания отходов агропромышленного комплекса «Optimum agriculture system v. 1.0» (свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2019616853 РФ).

Для цифровизации параметров эффективного обеззараживания бесподстилочного навоза использовались разработанные авторами программные продукты: седиментационный анализ полидисперсных систем (свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664999 РФ); система автоматизированной оценки уровня экологической нагрузки животноводческих предприятий (свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021664791 РФ).

В результате проведения лабораторных исследований установлено следующее: обоснованы параметры, обеспечивающие максимальную энерго-экологическую эффективность интенсификации обеззараживания бесподстилочного навоза, для стержневого вихревого слоя – концентрация активного хлора $\omega=7,2$ мг/л; масса стержней $m_{ст}=600$ гр.; уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора $B=40$ мТл; влажность бесподстилочного навоза $W=88$ %; продолжительность совместного воздействия $t=6,2$ с, уровень удельной энергоёмкости при этом составляет $N=4,133$ кВт*ч/м³; для шарового вихревого слоя – концентрация активного хлора $\omega=7,0$ мг/л; масса стержней $m_{ш}=600$ гр.; уровень магнитной индукции в технологической зоне активатора $B=40$ мТл; влажность бесподстилочного навоза $W=90$ %; продолжительность совместного воздействия $t=6,1$ с; при этом уровень удельной энергоёмкости составляет $N=4,924$ кВт*ч/м³, данные параметры получены исходя из производительности обработки бесподстилочного навоза 30 м³/час.

Исполнители:

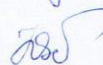
Заведующий кафедрой
«Техническая эксплуатация транспорта»,
д-р. техн. наук, профессор

Заведующий кафедрой «Автотракторная техника
и теплоэнергетика», д-р. техн. наук, доцент

Учебный мастер кафедры
«Техническая эксплуатация транспорта»,
канд. техн. наук



Иван
Алексеевич
Успенский



Иван
Александрович
Юхин



Николай
Владимирович
Лимаренко

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 1

от 13 сентября 2021 года

заседания Методического совета ФГБОУ ВО РГАТУ

Председатель	- и.о. первого проректора	Борычев Сергей Николаевич
Методического совета		
Заместитель председателя	- начальник Методического	Якунин Юрий
Методического совета	отдела	Викторович
Секретарь	- преподаватель кафедры	Стишкова Елена
Методического совета	бухгалтерского учета,	Владимировна
	анализа и аудита	

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

декан факультета экономики и менеджмента, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.02 Менеджмент (Производственный менеджмент, Экономика и управление на предприятиях отрасли)	Бакулина Галина Николаевна
декан инженерного факультета, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии)	Бачурин Алексей Николаевич
декан факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.04.02 Зоотехния (Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства)	Быстрова Ирина Юрьевна
зам. декана технологического факультета	Вавилова Наталья Владимировна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.01 Экономика (Бухгалтерский учет, анализ и аудит)	Ваулина Ольга Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.10 Гидромелиорация (Строительство и эксплуатация гидромелиоративных систем)	Гаврилина Ольга Петровна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (Автомобильный сервис)	Голиков Алексей Анатольевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.04.01 Технология транспортных процессов (Организация перевозок на автомобильном транспорте)	Горячкина Ирина Николаевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия (Агрономия)	Евсенина Марина Владимировна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение (Инновационные экологически безопасные агротехнологии)	Ерофеева Татьяна Валериевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки (Физиология)	Каширина Лидия Григорьевна

директор научной библиотеки	Коваленко Татьяна Александровна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (Автомобильные дороги)	Колошеин Дмитрий Владимирович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.06.01 Ветеринария и зоотехния (Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза, Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства)	Кондакова Ирина Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве (Технологии и средства механизации сельского хозяйства, Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве)	Костенко Михаил Юрьевич
председатель учебно-методической комиссии по специальности 36.05.01 Ветеринария (Ветеринария)	Кулаков Виталий Владиславович
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.04 Агрономия (Адаптивное земледелие)	Лупова Екатерина Ивановна
председатель учебно-методической комиссии по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (Автомобили и тракторы)	Максименко Ольга Олеговна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение, Электрические станции и подстанции)	Морозов Александр Сергеевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции (Технология производства, хранения и переработки продукции животноводства)	Морозова Нина Ивановна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.05 Садоводство (Декоративное садоводство, газоноведение и флористика)	Назарова Анна Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение (Агроэкология)	Однодушнова Юлия Викторовна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии)	Олейник Дмитрий Олегович
начальник отдела по работе с инвалидами и лицами с ограниченными возможностями по здоровью	Пашканг Наталья Николаевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.04.01 Экономика (Бухгалтерский учет, анализ и аудит)	Поликарпова Елена Петровна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.03.02 Зоотехния (Зоотехния)	Правдина Елена Николаевна
декан автодорожного факультета	Рембалович Георгий

председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.07 Товароведение (Товароведение и экспертиза в сфере производства и обращения сельскохозяйственного сырья и продовольственных товаров)	Константинович Савина Ольга Васильевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.03.01 Ветеринарно-санитарная экспертиза (Ветеринарно-санитарная экспертиза)	Сайтханов Эльман Олегович
начальник отдела аспирантуры и докторантуры	Стародубова Татьяна Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов (Организация перевозок на автомобильном транспорте)	Тетерина Ольга Анатольевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (Городское строительство и хозяйство)	Ткач Татьяна Сергеевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело (Общее земледелие, растениеводство, Агрохимия)	Фадькин Геннадий Николаевич
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело (Лесное и лесопарковое хозяйство)	
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 06.03.01 Биология (Биоэкология)	Федосова Ольга Александровна
декан технологического факультета, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организации общественного питания (Технология организации ресторанного дела)	Черкасов Олег Викторович
проректор по развитию и качеству образовательного процесса, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.04.02 Менеджмент (Управленческая деятельность в АПК)	Шашкова Ирина Геннадьевна
председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (Техническая эксплуатация транспорта и автосервис)	Юхин Иван Александрович

ПОВЕСТКА СОВЕТА:

3. Разное (рассмотрение учебно-методических пособий, разработанных кафедрами, на предмет рекомендации в печать и использования в учебном процессе).

СЛУШАЛИ:

О рассмотрении программного продукта «Цифровизированная смарт система эффективной энерго-экологической утилизации органических отходов животноводства (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021663928 РФ)» для аспирантов, магистрантов, бакалавров, обучающихся по направлениям 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии), Электроэнергетика и

электротехника (Электроснабжение, Электрические станции и подстанции), на предмет рекомендации использования в учебном процессе и научно-исследовательской деятельности.

Программный продукт подготовлен кандидатом технических наук, учебным мастером кафедры техническая эксплуатация транспорта автомобильного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Лимаренко Николаем Владимировичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой техническая эксплуатация транспорта автомобильного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Успенским Иваном Алексеевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры техническая эксплуатация транспорта автомобильного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Юхиным Иваном Александровичем, студентом Донского государственного технического университета Мотуз Николаем Сергеевичем.

ПОСТАНОВИЛИ:

Рекомендовать к использованию в учебном процессе программный продукт «Цифровизированная smart система эффективной энерго-экологической утилизации органических отходов животноводства (Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021663928 РФ)» предназначенный для аспирантов, магистрантов, бакалавров, обучающихся по направлениям 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии), Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение, Электрические станции и подстанции), подготовленный кандидатом технических наук, учебным мастером кафедры техническая эксплуатация транспорта автомобильного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Лимаренко Николаем Владимировичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой техническая эксплуатация транспорта автомобильного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Успенским Иваном Алексеевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры техническая эксплуатация транспорта автомобильного факультета Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева Юхиным Иваном Александровичем, студентом Донского государственного технического университета Мотуз Николаем Сергеевичем

ГОЛОСОВАНИЕ – ЕДИНОГЛАСНО.

Заместитель председателя
Методического совета

Секретарь Методического совета



Ю.В. Якунин

Е. В. Стишкова



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И
РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОРДОВСКИЙ ИНСТИТУТ ПЕРЕПОДГОТОВКИ КАДРОВ АГРОБИЗНЕСА»
ФГБОУ МИПКА

Адрес: 430904, Республика Мордовия,
г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Пионерская, 33

факс: (8-8342) 25-37-40
☎ 25-37-40; 25-37-35
e-mail:

№ ____ от « ____ » _____ 2021 г.

На № ____ от « ____ » _____ 2021 г.

СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс

**федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
дополнительного профессионального образования «Мордовский институт
переподготовки кадров для агробизнеса»
результатов научно-исследовательской работы**

Результаты научно-исследовательской работы коллектива авторов: доктора технических наук, профессора Бoryчева С.Н., доктора технических наук, профессора Успенского И.А., доктора технических наук, доцента Юхина И.А., кандидата технических наук Лимаренко Н.В. и др. направленные на повышение эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза используются в учебном процессе ФГБОУ ДПО «Мордовский институт переподготовки кадров для агробизнеса» при подготовке слушателей по следующим программам профессиональной переподготовки и повышения квалификации специалистов сельскохозяйственных предприятий:

- «Организация и функционирование крестьянских (фермерских) хозяйств» (свыше 250 час.);
- «Организация воспроизводства сельскохозяйственных животных» (свыше 500 час.);
- «Менеджмент» (свыше 500 час.);
- «Экономика и управление АПК в условиях цифровой трансформации» (свыше 250 час.);
- «Оптимизация инженерной службы для инновационного развития предприятий АПК (72 час.);
- «Совершенствование работы инженерной службы Управления по надзору за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Мордовия» - (72 час.);

Результаты научно-исследовательской работы, используемые в учебном процессе ФГБОУ ДПО Мордовский институт переподготовки кадров для агробизнеса:

2. Бoryчев, С.Н. Моделирование влияние влажности бесподстилочного навоза на уровень его санитарно-эпидемиологической нагрузки / С.Н. Бoryчев, Н.В. Лимаренко, Е.А. Ракул, И.А. Успенский, И.А. Юхин // Вестник Рязанского агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань. – 2021. – №. 2. – С. 79-87.

4. Свид. о гос. рег. пр. ЭВМ 2021663928 РФ. Цифровизированная смарт система эффективной энерго-экологической утилизации органических отходов животноводства / Н.В. Лимаренко, И.А. Успенский, Н.С. Мотуз, И.А. Юхин // № 2021663928. Оpubл. 26.08.2021.

6. Byshov, N.V. Ecological and technological criteria for the efficient utilization of liquid manure / N.V. Byshov, I.A. Uspensky, I.A. Yukhin, N.V. Limarenko // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. DOI:10.1088/1755-1315/422/1/012069.

7. Бoryчев, С.Н. Экосистема утилизации органических отходов животноводства / С.Н. Бoryчев, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко // Вестник Рязанского агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань. – 2020. – № 4. – С. 83-91.

Проректор по учебной и научной работе
ФГБОУ ДПО Мордовский институт
переподготовки кадров для агробизнеса,
доктор биол. наук, доцент

В.И. Ерофеев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021661091

**Система выбора оптимального энерго-экологического
направления утилизации отходов животноводства**

Правообладатель: *Общество с ограниченной
ответственностью Малое инновационное предприятие
"ЭНЕРГООРГАНИК" (RU)*

Авторы: *Лимаренко Николай Владимирович (RU),
Успенский Иван Алексеевич (RU), Мотуз Николай
Сергеевич (RU), Юхин Иван Александрович (RU)*



Заявка № 2021618611

Дата поступления 07 июня 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 06 июля 2021 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021663928

**Цифровизированная смарт система эффективной
энерго-экологической утилизации органических отходов
животноводства**

Правообладатель: *Общество с ограниченной
ответственностью Малое инновационное предприятие
"ЭНЕРГООРГАНИК" (RU)*

Авторы: *Лимаренко Николай Владимирович (RU),
Успенский Иван Алексеевич (RU), Мотуз Николай
Сергеевич (RU), Юхин Иван Александрович (RU)*

Заявка № 2021663119

Дата поступления 16 августа 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 26 августа 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021664736

«ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНДУКТОРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)*

Авторы: *Бышов Николай Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Успенский Иван Алексеевич (RU), Юхин Иван Александрович (RU), Лимаренко Николай Владимирович (RU), Безносюк Роман Владимирович (RU), Воробьев Денис Александрович (RU), Мотуз Николай Сергеевич (RU)*

Заявка № 2021663991

Дата поступления 06 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 13 сентября 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021664791

«Система автоматизированной оценки уровня экологической нагрузки животноводческих предприятий»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)*

Авторы: *Бышов Николай Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Успенский Иван Алексеевич (RU), Юхин Иван Александрович (RU), Лимаренко Николай Владимирович (RU), Безносюк Роман Владимирович (RU), Воробьев Денис Александрович (RU), Мотуз Николай Сергеевич (RU)*

Заявка № 2021664036

Дата поступления 06 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 14 сентября 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021664838

«ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)*

Авторы: *Бышов Николай Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Успенский Иван Алексеевич (RU), Юхин Иван Александрович (RU), Лимаренко Николай Владимирович (RU), Безносюк Роман Владимирович (RU), Воробьев Денис Александрович (RU), Мотуз Николай Сергеевич (RU)*

Заявка № 2021663964

Дата поступления 06 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 14 сентября 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021664999

«СЕДИМЕНТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)*

Авторы: *Бышов Николай Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Успенский Иван Алексеевич (RU), Юхин Иван Александрович (RU), Лимаренко Николай Владимирович (RU), Безносюк Роман Владимирович (RU), Воробьев Денис Александрович (RU), Мотуз Николай Сергеевич (RU), Кодацкий Никита Максимович (RU)*



Заявка № 2021663986

Дата поступления 06 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 16 сентября 2021 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019616853

**Определение оптимальных параметров операции
обеззараживания отходов агропромышленного комплекса
«Optimum agriculture system v. 1.0»**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Донской
государственный технический университет» (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Лимаренко Николай Владимирович (RU), Дьяченко
Никита Владимирович (RU), Акушуев Рамазан Тахирович (RU),
Отакулов Артур Собиорович (RU)*



Заявка № 2019615340

Дата поступления 13 мая 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 30 мая 2019 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Измаилов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2726309

СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА В БИООРГАНИЧЕСКОЕ УДОБРЕНИЕ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет", (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Серпокрылов Николай Сергеевич (RU), Лимаренко Николай Владимирович (RU), Успенский Иван Алексеевич (RU), Юхин Иван Александрович (RU), Чаткин Михаил Николаевич (RU)*

Заявка № 2020108045

Приоритет изобретения 25 февраля 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 13 июля 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 25 февраля 2040 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2680073

Способ обеззараживания жидких сред

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет", (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Жаров Виктор Павлович (RU), Шаповал Борис Григорьевич (RU), Лимаренко Николай Владимирович (RU)*

Заявка № 2018113501

Приоритет изобретения 13 апреля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 14 февраля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 13 апреля 2038 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2668906

Индуктор с замкнутым перемещением рабочих тел

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет", (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Лаврентьев Анатолий Александрович (RU), Ананченко Людмила Николаевна (RU), Лимаренко Николай Владимирович (RU)*

Заявка № 2018106113

Приоритет изобретения 19 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 04 октября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 19 февраля 2038 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 171681

Устройство для удержания ферромагнитных частиц в рабочей зоне индуктора при работе с жидкими средами

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Месхи Бесик Чохоевич (RU), Жаров Виктор Павлович (RU), Шаповал Борис Григорьевич (RU), Лимаренко Николай Владимирович (RU)*

Заявка № 2016147751

Приоритет полезной модели 07 декабря 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 09 июня 2017 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 07 декабря 2026 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение Е – Заключённые договоры на выполнение НИР

С1-80529
0063200

Договор (Соглашение) №3822ГС1/63200 о предоставлении гранта на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

г. Москва

19 декабря 2020 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям), далее именуемое Фонд, в лице заместителя генерального директора Микитяся Андрея Владимировича, действующего на основании доверенности от 01.03.2020 г., с одной стороны, и ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ МАЛОЕ ИННОВАЦИОННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "ЭНЕРГООРГАНИК" (ООО МИП "ЭНЕРГООРГАНИК"), именуемое в дальнейшем "Грантополучатель", в лице генерального директора Лимаренко Николая Владимировича, действующего на основании Устава, с другой стороны, заключили настоящий Договор (Соглашение), именуемый в дальнейшем соглашение, о нижеследующем:

1. Предмет Соглашения.

1.1 Фонд выделяет Грантополучателю денежные средства (далее – грант) на условиях, указанных в настоящем соглашении, на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по теме: "Разработка прототипа энергоэффективной и экологически безопасной системы утилизации бесподстильного навоза." (Проект № 63200, заявка С1-80529 в рамках реализации инновационного проекта "Энергоэффективная и экологически безопасная система утилизации бесподстильного навоза").

1.2. Основанием для заключения соглашения на выполнение данной НИОКР является Протокол заседания дирекции Фонда содействия инновациям №7 от 23 октября 2020 г.

1.3. Исполнение соглашения осуществляется за счет бюджетных ассигнований в виде субсидий, предоставляемых из средств Федерального бюджета, на основании Федерального закона Российской Федерации о федеральном бюджете на соответствующий финансовый год.

1.4. Целевое назначение гранта – грант используется на финансовое обеспечение расходов, связанных с выполнением НИОКР в рамках реализации инновационного проекта. Предусмотренные соглашением работы выполняются Грантополучателем в соответствии с техническим заданием и календарным планом, являющимися неотъемлемой частью настоящего соглашения.

1.5. Грантополучатель обязуется в сроки, указанные в календарном плане, выполнить НИОКР и представить Фонду документы, подтверждающие выполнение вышеуказанных работ и целевое использование средств гранта.

Содержание и сроки выполнения основных этапов НИОКР определяются календарным планом работ, являющимся неотъемлемой частью настоящего соглашения.

2. Размер гранта и порядок расчетов.

2.1. Общая сумма Гранта составляет: 2 000 000 (два миллиона) рублей 00 копеек в том числе:

2020 год – 1 000 000 (один миллион) рублей 00 копеек

2021 год – 1 000 000 (один миллион) рублей 00 копеек

Первый платеж по соглашению равен стоимости первого этапа и составляет – 1 000 000 (один миллион) рублей 00 копеек.



В случае отказа Грантополучателя от исполнения принятых на себя по настоящему соглашению обязательств по выполнению НИОКР перечисленные денежные средства должны быть возвращены Фонду в месячный срок с момента сообщения об отказе от исполнения НИОКР на основании Соглашения о расторжении Договора (Соглашения) о предоставлении гранта.

2.2. Для финансового обеспечения последующих этапов НИОКР, Фонд предоставляет Грантополучателю денежные средства при условии выполнения соответствующего этапа НИОКР в соответствии с календарным планом, являющимся неотъемлемой частью соглашения, и подписания сторонами Акта о выполнении этапа НИОКР.

Перечисление гранта осуществляется на расчетный счет Грантополучателя в кредитной организации

2.3. Средства, полученные от Фонда, в соответствии с подпунктом 14 пункта 1 статьи 251 части второй Налогового кодекса Российской Федерации и п.4.1. настоящего соглашения, являются средствами целевого финансирования и используются Грантополучателем на выполнение НИОКР. Фонд не оплачивает понесенные Грантополучателем затраты, превышающие фактически полученные от Фонда денежные средства.

2.4. Расходы, предусмотренные настоящим соглашением, оплачиваются из средств Фонда, сформированных за счет бюджетных ассигнований в виде субсидий, предоставляемых из средств Федерального бюджета, на основании Федерального закона Российской Федерации о федеральном бюджете на соответствующий финансовый год.

2.5. В соответствии со ст. 146 части второй Налогового кодекса Российской Федерации, поскольку в результате выполнения НИОКР не происходит передача права собственности на результаты НИОКР, то выполнение НИОКР по соглашению не является объектом налогообложения НДС.

2.6. В соответствии с подпунктом 14 пункта 1 статьи 251 части второй Налогового кодекса Российской Федерации гранты, полученные из Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере на выполнение НИОКР, являются средствами целевого финансирования и не включаются в налогооблагаемую базу для исчисления и уплаты налога на прибыль.

При этом Грантополучатель обязан вести отдельный учет доходов (расходов), полученных (произведенных) в рамках настоящего соглашения.

2.7. Стоимость НИОКР может быть снижена по соглашению сторон без изменения предусмотренного соглашением объема работ и иных условий исполнения соглашения.

3. Права и обязанности сторон

3.1. Грантополучатель обязан:

- качественно и в срок выполнить НИОКР;
- своевременно представлять Фонду отчеты о выполненных этапах работ и НИОКР в целом в соответствии со сроками, указанными в календарном плане выполнения НИОКР; отчеты о произведенных расходах; документы, подтверждающие совершение им всех действий, необходимых для признания за ним и получения прав на результаты интеллектуальной деятельности (РИД);
- обеспечить целевое использование полученных средств на финансовое обеспечение НИОКР за счет субсидий, предоставляемых Фонду из средств Федерального бюджета.
- обеспечить достижение плановых показателей реализации инновационного проекта, утвержденных в приложении к соглашению.

3.1.1. Грантополучатель несет ответственность за целевое использование гранта и достоверность отчетных данных.

В случае отсутствия отчета по очередному этапу работ Фонд прекращает оплату работ.

При нецелевом использовании денежных средств, Фонд вправе потребовать от Грантополучателя возврата гранта в объеме нецелевого использования.

3.1.2. В случае невыполнения Грантополучателем очередного этапа работ, а также при отсутствии отчета за все выполненные к моменту прекращения действия соглашения работы, Фонд вправе потребовать от Грантополучателя возврата гранта в объеме фактически перечисленных средств по соглашению.

3.2. Фонд и/или уполномоченное Фондом лицо (организация) вправе проводить проверки хода выполнения работ и целевого использования гранта по настоящему соглашению.

Фонд осуществляет контроль за ходом выполнения работ и целевым использованием гранта.

Грантополучатель обязуется предоставлять по запросу необходимую документацию, относящуюся к работам и расходам по настоящему соглашению, в том числе первичные бухгалтерские документы, подтверждающие расходование средств гранта, и создать необходимые условия для беспрепятственного осуществления проверок целевого расходования средств гранта и выполнения иных условий соглашения.

3.3. Грантополучатель обязуется в случае нарушения по его вине сроков завершения очередного этапа работ – незамедлительно проинформировать об этом Фонд.

3.4. Грантополучатель обязуется в случае невозможности получить ожидаемые результаты и/или выявления нецелесообразности продолжения работ – незамедлительно проинформировать об этом Фонд и представить финансовый отчет о фактически произведенных затратах и отчет о выполненных НИОКР.

3.5. Соглашение может быть прекращено досрочно по взаимному соглашению сторон или решению суда по основаниям, предусмотренным гражданским законодательством.

3.6. Фонд может прекратить действие соглашения в одностороннем порядке и прекратить предоставление средств гранта в случае существенного нарушения Грантополучателем условий соглашения:

отсутствия отчетов о выполненных работах и произведенных расходах по очередному этапу работ; при выявлении невозможности достижения Грантополучателем результатов, предусмотренных проектом и/или по причине нецелесообразности дальнейшего продолжения работ, нецелевого использования средств гранта, а также нарушения Грантополучателем других принятых на себя обязательств по соглашению.

3.7. При уменьшении соответствующими государственными органами в установленном порядке бюджетных субсидий Фонду, стороны согласовывают новые сроки, а если необходимо, и другие условия выполнения НИОКР.

3.8. Грантополучатель обязуется незамедлительно в письменной форме извещать Фонд об изменении юридического или почтового адреса, правового статуса, банковских реквизитов, телефонов, факсов, назначении нового руководителя предприятия и других изменениях.

3.9. В соответствии с «Положением о единой государственной системе учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2013 г. N 327, Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 31 марта 2016 г. № 341 и приказом генерального директора Фонда «Об утверждении регламентов работы с формами направления сведений о научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работах

гражданского назначения в целях их учета в ЕГИСУ НИОКР» от 31.10.2017 № 22-165 (далее – Приказ) Грантополучатель обязан:

3.9.1. В 30-дневный срок с даты начала НИОКР заполнить в электронном виде на сайте www.rosrid.ru и направить Форму направления сведений о начинаемой научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работе (далее - РК) в федеральное государственное автономное научное учреждение «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти» (далее - ФГАНУ ЦИТиС), а также не позднее 50 календарных дней с даты начала НИОКР представить РК с присвоенным ФГАНУ ЦИТиС регистрационным номером в электронном виде в автоматизированной системе «Фонд-М» (далее – АС).

3.9.2. В 30-дневный срок с даты окончания НИОКР (ее этапа) и сдачи отчета в Фонд, заполнить в электронном виде на сайте www.rosrid.ru направить формы направления реферативно-библиографических сведений о результатах НИОКР по утвержденной Приказом форме (далее - ИКРБС) в ФГАНУ ЦИТиС с приложением отчета.

ИКРБС заполняется и направляется на регистрацию в ФГАНУ ЦИТиС по окончании каждого этапа работы с приложением отчета.

Грантополучатель обязан в 30-дневный срок с момента завершения НИОКР представить итоговую ИКРБС с присвоенным ФГАНУ ЦИТиС регистрационным номером в электронном виде в АС.

3.9.3. По достижении запланированного результата интеллектуальной деятельности (далее – РИД), подать заявку в Федеральную службу по интеллектуальной собственности (далее - ФИПС) на оформление интеллектуальной собственности, а также заполнить на сайте www.rosrid.ru и направить в электронном виде в ФГАНУ ЦИТиС форму направления сведений о созданном (ых) РИД (далее – ИКР):

в 15-дневный срок с даты получения из ФИПС «уведомления о поступлении заявки» на выдачу патента на изобретение, полезную модель, промышленный образец, селекционное достижение;

в 15-дневный срок с даты подачи заявки на государственную регистрацию базы данных, топологии интегральных микросхем, программы для электронно-вычислительных машин.

Направление ИКР во ФГАНУ ЦИТиС производится Грантополучателем только после подтверждения Фондом соответствия сведений о созданном (ых) РИД условиям соглашения.

Полный перечень инструкций и регламентов по работе в ЕГИСУ и ИС Фонд-М по оформлению информационных карт размещен на сайте Фонда <http://www.fasie.ru/programs/programma-start/#otchetnost>

Грантополучатель обязан до окончания соглашения представить ИКР с присвоенным ФГАНУ ЦИТиС регистрационным номером в электронном виде в АС.

3.9.4. В 15-дневный срок с даты получения из ФИПС свидетельства (патента) о государственной регистрации или отказа в регистрации РИД, созданного (ых) в результате выполнения НИОКР, заполнить в электронном виде на сайте www.rosrid.ru и направить в электронном виде в ФГАНУ ЦИТиС Форму направления сведений о состоянии правовой охраны результата интеллектуальной деятельности (далее - ИКСПО) с приложением соответствующих документов, установленных Приказом.

Направление ИКСПО во ФГАНУ ЦИТиС производится Грантополучателем только после подтверждения Фондом соответствия сведений о состоянии правовой охраны РИД условиям соглашения.

Грантополучатель обязан предоставить ИКСПО с присвоенным ФГАНУ ЦИТиС регистрационным номером в Фонд не позднее 20 календарных дней с даты присвоения указанного регистрационного номера в электронном виде в АС.

ИКСПО оформляется Грантополучателем в обязательном порядке, даже в случае получения патента/свидетельства после окончания действия соглашения.

3.9.5. В 15-дневный срок с даты начала использования Грантополучателем зарегистрированного РИД в производстве, заполнить в электронном виде на сайте www.gosrid.ru и направить в электронном виде в ФГАНУ ЦИТиС Форму направления сведений об использовании результата интеллектуальной деятельности (далее - ИКСИ) с приложением соответствующих документов, установленных Приказом.

Направление ИКСИ во ФГАНУ ЦИТиС производится Грантополучателем только после подтверждения Фондом соответствия сведений об использовании РИД условиям соглашения.

Грантополучатель обязан предоставить ИКСИ с присвоенным ФГАНУ ЦИТиС регистрационным номером в Фонд не позднее 20 календарных дней с даты присвоения указанного регистрационного номера в электронном виде в АС.

ИКСИ оформляется Грантополучателем в обязательном порядке, в период действия соглашения, либо в течение 5 лет после окончания действия соглашения.

3.10. В течение всего срока действия соглашения, а также в течение 5 лет после выполнения работ по настоящему соглашению Грантополучатель ежегодно в срок до 15 апреля предоставляет Фонду информацию о показателях реализации инновационного проекта (по показателям «среднесписочная численность сотрудников» и «количество высокопроизводительных рабочих мест» срок предоставления отчетности – ежегодно до 15 января) в электронном виде в АС.

В случае существенного невыполнения Грантополучателем плановых показателей реализации инновационного проекта Фонд может прекратить или уменьшить финансирование по проекту, а также потребовать от Грантополучателя возврата средств гранта и известить Федеральную налоговую службу о нецелевом использовании средств гранта.

Кроме того, по запросу Фонда или уполномоченного Фондом лица Грантополучатель дополнительно предоставляет информацию о введении объектов, полученных за счет средств Фонда, в хозяйственный оборот.

3.11. Грантополучатель обязуется не приобретать за счет средств гранта и (или) внебюджетных средств товары и услуги, стоимость которых превышает среднерыночную стоимость аналогичных товаров и услуг в регионе осуществления инновационного проекта.

3.12. Грантополучатель обязуется не заключать сделки на приобретение за счет средств гранта и (или) внебюджетных средств товаров и услуг у аффилированных компаний.

4. Права сторон на результаты НИОКР, полученные при выполнении настоящего соглашения.

4.1. Исключительные права на результаты интеллектуальной деятельности (РИД) (право на изобретение, полезную модель или промышленный образец, селекционные достижения, топологии интегральных микросхем, программы для электронно-вычислительных машин, базы данных и секреты производства (ноу-хау)), полученные при выполнении настоящего соглашения, определяются в соответствии с Частью четвертой Гражданского Кодекса Российской Федерации и Главой 38 Части второй Гражданского Кодекса Российской Федерации и принадлежат Грантополучателю.

Не допускается подача заявки на получение патента/свидетельства на изобретение, полезную модель или промышленный образец, селекционные достижения, топологии интегральных микросхем, программы для электронно-вычислительных машин, базы данных и секреты производства (ноу-хау), созданные при выполнении работ по соглашению от имени физических лиц, а также включение в состав

правообладателей юридических и физических лиц, не являющихся Грантополучателем и Исполнителем по соглашению.

4.2. Грантополучатель в процессе выполнения соглашения обязан принимать предусмотренные законодательством Российской Федерации меры для признания за ним и получения прав на результаты интеллектуальной деятельности (РИД) - подавать заявки на выдачу патентов, на государственную регистрацию результатов интеллектуальной деятельности, вводить в отношении соответствующей информации режим сохранения тайны и принимать иные подобные меры.

При этом Грантополучатель ведет отдельный учет затрат на создание интеллектуальной собственности за счет всех источников финансирования и отражает права на результаты, полученные при выполнении работ по проекту за счет всех источников финансирования, в составе нематериальных активов предприятия в соответствии с законодательством Российской Федерации о бухгалтерском учете.

4.3. Грантополучатель обязан осуществлять практическое применение (внедрение) результатов интеллектуальной деятельности, вести работу, направленную на вовлечение результатов НИОКР в хозяйственный оборот (осуществление практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности):

4.4. В соответствии с «Положением о единой государственной системе учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2013 г. № 327, Грантополучатель обязан представлять Фонду (в электронном виде), по утвержденным Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 31 марта 2016 г. № 341 формам учетных документов, сведения о созданных в процессе выполнения НИОКР результатах интеллектуальной деятельности (РИД).

4.5. Сведения, касающиеся результатов работ по соглашению, договорную и отчетную документацию Фонд представляет по запросам в уполномоченные государственные органы контроля и надзора, направляет на экспертизу, использует при составлении отчетности, публикует на официальных государственных сайтах и в электронных системах.

5. Порядок приемки выполненных работ

5.1. Предоставление Грантополучателем отчетной документации о выполнении НИОКР осуществляется в соответствии с требованиями технического задания и календарного плана, являющимися неотъемлемой частью настоящего соглашения, на основании отчетных материалов.

Допустимые направления расходов средств гранта и предельные ограничения по каждому направлению (смета) представлены в приложении к Договору (Соглашению). Требования к расходованию средств гранта и подготовке финансовой отчетности представлены в приложении к Договору (Соглашению) и на сайте Фонда по адресу <http://fasie.ru/>.

5.2. После окончания выполнения работ (этапа работ) Грантополучатель представляет Фонду подписанные со своей стороны Акт о выполнении НИОКР (очередного этапа НИОКР), Отчет о целевом использовании средств гранта, научно-технический отчет о выполненных НИОКР (по очередному этапу НИОКР), отчет о расходах, произведенных при выполнении этапов НИОКР в соответствии с утвержденной сметой, ИКР, ИКСПО (при ее наличии на дату предоставления отчетных документов), ИКСИ (при ее наличии на дату предоставления отчетных документов), зарегистрированные в установленном порядке в ЕГИСУ НИОКР, а также другие сведения, относящиеся к реализации проекта.

Отчетная документация оформляется в соответствии с требованиями Фонда и подписывается усовершенствованной усиленной квалифицированной электронной

подписью со стороны Грантополучателя в электронной системе. Отчетная документация представляется Фонду в электронной системе, в том числе Информационные карты, зарегистрированные в ЦИТИС – РК, ИКРБС, ИКР, ИКСПО и ИКСИ.

5.3. Представленный Грантополучателем отчет о выполнении НИОКР направляется Фондом на экспертизу для оценки полноты и качества выполненных работ и соответствия их требованиям соглашения. Для проверки соответствия качества выполняемых работ требованиям, установленным настоящим соглашением, Фонд вправе привлекать независимых экспертов.

5.4. Заключительный отчет по НИОКР принимается только после представления Грантополучателем в АС документов, подтверждающих совершение им действий, необходимых для признания за ним и получения прав на результаты интеллектуальной деятельности (РИД) – ИКР с присвоенным ФГАНУ ЦИТИС регистрационным номером.

5.5. В случае мотивированного отказа Фонда от приемки работ по соглашению (этапу НИОКР), Фонд размещает перечень необходимых доработок и исправлений с указанием сроков для их осуществления в АС.

5.6. На основании представленных документов стороны подписывают двухсторонний Акт о выполнении НИОКР (очередного этапа НИОКР) и Отчет о целевом использовании средств гранта. Датой выполнения НИОКР по соглашению (очередного этапа НИОКР) считается дата подписания Фондом Акта о выполнении НИОКР (очередного этапа НИОКР).

6. Особые условия

6.1. Изменения и дополнения к настоящему соглашению оформляются дополнительными соглашениями между Фондом и Грантополучателем.

6.2. Грантополучатель обязан разместить на своем Интернет-сайте информацию о реализации инновационного проекта с указанием, что работа проводится при финансовой поддержке Фонда. В случае опубликования в средствах массовой информации, размещения в Интернете материалов о результатах, полученных в ходе реализации инновационного проекта, и демонстрации их на выставочно-ярмарочных мероприятиях Грантополучатель обязан указать, что работа проводилась при финансовой поддержке Фонда.

6.3. Все условия соглашения являются существенными, и при нарушении любого пункта Фонд может требовать расторжения соглашения.

7. Ответственность сторон и порядок разрешения споров

7.1. За невыполнение или ненадлежащее выполнение обязательств по настоящему соглашению стороны несут ответственность в соответствии с действующим законодательством.

7.2. Лицо, подписавшее соглашение, имеет на это право в соответствии с уставными документами предприятия и несет ответственность в соответствии с действующим законодательством.

7.3. При несоблюдении предусмотренных настоящим соглашением сроков выполнения этапов и сроков предоставления отчетности Грантополучатель обязуется уплатить Фонду неустойку в размере одной трехсотой действующей на день уплаты неустойки ключевой ставки Центрального банка Российской Федерации от стоимости дебиторской задолженности по договору гранта за каждый день просрочки. Порядок начисления и взыскания неустойки определяется соответствующим регламентом, утверждаемым Грантодателем.

7.4. Уплата неустойки не освобождает стороны от обязательства по настоящему соглашению.

7.5. Споры, связанные с исполнением настоящего соглашения, разрешаются сторонами путем переговоров. Неурегулированные споры передаются на разрешение в Арбитражный суд города Москвы.

8. Обстоятельства непреодолимой силы

8.1. Обстоятельствами непреодолимой силы, делающими невозможным надлежащее исполнение обязательств по настоящему соглашению, считаются обстоятельства, принимаемые как таковые действующим законодательством Российской Федерации. В этих случаях действие соглашения приостанавливается на срок сохранения таких обстоятельств без специального оповещения сторон.

9. Срок действия соглашения

9.1 Срок действия соглашения устанавливается с 19 декабря 2020 г. до исполнения сторонами своих обязательств.

Настоящее соглашение составлено и заключено в форме электронного документа и подписано усиленными квалифицированными электронными подписями Сторон, в порядке, предусмотренном Федеральным законом от 06.04.2011 года № 63-ФЗ «Об электронной подписи».

Приложения к Договору (Соглашению):

1. Техническое задание на выполнение НИОКР.
2. Календарный план выполнения НИОКР .
3. Показатели реализации инновационного проекта.
4. Допустимые направления расходов средств гранта (смета) с перечнем прочих общехозяйственных расходов.
5. Требования к расходованию средств гранта.
6. Требования к подготовке финансовой отчетности.

Техническое задание

на выполнение НИОКР по теме: “Разработка прототипа энергоэффективной и экологически безопасной системы утилизации бесподстильного навоза.”

Заявка № C1-80529

1-й этап проекта 63200

1. Наименование НИОКР: “Разработка прототипа энергоэффективной и экологически безопасной системы утилизации бесподстильного навоза.”

2. Цель выполнения НИОКР:

Разработать прототип энергоэффективной и экологически безопасной системы утилизации бесподстильного навоза.

Научно-техническими проблемами на решение которых направлена данная НИОКР являются:

- высокая антропогенная нагрузка создаваемая свежим бесподстильным навозом при не эффективном его обеззараживании;
- отсутствие эффективных в экологическом и энергетическом плане способов обеззараживания бесподстильного навоза максимально сохраняющих его биогенные свойства.

3. Назначение научно-технического продукта (изделия и т.п.):

Первой категорией потенциальных потребителей являются фермерские хозяйства различной производственной мощности, результатом деятельности которых является образование энергетически потенциальных органических отходов, представляющих опасность с санитарно-эпидемиологической точки зрения. Второй категорией потенциальных потребителей являются фермерские хозяйства, деятельность которых требует экологизированной переоснастки операционных воздействий утилизационных циклов уже имеющихся производств, что ставит задачу оказания им услуг по экологическому проектированию и эколого-энергетической оптимизации операционных воздействий, результаты деятельности которых не удовлетворяют принятым нормативным документам.

4. Технические требования к научно-техническому продукту (изделию и т.п.).

4.1. Основные технические параметры, определяющие количественные, качественные и функциональные характеристики продукции:

Функциями аппаратной части является подавление патогенных организмов, а программной определение оптимальных режимных параметров прототипа обеспечивающих максимальный санитарно-эпидемиологический эффект при минимальных энергозатратах.

Количественными параметрами функционирования прототипа энергоэффективной и экологически безопасной системы утилизации бесподстильного навоза, характеризующими уровень экологической безопасности и энергетической эффективности, являются:

- максимальный санитарно-эпидемиологический эффект, определяющий безопасность материала и выражаемый: числом колониеобразующих единиц (КОЕ) общих колиформных бактерий (шт.) не более 100 шт., числом КОЕ блуждающеобразующих единиц (шт.) не более 100 шт., числом КОЕ термотолерантных колиформных бактерий (шт.) не более 100 шт., числом КОЕ фекальных стрептококков (шт.) не более 100 шт.

Входными воздействиями поступающими в прототип энергоэффективной и экологически безопасной системы утилизации бесподстильного навоза являются подача бесподстильного навоза в активатор и определение влажности

бесподстилочного навоза от 92 до 99%.

Выходными реакциями разработанного прототипа энергоэффективной и экологически безопасной системы утилизации бесподстилочного навоза является экологически безопасное жидкое органическое удобрение, при минимальных энергетических затратах за счёт использования разработанного программного комплекса.

4.2. Требования по патентной охране:

В ходе выполнения работы должны быть проведены мероприятия, обеспечивающие защиту прав предприятия на интеллектуальную собственность в соответствии с частью четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации.

4.3. Конструктивные требования:

Разрабатываемая энергоэффективная и экологически безопасная система утилизации свиного бесподстилочного навоза будет состоять из прототипа активатора обеззараживания сопровождаемого программным комплексом позволяющим определять его оптимальные режимные параметры активатора в зависимости от физических свойств подаваемого материала.

Структурными элементами разрабатываемой системы будут являться две составляющие: программная и аппаратная.

Аппаратная будет представлять собой прототип активатора, интенсифицирующий физико-химические процессы при утилизации свиного бесподстилочного навоза.

Требованиями предъявляемыми к функциональной части прототипа активатора будет обеспечение уровня магнитной индукции в рабочей зоне более 40 мТл, наличие питающей сети 3-х фазного напряжения 380 В, промышленной частоты, обеспечение условий, защищающих аппаратную часть от атмосферных воздействий.

Массогабаритные характеристики разрабатываемого активатора будут отличаться в зависимости от производительности (минимальная масса активатора при производительности 30 м/куб/час - 40...65 кг., габариты (без учёта станины): В 200...280 мм; Ш: 200...280 мм; Д: 350...500 мм).

Условиями эффективной и безопасной эксплуатации активатора будут являться обеспечение защиты от атмосферных воздействий, наличие устойчивой станины, наличие заземляющих устройств в соответствии с ГОСТ Р 58882-2020.

Требованиями предъявляемыми к программной части программного комплекса будут:

- защита от отказов;
- структурное резервирование;
- функциональное резервирование;
- защита от программных сбоев;
- автоматическое восстановление функциональных свойств после отказа;
- защита от несанкционированного доступа;
- масштабируемость.

Системными требованиями при этом представляют операционную системы Windows 7 (или выше); процессор — с тактовой частотой 2 ГГц и выше;

ОЗУ — 2 Гб для 32 или 4Б для 64-разрядного процессора; место на жестком диске — 2 Гб, разрядность — 32 и 64 бита.

5. Перечень основных категорий комплектующих и материалов (входящих в состав разрабатываемого продукта (изделия) или используемых в процессе его разработки и изготовления):

6. Планируемые стоимостные характеристики разрабатываемой продукции:

По итогам Старт1 реализация не предусмотрена.

Плановая стоимость системы в зависимости от запросов потребителя будет включать несколько линеек продуктов:

- консультационные услуги по вопросам оценки экологической нагрузки создаваемой

- отходами животноводства / вопросы экологического проектирования (от 6 500 руб.);
- продажа программной части системы (годовая лицензия и поддержка обновлениями - 25 000 руб.);
 - продажа аппаратной части системы (в зависимости от производительности от 450 000 руб.);
 - продажа программного-аппаратной части системы (в зависимости от производительности от 500 000 руб.)
7. Отчетность по НИОКР (перечень технической документации, разрабатываемой в процессе выполнения НИОКР):
- научно-технические отчеты;
- Инструкция по эксплуатации
- протоколы испытаний продукции.
8. Сроки проведения НИОКР: 12 месяцев.

Приложение Ж – Дипломы и сертификаты





