На правах рукописи

БРЮХАНОВ Александр Юрьевич

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА, ПОМЕТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт - Петербург – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства» (ИАЭП).

Научный консультант:	**Попов Владимир Дмитриевич** доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, научный руководитель ИАЭП
Официальные оппоненты:	**Ковалев Николай Георгиевич** доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель»
	Хмыров Виктор Дмитриевич доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры технологических процессов и техносферной безопасности ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет
	Малаков Юрий Федорович доктор технических наук, доцент
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации животноводства»

Защита состоится «24» января 2017 г. в 13 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 220.060.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» по адресу: 196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, (ФГБОУ ВО СПбГАУ, 2-й учебный корпус, ауд. 2.719).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Автореферат разослан «17» октября 2016 г.
Автореферат размещен на сайтах: http://vak2.ed.gov.ru, http://spbgau.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета доктор технических наук, профессор **Смирнов Василий Тимофеевич**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время основным путем развития животноводства является переход на интенсивные технологии, обеспечивающие экономическую и энергетическую эффективность. В то же время интенсификация отрасли приводит к увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Главным источником риска являются процессы, связанные с утилизацией навоза и помета. Проведенные исследования показали, что потенциальный риск ущерба окружающей среде при утилизации навоза, помета составляет более 85% от общего риска ущерба окружающей среде от сельскохозяйственного производства Северо-Западного федерального округа (СЗФО). Угрозу представляют потери биогенных элементов в окружающую среду, прежде всего азота и фосфора, которые составляют около 35 тыс. тонн в год по азоту (N) и около 4,5 тыс. тонн в год по фосфору (P). В результате происходит загрязнение окружающей среды, а растениеводство теряет ценнейший ресурс для поддержания плодородия почвы и питания растений.

В условиях нехватки питательных элементов в растениеводстве основным направлением утилизации навоза, помета является его переработка и использование в качестве органических удобрений. Однако для выбора экономически и экологически обоснованного решения не представляется возможным рекомендовать единую унифицированную технологию утилизации при многообразии машинных технологий, вариантов их механизированного оснащения и хозяйственных условий.

Поэтому разработка метода формирования машинных технологий утилизации навоза, помета, адаптированных к условиям конкретных хозяйств и обеспечивающих повышение эффективности и экологической безопасности животноводческих предприятий как важнейшая научная, социально-экономическая и хозяйственная проблема, является, безусловно, актуальной.

Сущность проблемы. Интенсивные технологии производства, большая концентрация поголовья скота, свиней и птицы, изменение физико-химических свойств навоза, помета привели к увеличению техногенной нагрузки на окружающую среду и повышенной потере ценных питательных веществ (N и P) при утилизации навоза, помета. Сложившаяся ситуация требует разработки новых методов проектирования и обоснования критериев оценки технологий утилизации навоза, помета, учитывающих условия работы животноводческого предприятия и обеспечивающих максимальную сохранность питательных элементов при экономически обоснованных затратах.

Научная гипотеза. Повышение экономической эффективности и обеспечение экологической безопасности животноводческих предприятий может быть достигнуто путем формирования технологий утилизации навоза, помета из имеющихся способов и технических средств, позволяющих при минимальных экономических затратах обеспечить максимальную сохранность азота в органических удобрениях.

Цель исследования. Разработка метода проектирования машинных технологий утилизации навоза, помета, учитывающих условия производства и обеспечивающих повышение экономической эффективности и экологической безопасности животноводческих предприятий.

Объект исследования. Технологии и технические средства утилизации навоза, помета и их воздействие на окружающую среду.

Предмет исследования. Методы формирования и выбора эффективных технологий и технических средств с учетом условий производства, зависимости влияния отдельных факторов на сохранность азота при утилизации навоза, помета различной влажности, оценка эффективности технологий и их вариантов в зависимости от условий применения.

Методы исследований. При выполнении диссертационного исследования использовались как стандартные, так и частные, впервые разработанные методики исследования с обработкой данных на персональном компьютере. Использованы ряд методов: метод декомпозиции для функционально-структурного анализа технологий утилизации навоза, помета; логико-лингвистический метод для оценки сохранности азота при утилизации навоза, помета в зависимости от действующих факторов; метод итераций для отбора рекомендуемых технологий и метод Парето для определения оптимальных решений. Обработка полученных данных велась с использованием программных пакетов STATGRAPHICS® Centurion XV, Microsoft Office Excel 2013 и AutoCad-2015.

Научная новизна:

- предложен комбинированный метод проектирования технологий утилизации навоза, помета, для условий конкретного сельхозпредприятия;
- обоснованы критерии оценки технологий утилизации навоза, помета, позволяющие определять экономически эффективные и экологически безопасные технологии;
- разработана методика и математические модели оценки сохранности азота для различных технологий утилизации навоза, помета на базе логико-лингвистического метода;
- получены зависимости влияния технологических факторов на сохранность азота при утилизации навоза, помета различной влажности;
- разработаны методика и алгоритм определения конструкционных параметров и режимов работы технических систем, необходимых для экологически безопасной утилизации навоза, помета с минимальными потерями азота;
- определены прогнозные значения величины снижения негативного воздействия на окружающую среду при внедрении запроектированных технологий утилизации навоза, помета на уровне региона;

- разработаны онлайн экспертная система (программа ЭВМ), базы данных и технические решения, позволяющие формировать машинные технологии утилизации навоза, помета на основе принципа наилучших доступных технологий. Новизна разработок подтверждена 4 свидетельствами на программы ЭВМ и базы данных и 16 патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Практическую значимость представляют:

- онлайн экспертная система, программы ЭВМ и базы данных для проектирования технологий утилизации навоза, помета (Программы ЭВМ № 2010612118, №2016611106; Базы данных № 2012620162, №2016620127);

- варианты технологий и технические средства, обеспечивающие экономически эффективную и экологически безопасную утилизацию навоза, помета, для различных условий производства, новизна которых подтверждена патентами № 132681, 139469, 146604, 145378, 155841, 88665, 2466117, 155478, 2583308 и др.;

- рекомендации по разработке технологических регламентов экологически безопасной утилизации навоза, помета;

- математическая модель транспортировки органических удобрений с учетом эколого-экономического критерия.

Полученные знания использованы в учебном процессе при подготовке специалистов агроинженерного и агроэкологического профиля.

Реализация результатов работы.

Результаты исследований:

- включены в работу, выполненную по заказу комитета по Агропромышленному и рыбохозяйственному комплексу Ленинградской области «Разработка системы оценочных социально-эколого-технологических критериев, позволяющих решать вопросы обоснованного размещения производительных сил с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду отходов жизнедеятельности животноводческих предприятий Ленинградской области в соответствии с требованиями Российского и международного законодательства» по Государственному контракту № 24/12 от 10 апреля 2012 г.;

- использованы Министерством природных ресурсов и экологии Калининградской области при разработке «Плана управления навозом, пометом на территории Калининградской области»;

- использованы при разработке технологических регламентов переработки и использования навоза, помета в ЗАО «Торосово», ЗАО «Агрокомплекс «Оредеж», ООО «Рассвет плюс ЮГ» а также более чем для 30 хозяйств Ленинградской, Калининградской, Московской, Ярославской, Томской и др. областей РФ;

- включены в рекомендации Хельсинской комиссии для внедрения на российской части водосборного бассейна Балтийского моря для выполнения международного плана действий по защите Балтийского моря.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на более чем 120-ти мероприятиях, основные из них:

- Научная конференция профессорско-преподавательского состава и аспирантов Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, г. Санкт-Петербург-Пушкин в 2006 – 2015 годах;
- Международная научно - практическая конференция Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации животноводства», Москва-Подольск, в 2008-2016 годах;
- 7-я Международная научно-практическая конференция «Экология и сельскохозяйственные технологии: агроинженерные решения» в ГНУ СЗНИИМЭСХ, Санкт-Петербург, 2011 год;
- Международный агроэкологический форум «Экологические аспекты производства продукции животноводства; снижение отрицательного воздействия химически активного азота на окружающую среду в сельскохозяйственном производстве» в ГНУ СЗНИИМЭСХ 2013 год.
- Международный экологический форум «День Балтийского моря», Санкт-Петербург, в 2009-2016 годах;
- Международная конференция «Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза», Варшава, 23-24 сентября 2014;
- VI Международный форум «Продовольственная безопасность» 21-23 мая 2015 года, г. Великий Новгород;
- Международный экологический форум XXXVI CIOSTA &CIGR SECTION V Conference 2015. ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AGRICULTURE AND FORESTRY FOR FUTURE GENERATIONS. 26-28 May, 2015 Saint-Petersburg – Russia;
- XIX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM, 2016, Санкт-Петербург, 25-27 мая 2016. ЛЭТИ.

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, неоднократно отмечались на выставках и конкурсах:

- Диплом «Лучшая завершенная разработка 2011 года» (Президиум Российской академии сельскохозяйственных наук);
- Золотые медали выставки «Агрорусь» 2011-2014, 2016 г.г.;
- Почетная грамота Российской академии сельскохозяйственных наук, 2013 г.;
- Диплом и золотая медаль всероссийской выставки «Золотая осень 2013».

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 105 научных работ, в том числе 16 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 6 в зарубежных изданиях и 6 рекомендаций производству, 4 авторских свидетельства, 6 патентов на изобретение и 10 патентов на полезную модель.

Основные положения, выносимые на защиту по специальности 05.20.01:

- комбинированный метод проектирования технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающих повышение экономической эффективности и экологической безопасности животноводческих предприятий;

- критерии оценки технологий утилизации навоза, помета, позволяющие определять уровень эколого-экономической эффективности и соответствие категории наилучших доступных технологий;

- методика и математические модели оценки сохранности азота и зависимости влияния факторов на сохранность азота, учитывающие количественные и качественные показатели применяемых технологий утилизации навоза, помета различной влажности;

- экспертная система формирования и выбора эффективных технологий утилизации навоза, помета для условий конкретного сельхозпредприятия;

- результаты внедрения метода проектирования технологий утилизации навоза, помета на примере сельскохозяйственных предприятий.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, библиографического списка и приложений. Общий объем работы 440 страниц из них 372 основного текста, в том числе 128 рисунков, 60 таблиц, 7 приложений и список литературы из 199 наименований.

Содержание работы

Введение содержит краткое изложение проблемы в данной области, сущность и актуальность выполненной работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние проблемы, цель и задачи исследований» обосновано, что экономическая эффективность и обеспечение экологической безопасности технологий утилизации навоза, помета являются одними из основных факторов, влияющих на функционирование и развитие интенсивного животноводства. В результате анализа установлено, что основным индикатором экологической безопасности машинных технологий утилизации навоза, помета является сохранность азота в процессе утилизации.

Большой вклад в решение проблемы повышения эффективности и экологической безопасности технологий и технических средств по утилизации навоза, помета внесли такие организации как ВИМ, ВНИИМЖ, ВНИИМЗ, ВНИПТИОУ, СЗНИИМЭСХ, ВНИИСХМ, ВИЭСХ, ВНИТИП, Костромская ГСХА, МичГАУ, Донской ГАУ, JTI (Швеция), Luke (Финляндия) RIVM, Alterra (Нидерланды), KTBL (Германия) и др.

Основные положения теоретических основ технологических процессов переработки навоза, помета рассмотрены в трудах таких ученых как Архипченко И.А., Афанасьев А.В., Афанасьев В.Н., Бондаренко А.Н., Гриднев П.И., Калюга В.В., Ковалев Н.Г., Киров Ю.А., Максимов Д.А., Малаков Ю.Ф., Миронов В.В., Мишуров Н.П., Найденко В.К., Хмыров В.Д., Щеткин Б.И., и др. ученых.

Повышению эффективности использования органических удобрений на основе навоза, помета посвящены работы Еськова А.И., Иванова А.И., Ковалева Н.Г., Личмана Г.И., Лукина С.М., Марченко Н.М. Мерзлой Г.Е., Орловой О.В., Суханова П.А., J. Galloway, O. Oenema, M. Sutton, W. Winiwarter, B. Amon, T. Misselbrook, T. Dalgaard, N. Hutchings и других.

Вопросами принятия решений на основе математических моделей посвящена многочисленная литература, в том числе работы ученых Аганбегяна А.Г., Бондаренко А.М., Бровцина В.Н., Валге А.М., Канторовича Л.В., Моисеева Н.Н., Попова В.Д., Поспелова Г.С., Спесивцева А.В., Федоренко Н.П., Юдина Д.Б. и др.

Анализ литературных источников показал, что наряду с основательными исследованиями конкретных технологий и технических средств утилизации навоза, помета, недостаточно сведений о методах и критериях проектирования технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающих снижение негативного воздействие на окружающую среду. Традиционные методы изучения и формализации сложных объектов и процессов, при которых основное внимание уделялось качественному и количественному описанию свойств объектов и составляющих их частей, не позволяют строить модели, отображающие связи объектов с показателями, отражающими уровень экологической безопасности.

В связи с этим, целью работы является разработка метода проектирования машинных технологий утилизации навоза, помета, учитывающих условия конкретных хозяйств и обеспечивающих повышение экономической эффективности и экологической безопасности животноводческих предприятий.

Для решения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Провести анализ машинных технологий и технических средств утилизации навоза, помета и их влияние на окружающую среду;
2. Обосновать критерии оценки при проектировании эффективных технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающих экономическую эффективность и снижение негативного воздействия на окружающую среду;
3. Разработать методику и математические модели оценки сохранности азота для различных технологий утилизации навоза, помета и влияющих технологических факторов;
4. Разработать комбинированный метод проектирования технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающих повышение экономической эффективности и экологической безопасности;
5. Создать экспертную систему проектирования эффективных технологий утилизации навоза, помета, адаптированных к условиям конкретного сельхозпредприятия по обоснованным критериям;
6. Разработать математическую модель транспортировки органических удобрений с учетом эколого-экономического критерия;

7. Апробировать метод проектирования технологий утилизации навоза, помета и оценить его эффективность.

Во второй главе «Технологии переработки навоза, помета и использования органических удобрений» выполнен функционально-структурный анализ технологий утилизации навоза, помета, на основе которого определена блочно-иерархическая схема проектирования технологий. С учетом природно-климатических и производственных условий сельхозпредприятий СЗФО наиболее подробно рассмотрены 12 технологий утилизации навоза, помета с получением твердых и жидких органических удобрений (ТОУ и ЖОУ). При этом каждая технология имеет минимум 10 вариантов технического оснащения.

Основным фактором при выборе технологии является влажность исходного навоза, помета. Учитывая это факт и анализ выше представленных технологий, общий порядок формирования технологии утилизации навоза, помета можно представить в виде структурной схемы, представленной на рисунке 1.

Функционально-структурный анализ технологий утилизации навоза, помета показал, что их выполнение обеспечивается набором технологических операций, общее число которых составляет 52 операции. Каждая технология имеет свои преимущества и недостатки, а себестоимость утилизации навоза, помета варьируется в диапазоне от 180 до 4000 руб/т. Широкий выбор технических средств и вариантов конструкций сооружений требует адаптации технологии в каждом конкретном случае с учетом условий конкретного сельхозпредприятия. При этом отсутствие формализованных методов оценивания экологической безопасности не позволяет в полной мере использовать существующие методы проектирования механизированных технологий.

В третьей главе «Теоретическое обоснование методов проектирования технологий утилизации навоза, помета» разработана математическая модель проектирования технологий утилизации навоза, помета с учетом условий их применения, закономерностей протекания отдельных процессов и операций, а так же условий получения конечного продукта, характеризующих экологическую безопасность технологии.

Научная основа формирования технологий – метод проектирования технологий и технических средств, имеющих наибольшую эффективность в заданных условиях, основанных на иерархии математических моделей, адекватно описывающий проектируемый процесс, позволяющий с помощью современных вычислительных средств совместить процессы постановки и решения задачи.

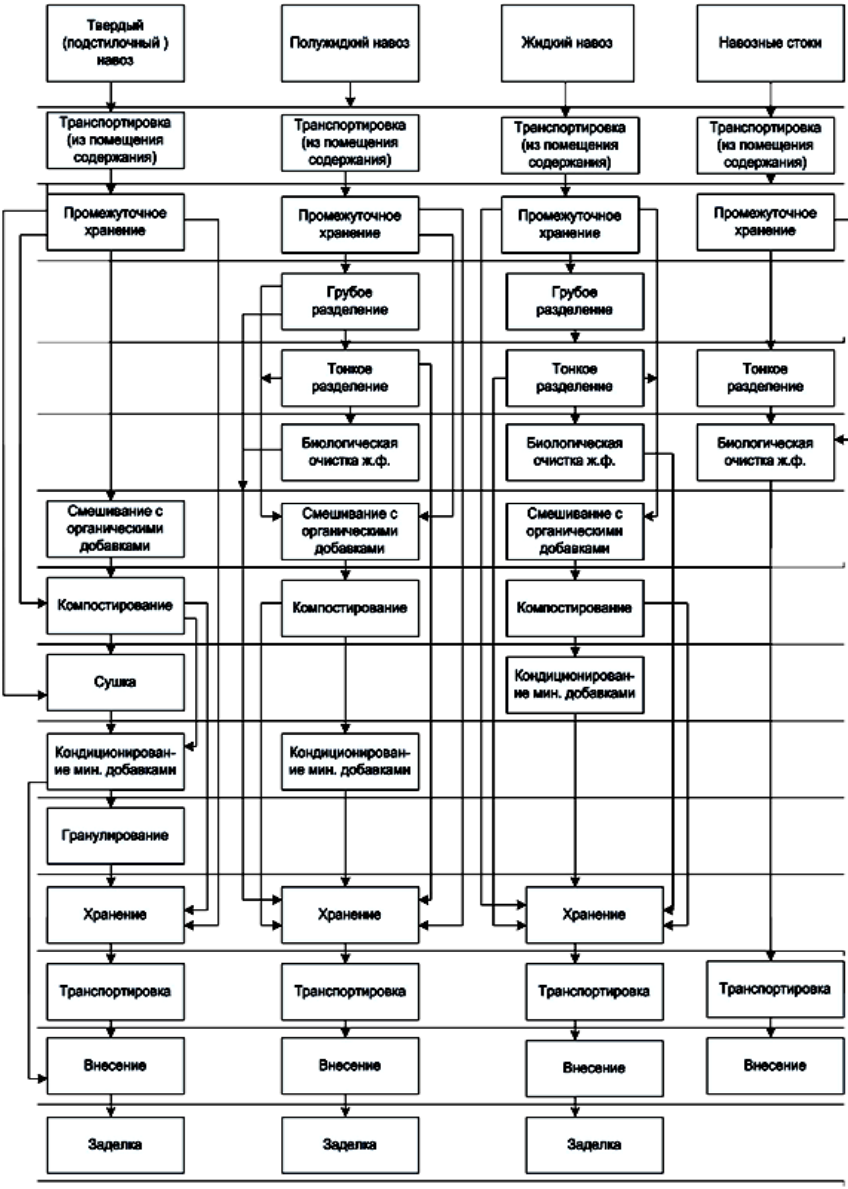

Рисунок 1 - Структурная схема формирования технологии утилизации навоза, помета

При формализованном описании системы утилизации навоза, помета с получением органических удобрений исходили из того, что задача исследования технологий может быть представлена как двухточечная задача, формируемая следующим образом: необходимо перевести систему из некоторого начального состояния Хо в конечное состояние Хт за временной интервал Т при воздействиях на вектор управления. Модель получения органических удобрений в общем виде представлена на рисунке 2.

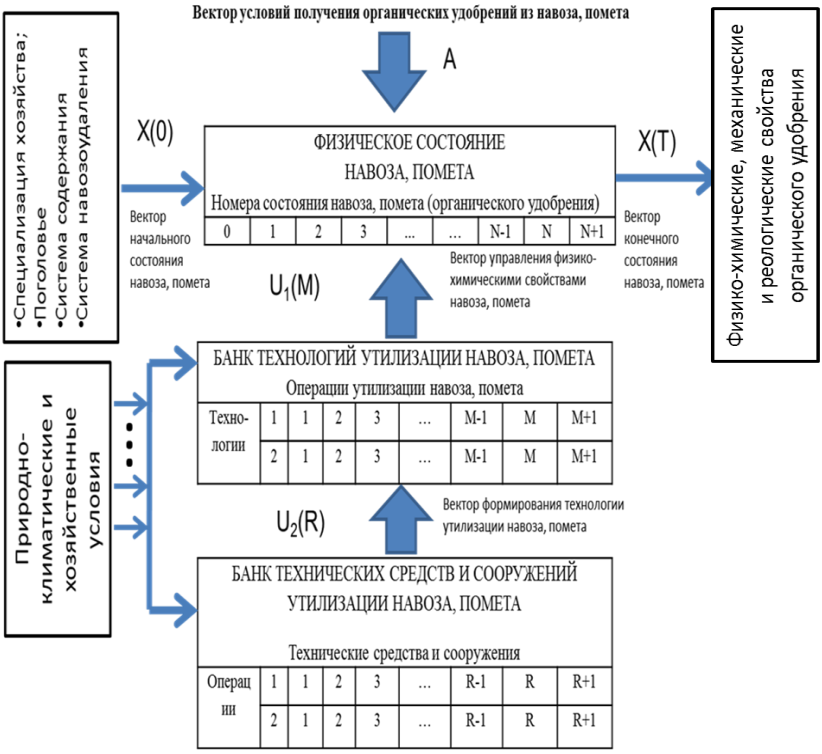

Рисунок 2 - Модель получения органических удобрений в общем виде

Вектор состояния навоза, помета развивается как в пространстве определяющих его координат, так и во временном интервале, обусловленном происходящим при утилизации биохимическими процессами. В качестве основных составляющих вектора состояния системы приняты физико-химические показатели при изменении состояний вектора из x_i в x_{i+1}.

Система переходит из состояния x_i, в состояние x_{i+j} под воздействием управления $U_1(i,j)$, где i – номер технологии, j – номер операции в технологии. Вектор управления U_1 состоит из множества технологий M, которыми определяется как вид органического удобрения, так и основные его показатели на конце временного интервала и завершающей операции N вектора X_T.

Каждая из технологий состоит из множества операций, для выполнения которых используются различные технические средства (множества U_2). Составом технических средств определяется выбранная технология утилизации навоза, помета и вид органического удобрения.

Реальные производственные процессы протекают в конкретных условиях, обусловленных влиянием множества факторов, основными из которых являются факторы, влияющие на протекание биохимических процессов в перерабатываемом навозе, помете и готовых органических удобрениях. В предложенной модели вектор условий получения органических удобрений из навоза, помета А воздействует на вектор состояния навоза помета Х. Вектор условий состоит из множества детерминированных и случайных составляющих. Характер их воздействия в существенной мере зависит от условий конкретного производства и системы содержания животных.

В общем виде математическая модель утилизации навоза, помета и получения органических удобрений может быть записана в виде соотношения (1):

$$X_t = A_M X_0 + F_1 [U_1 = F_2(U_2)A] \quad (1)$$

где F_1, F_2 – векторы управления состоянием навоза, помета; U_1 – технология как вектор управления состоянием навоза, помета; U_2 – технические средства как вектор управления состояния навоза, помета; А – вектор условий получения органических удобрений из навоза, помета; X_0 – начальное значение вектора состояния навоза, помета; X_T – конечное значение вектора состояния навоза, помета в момент времени Т; Т – временной интервал утилизации навоза, помета; A_M – матрица вектора постоянных или переменных значений факторов, влияющих на условия получения органических удобрений.

Процесс утилизации навоза, помета является сложной многопараметрической системой, модель функционирования которой имеет многоступенчатую структуру, включающую в себя модели отдельных процессов и явлений и их взаимосвязей и учитывающую условия получения органических удобрений. В предложенной модели основным показателем качества принят показатель сохранности азота, который характеризует количество азота в одной тонне готового органического удобрения относительно содержания азота в исходном навозе, помете.

Факторы, влияющие на сохранность азота в процессе утилизации навоза, помета, показаны в виде информационной модели на рисунке 3.

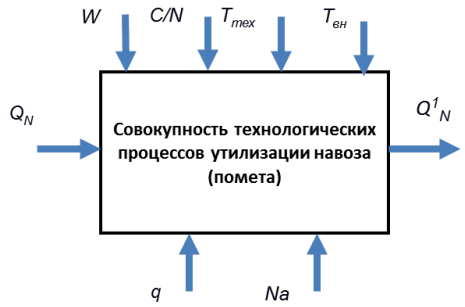

Рисунок 3 - Информационная модель влияния факторов на сохранность азота

Q^1_N – количество N, доведенного до растения;
Q_N– количество N в свежем навозе (помете);
W – влажность навоза;
C/N – соотношение углерода к азоту в исходном навозе, помете;
T тех – интенсивность технологии (время переработки, температурный режим, количество технологических операций);
T вн – технология внесения (количество технологических операций, время от момента распределения удобрений до заделки в почву);
q – качество выполнения технологических операций;
Na – природно-климатические условия.

Управление всеми факторами и их сочетанием (за исключением *Na)* должны обеспечить $Q^1_N \rightarrow max$.

С учетом современных требований к проектированию наилучших доступных технологий (НДТ) были обоснованы критерии оценки технологий утилизации навоза, помета.

Критерий экономической эффективности внедрения НДТ утилизации навоза, помета определяется по формуле:

$$E_{НДТ} = \frac{Z^{n+1}_{экс}}{L^n - L^{n+1}}, \quad (2)$$

где $E_{НДТ}$ – экономическая эффективность внедрения НДТ, тыс. руб./т в год;
$Z^{n+1}_{экс}$ – эксплуатационные затраты сравниваемой технологии с базовой, тыс. руб./год;
L^n – эмиссия азота при выполнении базовой технологии, т/год;
L^{n+1} – эмиссий азота при выполнении сравниваемой технологии с базовой, т/год.

Для комплексной оценки технологий наряду с $E_{НДТ}$ предложено использовать обобщенный критерий $З_{Кэкб}$ выражающий удельные капитальные и эксплуатационные затраты на сохранение азота, величина которого определяется по формуле:

$$З_{Кэкб} = \frac{З^{К}_{уд} + З^{Э}_{уд}}{К_{экб}} \quad (3)$$

где $З_{Кэкб}$ - приведенные затраты на утилизацию 1 тонны навоза, помета с учетом сохранности азота, руб/т;

$З^{К}_{уд}$, $З^{Э}_{уд}$ - удельные капитальные и эксплуатационные затраты на 1 т произведенных и внесенных органических удобрений, руб/т.;

$К_{экб}$ – коэффициент сохранности азота технологий утилизации навоза, помета;

$$К_{экб} = \frac{Q^{1}_{N}}{Q_{N}} \quad (4)$$

где

Q^{1}_{N} – количество азота, внесенного с органическими удобрениями, т;

Q_{N} - количество азота в свежем навозе, помете (исходной смеси до переработки), т.

Для полноценной эколого-экономической оценки технологий утилизации навоза, помета необходимо учитывать критерий $Э_{эф}$, отражающий эколого-экономическую эффективность, которая определяется экономическим эффектом от снижения негативного воздействия на окружающую среду и дополнительным доходом от использования органических удобрений и получаемых энергетических ресурсов.

$$Э_{эф} = П_{ур} + Э_{эн} + Э \quad (5)$$

где $Э_{эф}$ – эколого-экономический эффект при внедрении технологии переработки навоза, помета и использования органических удобрений, руб;

$П_{ур}$ – доход от реализации прибавки урожая при использовании органических удобрений, руб;

$Э_{эн}$ – доход от реализации или экономическая выгода от использования дополнительных энергетических ресурсов (в результате переработки био- или генераторного газа);

Э – экологический эффект от снижения негативного воздействия на окружающую среду, руб;

Получение значений коэффициента сохранности азота технологий утилизации навоза, помета $К_{экб}$ экспериментальным путем является чрезвычайно сложной задачей ввиду высокой стоимости проведения экспериментальных исследования, отсутствия методов формализации, априорной неопределенности процессов, явлений и взаимодействий, протекающих в процессе утилизации навоза, помета. Для решения задачи оценки сохранности азота и получения значений $К_{экб}$ в работе применен метод Спесивцева-Дроздова, основанный на формализации экспертных знаний при построении логико-лингвистических моделей для нечетких многомерных систем.

Проведенный анализ показал принципиальное различие между процессами, протекающими при переработке жидкого и твѐрдого навоза, помета, поэтому было принято решение о построении двух отдельных моделей Y_1 и Y_2 для расчѐта показателя сохранности азота при переработке отходов влажностью более 92 % и не более 92 % соответственно.

На основании информационной модели (рис. 3) был обоснован следующий перечень факторов, влияющих на целевой показатель: X_1 – уровень сохранности азота на этапе переработки, %; X_2 – уровень сохранности азота на этапе хранения, %; X_3 – уровень сохранности азота на этапе внесения в почву как удобрения, %; X_4– влажность (содержание воды) перерабатываемого материала, %; X_5– соотношение азота к углероду в перерабатываемом материале, б/р; X_6 – качество работы персонала.

Факторное пространство выбрано с учетом системного подхода к изучаемому явлению по всей технологической цепочке - от качества используемого сырья до способа внесения произведенного удобрения в почву. Так, переменные X_4 и X_5 характеризуют сырье (входные параметры), X_1 и X_2 – технологию переработки и хранения, X_3 – технологию внесения готового продукта в почву, а X_6 – внешний действующий фактор влияния на всю технологическую цепочку по переработке отходов животноводства в целом.

Для зависимых переменных Y_1 и Y_2 – степени сохранности азота по всей технологической цепочке от поступления сырья до внесения удобрений (%) и каждой переменной факторного пространства были разработаны индивидуальные оппозиционные шкалы, необходимые для сопоставления лингвистической шкалы (верх оси ординат) в числовую (низ оси ординат) и еѐ стандартизованный вид в интервале [-1,+1] для использования в опросной матрице и последующей обработки методами теории планирования эксперимента (рисунок 4).

Лингвистическая шкала содержит следующие значения:

Н – низкий уровень сохранности; НС – уровень сохранности ниже среднего; С – средний уровень сохранности; ВС – уровень сохранности выше среднего; В – высокий уровень сохранности.

На рисунке 4 представлена шкала для зависимых переменных целевых функций Y_1 и Y_2. Минимальные значения сохранности азота составляют 25 % и 19 % соответствуют лингвистическому значению “Н” (низкий уровень сохранности).

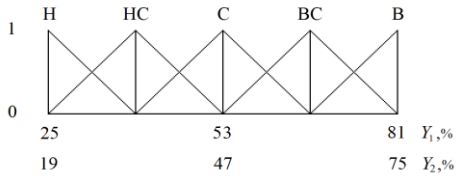

Рисунок 4 – Шкала для целевых функцийY_1 и Y_2.

Максимальные значения составляют 81 % и 75 % соответствуют лингвистическому значению “В” (высокий уровень). Аналогичные шкалы были сформированы и для независимых переменных (факторных переменных).

На рисунке 5 представлена шкала для факторной переменной X_1 при переработке твѐрдых/полужидких отходов. Данная переменная отражает уровень сохранности, зависящий от технологии переработки. Для формализации все рассматриваемые технологии были расположены

экспертами в соответствии с присущим им уровнем сохранности азота: 1 – технология, наименее способствующая сохранности азота, 5 – технология, наиболее благоприятная для сохранности азота.

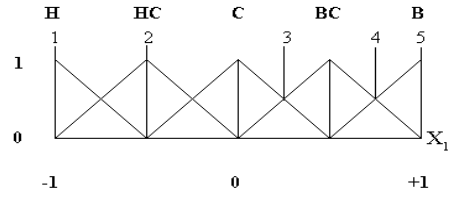

Рисунок 5 - Шкала лингвистической переменной X_1

Шкала показана для следующих технологий:

1. Переработка путѐм длительного выдерживания.
2. Пассивное компостирование
3. Активное компостирование
4. Переработка в биореакторе камерного типа;
5. Переработка в биореакторе барабанного типа.

На рисунке 6 изображена оппозиционная шкала для факторной переменной X_2 (фактор зависимости от способа хранения). Факторное пространство описано аналогично пространству X_1, все способы расположены экспертами в соответствии с присущими им уровнями сохранности азота: 1 – способ, наименее способствующий сохранности азота, 4 – способ, наиболее благоприятный для сохранности азота.

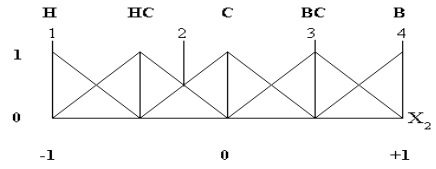

Рисунок 6 - Шкала лингвистической переменной X_2

Способ хранения:

1. На полевых площадках.
2. На гидроизолированных площадках.
3. На гидроизолированных площадках с укрывными материалами (торф, опилки и др.)
4. На крытых гидроизолированных площадках.

Аналогичным образом была получена оппозиционная шкала для факторной переменной X_3 (фактор способа внесения в почву в виде удобрения), изображѐнная на рисунке 7.

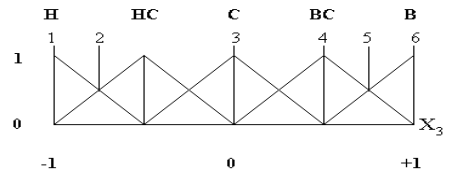

Рисунок 7 - Шкала лингвистической переменной X_3

Способы внесения органического удобрения в почву:

1. Разбрасывание с запашкой более, чем через сутки или без запашки.
2. Разбрасывание с запашкой не более, чем через сутки;
3. Разбрасывание с запашкой не более, чем через 4 часа;
4. Разбрасывание с одновременной культивацией.
5. Разбрасывание с одновременной запашкой;
6. Внесение с запашкой (с переворотом пласта).

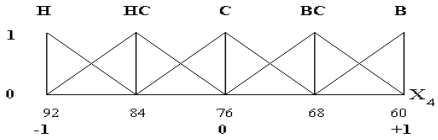

Рисунок 8 - Шкала лингвистической переменной X_4

На рисунке 8 приведена шкала факторной переменной X_4 (влажность перерабатываемого материала, %) для твѐрдых и полужидких отходов. По мнению экспертов - чем выше влажность отходов, тем выше потери азота.

Фактор соотношения C:N в исходном материале формализован шкалой на рисунке 9 – по мнению экспертов низкое соотношение (10…15) приводит к меньшей сохранности азота, а наибольшая сохранность достигается при значении 30.

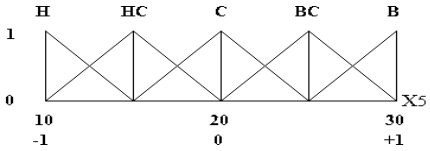

Рисунок 9 - Шкала лингвистической переменной X_5

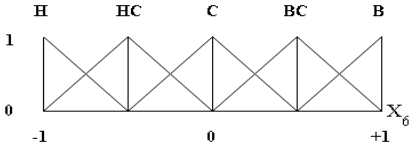

Рисунок 10 - Шкала лингвистической переменной X_6

На рисунке 10 показана шкала для фактора качества работы персонала.

В соответствии с оппозиционной шкалой для Y_1 и Y_2 лингвистические значения были преобразованы в численные. По результатам обработки экспертных оценок по специальной опросной таблице были получены два полиномиальных выражения:

$$Y_1 = 54{,}75 + 7{,}44\times X_1 + 3{,}5\times X_2 + 5{,}69\times X_3 + 1{,}75\times X_4 + 4{,}81\times X_5 + 3{,}06\times X_6 - 3{,}94\times X_1\times X_4 + 1{,}31\times X_2\times X_3 + 1{,}75\times X_2\times X_4 - 4{,}81\times X_2\times X_5 + 2{,}19\times X_2\times X_6 + 1{,}75\times X_5\times X_6 + 1{,}75\times X_1\times X_2\times X_6 - 2{,}19\times X_1\times X_3\times X_6 + 1{,}75\times X_2\times X_3\times X_5 \quad (6)$$

$$Y_2 = 48{,}31 + 5{,}69\times X_1 + 3{,}5\times X_2 + 6{,}56\times X_3 + 1{,}75\times X_4 + 1{,}75\times X_5 + 1{,}75\times X_6 - 1{,}75\times X_1\times X_2 + 2{,}63\times X_2\times X_3 - 3{,}06\times X_2\times X_5 + 2{,}63\times X_3\times X_4 + 1{,}31\times X_1\times X_2\times X_4 - 2{,}19\times X_1\times X_2\times X_5 + 1{,}31\times X_1\times X_2\times X_6 + 2{,}63\times X_1\times X_3\times X_4 + 3{,}06\times X_2\times X_3\times X_4 \quad (7)$$

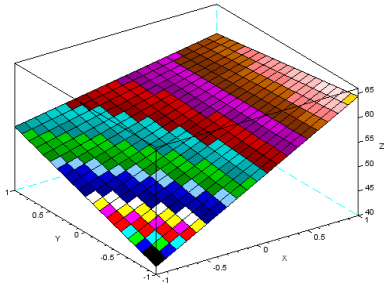

Рисунок 11 – Зависимость сохранности от выбранной технологии переработки и влажности исходного материала

На рисунке 11 показан результат численного эксперимента при котором все факторные переменные кроме X_1 и X_4 были зафиксированы на средних значениях. Фактору X_1 соответствует ось x, фактору X_4 – ось y, целевой функции Y_1 – ось z. Поверхность наглядно показывает большую зависимость сохранности (ось Z) от фактора технологии переработки (X_1), чем от влажности исходного материала (X_4).

На рисунке 12 показана численный эксперимент при котором все факторные переменные кроме X_4 и X_5 были зафиксированы на средних значениях. Смысл данного эксперимента заключался в сравнении влияния фактора отношения азота к углероду и

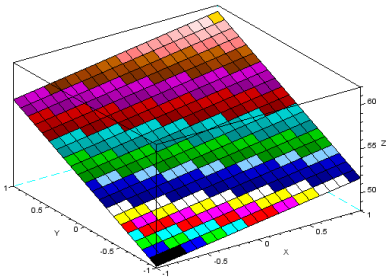

Рисунок 12 - Зависимость сохранности азота от влажности исходного материала и соотношения C:N

фактора влажности исходного материала на сохранность азота. Поверхность наглядно показывает большую зависимость сохранности (ось Z) от фактора соотношения C:N (X_5), чем от влажности исходного материала (X_4).

Полный факторный анализ показывает, что основное влияние на сохранность азота при утилизации жидкого навоза оказывают факторы X_1, X_3, X_5, X_2 и сочетания нелинейных факторов X_2-X_5, X_2 -X_3 и X_1- X_4. При утилизации полужидкого и твердого навоза, помета влажностью менее 92% основное влияние на сохранность азота оказывают факторы X_3, X_1, X_5, X_2 и сочетания нелинейных факторов X_2-X_3, X_2 –X_5 и X_3- X_4

Сравнение расчѐтных и фактических данных сохранности азота на примере технологии компостирования помета по предприятиям Ленинградской области, свидетельствуют о высокой адекватности разработанной модели изучаемому явлению (таблица 1).

Таким образом, совокупность знаний о закономерностях протекания процесса переработки навоза, помета, разработанной методики и полученных моделей оценивания сохранности азота позволяет разработать новые алгоритмы проектирования технологий утилизации навоза, помета для условий конкретных сельхозпредприятий, учитывающих критерии экономической и экологической оценки.

Таблица 1 - Сравнение фактических и полученных с помощью модели значений сохранности азота

Факторы и расчетные показатели		ЗАО "Агрокомплекс Оредеж"	ООО "Русско-Высоцкая птицефабрика"	ООО "Птицефабрика Лебяжье"	Экспериментальные данные ИАЭП
X_1		-0.50	-0.50	-0.50	-0.50
X_2		-0.25	-0.25	-1.00	-0.25
X_3		-0.75	-0.75	-1.00	0.00
X_4		0.69	1.00	0.81	1.00
X_5		-0.50	0.20	0.00	0.00
X_6		0.00	0.00	-0.50	1.00
Сохранность азота, Y_2	Факт. значение, %	**38.40**	**39.76**	**39.10**	**49.71**
	Расчѐт. значение, %	**39.86**	**41.89**	**39.33**	**48.20**

В четвертой главе «Алгоритм и экспертная система проектирования эффективных технологий утилизации навоза, помета для условий конкретного сельхозпредприятия» на основе предложенных методов и системы критериев разработаны алгоритмы для обеспечения функционирования интеллектуальной экспертной системы. На рисунке 13 представлен один из основных алгоритмов интеллектуальной экспертной системы, реализованной при помощи компьютерной программы для решения задач с помощью накапливаемых знаний и получения из них логических выводов.

Для создания экспертной системы был сделан выбор в пользу WEB – программирования. Программа представляет собой информационную систему, состоящую из СУБД (MySQL) и web-интерфейса (реализован на языке программирования PHP). Программа допускает два режима работы. Первый – служебный (подготовительный) – работа с базами данных, характеризующих технологии, операции и технические средства (добавление, редактирование и удаление данных). Второй режим – рабочий (основной) – непосредственно позволяет оценить характеристики использования технологий (технических средств). Разработанная экспертная система позволяет вести расчеты по 12-ти вариантам технологий с вариациями из 52-х операций и более 400 технических средств и сооружений.

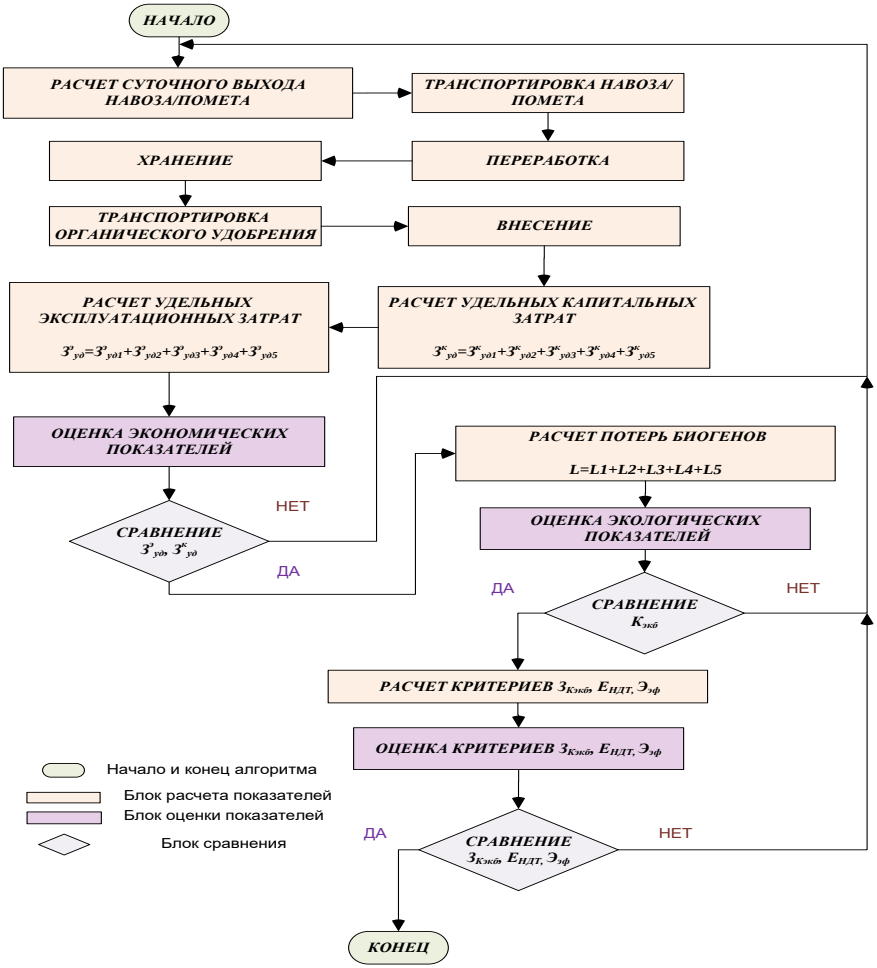

Рисунок 13 - Общая схема алгоритма принятия решений при выборе машинных технологий утилизации навоза, помета.

В пятой главе «Апробация метода проектирования технологий утилизации навоза, помета с помощью экспертной системы» представлены результаты работы экспертной системы проектирования технологий утилизации навоза, помета с обработкой полученных данных методом Парето.

Апробацию экспертной системы проектирования технологий проходили в два этапа:

1. Определение рекомендуемых экспертной системой технологий, оценка их технико-технологических особенностей и эколого-экономических показателей, принятия одной технологии для адаптации к условиям предприятия.

2. Определение возможных вариантов сочетания сооружений и технических средств для реализации технологий, расчет значений заданных критериев и выбор наиболее эффективного решения.

В качестве объектов исследований были выбраны типичные для СЗФО ферма КРС, свиноводческий комплекс и птицефабрика.

Проектирование технологии для фермы КРС

Исходные данные: беспривязная система содержания животных, общее поголовье 2600 голов, влажность навоза 92%, средний радиус транспортировки органических удобрений - 10 км.

На первом этапе для ферм такого типа были рассмотрены следующие технологии:

1. Длительное выдерживание и внесение ЖОУ;
2. Разделение навоза на фракции с последующей переработкой твердой фракции методом компостирования и длительным выдерживанием жидкой фракции и внесением ЖОУ и ТОУ;
3. Разделение навоза на фракции с последующей переработкой твердой фракции методом биоферментации и длительным выдерживанием жидкой фракции и внесением ЖОУ и ТОУ;
4. Анаэробная обработка с генерацией электричества и тепла (биогазовое производство) и внесение ЖОУ и/или ТОУ;

Значения критериев оценки рассмотренных технологий представлены на рисунках 14, 15.

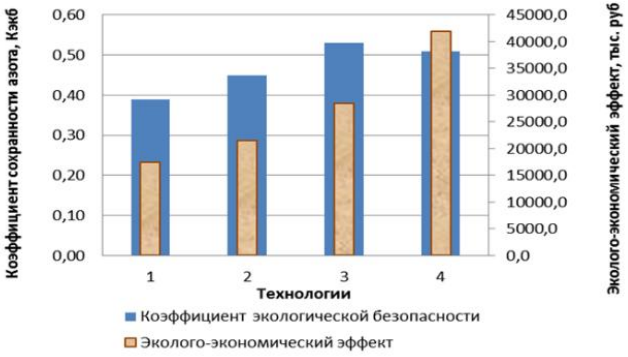

Рисунок 14 Значения коэффициента сохранности азота и эколого-экономического эффекта по технологиям.

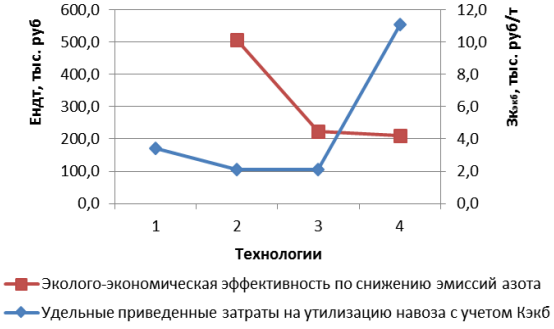

Рисунок 15 - Эколого-экономическая эффективность и удельные приведенные затраты на утилизацию навоза с учетом $К_{экб}$ по технологиям.

На основе полученных значений критериев оценки и учитывая высокие капитальные затраты и не достаточную исследованность технологии анаэробного сбраживания для адаптации технологии и поиска Парето-оптимальных решений принимается ***Технология 3.***

На втором этапе формирования и выбора варианта технологии утилизации навоза проведены исследования 12-ти вариантов выбранной технологии по составу технических средств и сооружений, а также приемов выполнения отдельных технологических операций (таблице 2). За базовый принят 1-й вариант технологии, включающий в себя разделение навоза на фракции винтовым сепаратором FAN PSS-800, хранение жидкой фракции в открытых навозохранилищах пленочного типа общим объемом 40000м3, биоферментацию в биореакторах камерного типа размером 4*10 $м^2$, транспортировку и внесение ЖОУ по прямоточной технологии с внесением разбрызгиванием машинами МЖУ-16+Беларус 2022, для ТОУ МТТ-9+Беларус 1523.

Таблица 2 - Выбор Парето-оптимальных решений (КРС)

Критерий	Ед. измер.	Направление экстре-мума	Варианты Технологии 3											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$З_{Кэкб}$	тыс.руб/т	min	2,13	2,16	2,12	2,64	2,65	2,62	2,06	2,06	2,02	2,54	2,55	2,52
$Э_{эф}$	тыс.руб	max	28428,8	29925,0	34912,5	31421,3	33416,3	38403,8	27431,3	28927,5	33915,0	29925,0	31920,0	37406,3
Ендт	тыс.руб/т	min	-	883,24	275,20	603,18	409,21	208,33	-	1666,08	308,81	854,45	497,36	221,70

Из данных таблицы 2 наглядно видно, что эффективными решениями, обеспечивающими высокие экологические и экономические показатели, являются ***варианты технологии 6 и 12***, предусматривающие использование закрытых пленочных лагун и машин для внесения ЖОУ со шланговыми и инжекторными системами.

Проектирование технологии для птицефабрики

Исходные данные: система содержания птицы в клеточных батареях, общее поголовье 1 млн. голов, влажность помета 68%, дальность транспортировки органических удобрений 50 км. На первом этапе для птицефабрики такого типа рассмотрены следующие технологии:

1. Длительное выдерживание и внесение ТОУ;
2. Пассивное компостирование в буртах и внесение ТОУ;
3. Активное компостирование в буртах и внесение ТОУ;
4. Биоферментация в установках камерного типа и внесение ТОУ;
5. Биоферментации в установках барабанного типа и внесение ТОУ;
6. Термическая сушка помета с последующей грануляцией и внесение ТОУ.

При определении состава технических средств для транспортировки и внесения органических удобрений на первом этапе принималась прямоточная технология с использованием автомобилей типа КАМАЗ 6520-73, как наиболее распространенная в хозяйствах. На рисунках 16, 17 в графическом виде показаны сравнительные характеристики изученных технологий.

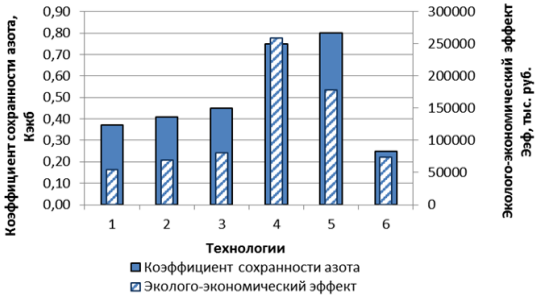

Рисунок 16 - Значения коэффициента экологической безопасности и эколого-экономического эффекта по технологиям.

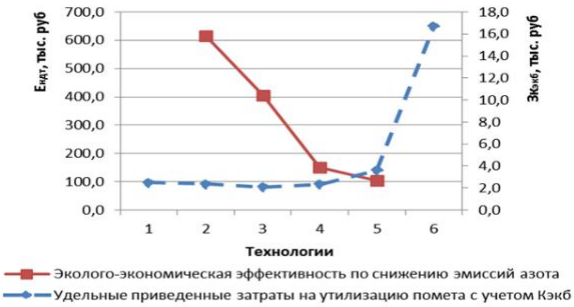

Рисунок 17 - Эколого-экономическая эффективность и удельные приведенные затраты на утилизацию помета с учетом $К_{экб}$ по технологиям.

Анализ рассмотренных технологий выявил, что наилучшими показателями удельных капитальных и эксплуатационных затрат на

утилизацию помета имеют Технология 3 (Активное компостирование в буртах и внесение ТОУ) $З^{К}_{уд}$ =1,03 и $З^{Э}_{уд}$=0,49 тыс. руб/т и Технология 4 (Биоферментация в установках камерного типа и внесение ТОУ) $З^{К}_{уд}$ =1,6 и $З^{Э}_{уд}$=0,57 тыс. руб/т. Удельные приведенные затраты на сохранность азота с учетом коэффициента сохранности азота составляет $З_{Кэкб}$ =2,1 тыс. руб/т для Технологии 3 и $З_{Кэкб}$ =2,4 тыс. руб/т для Технологии 4. На основе полученных показателей критериев оценки для адаптации технологии и поиска Парето-оптимальных решений принимается ***Технология 4.***

На втором этапе спроектированы 6 вариантов выполнения Технологии 4. Для формирования вариантов Технологии 4 использовались приемы по выбору различных технических средств для смешивания помета с торфом и загрузки биоферментеров и использования площадок дозревания органических удобрений, позволяющих сократить эмиссию азота.

За базовый принят 1-й вариант технологии, включающий в себя: транспортировка исходного помета - ПТС-6+Беларус 82.1, смешивание с торфом - модернизированный ПРТ-10 (стационарно установленный, с электроприводом), биоферментация в биореакторах камерного типа размером 4*10 м2 (разработчик ФГБНУ ВНИИМЗ), погрузо-разгрузочные работы фронтальный погрузчик АМКАДОР 348В; транспортировка ТОУ – КАМАЗ 6520-73 и внесение ТОУ - МТУ-15+Беларус 2022. Результаты оценки вариантов приведены в таблице 3, откуда видно, что ***вариант 6*** технологии утилизации помета методом биоферментации в установках камерного типа и внесения ТОУ является парето-оптимальным.

Таблица 3 - Выбор Парето-оптимальных решений (птицефабрика)

Критерий	Ед. измер.	Направление экстремума	Варианты Технологии 3					
			1	2	3	4	5	6
$З_{Кэкб}$	тыс.руб/т	min	2,36	2,34	2,28	2,63	2,62	2,56
$Э_{эф}$	тыс.руб	max	258693,8	261773,4	261773,4	261773,4	264853,1	264853,1
Ендт	тыс.руб/т	min	-	5703,0	5614,1	5762,5	2878,5	2872,8

Проектирование технологии для свиноводческого предприятия

Исходные данные: полной цикл выращивания свиней с среднегодовым поголовьем 16500 голов, влажность навоза 93%, дальность транспортировки органических удобрений 30 км.

На первом этапе для свинокомплекса такого типа рассмотрены следующие технологии:

1. Длительное выдерживание и внесение ЖОУ;
2. Разделение навоза на фракции, компостирование и биологическая очистка жидкой фракции в биологических прудах;
3. Разделение навоза на фракции, компостирование и биологическая очистка жидкой фракции в аэротенке с использованием узла флокуляции;
4. Разделение навоза на фракции, компостирование и биологическая очистка жидкой фракции в аэротенке с использованием коагулятора;
5. Разделение навоза на фракции, компостирование и биологическая очистка жидкой фракции в аэротенке с использованием циклических отстойников.
6. Разделение навоза на фракции, компостирование, длительное выдерживание жидкой фракции и внесение ЖОУ и ТОУ;
7. Разделение навоза на фракции, биоферментация, длительное выдерживание жидкой фракции и внесение ЖОУ и ТОУ;
8. Анаэробная обработка с генерацией электричества и тепла (биогазовое производство) и внесение ЖОУ.

На рисунках 18, 19 в графическом виде показаны сравнительные характеристики изученных технологий.

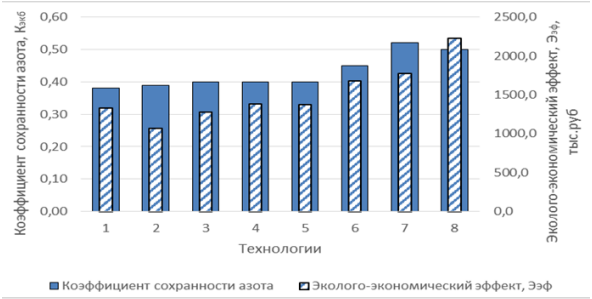

Рисунок 18 - Значения коэффициента экологической безопасности и эколого-экономического эффекта по технологиям

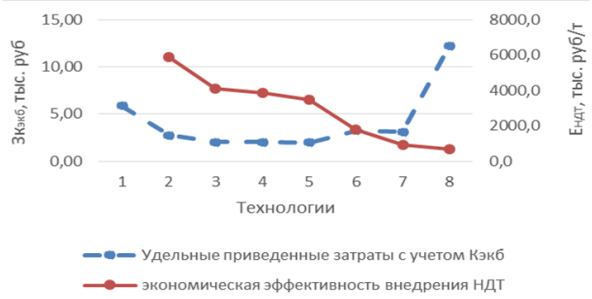

Рисунок 19 - Эколого-экономическая эффективность и удельные приведенные затраты на утилизацию навоза с учетом Кэкб по технологиям.

Из приведенных данных видно, что лучшими показателями удельных капитальных и эксплуатационных затрат обладают технологии 3, 4, 5, предусматривающие получение органического удобрения и очищенной жидкости, это связано с сокращением количества техники и работ по

внесению органических удобрений. Технологии 6, 7, 8 имеют лучшие значения относительно технологий 1, 2, 3, 4, 5 по значениям критерия эколого-экономического эффекта и эффекта от внедрения НДТ. При этом лучшие значения критериев $Э_{эф}$ = 16672 тыс. руб и $Е_{ндт}$=701,1 тыс. руб/т имеет Технология 8, однако вследствие высоких капитальных затрат она не может быть рекомендована. На сегодняшний день большинство свиноводческих комплексов не имеет сельскохозяйственных земель, а при их наличии, поля находятся на значительном расстоянии, поэтому применение Технологий 6, 7 становится для предприятий малоэффективным ввиду больших капитальных и эксплуатационных затрат. В сложившейся ситуации наиболее эффективным для свиноводческого предприятия с заданными параметрами будет являться ***Технология 5***, со следующими значениями критериев: $Зк_{экб}$=1,99 тыс. руб/т, $Э_{эф}$ = 10463,6 тыс. руб/т и $Е_{ндт}$=3495,7.

Показатели технологии могут быть улучшены путем замены метода компостирования на биоферментацию в установках закрытого типа и при использовании шланговых систем внесения осветлѐнной жидкости. Это позволит на 5-7% улучшить показатели удельных приведенных затрат и на 2-3% улучшить показатель эффективности внедрения НДТ.

В шестой главе «Рекомендации по обоснованию экологически безопасного функционирования животноводческих и птицеводческих предприятий» разработана математическая модель транспортировки и распределения органических удобрений, позволяющая определять оптимальные логистические схемы распределения органических удобрений на заданной территории с учетом содержания азота в органических удобрениях и его потребности для отдельных сельхозпредприятий.

Математическая модель построена на основе метода линейного программирования для решения транспортной задачи с введением коэффициентов, учитывающих концентрацию азота в органических удобрениях. Обоснованные значения коэффициентов, учитывающих концентрацию азота в органических удобрениях, для решения транспортной задачи составляют: $К_{П}$ = 0,34 (птицефабрики), $К_{КРС}$ = 0,5 (животноводческие комплексы КРС) и $К_{С}$ = 1 (свиноводческие комплексы). Уменьшение значения коэффициентов позволяет увеличивать радиус транспортировки удобрений ввиду большей эколого-экономической эффективности использования органических удобрений.

С применением разработанной математической модели была разработана логистическая схема распределения органических удобрений для условий Ленинградской области. По результатам моделирования определены 34 предприятия поставщиков органических удобрений и 124 предприятия потребителей. С использованием разработанной модели определены районы Ленинградской области (Лужский, Сланцевский, Кингисеппский районы), имеющие потенциал развития животноводства с соблюдением требований обеспечения экологической безопасности.

В главе седьмой представлена экономическая оценка внедрения технологий утилизации навоза, помета, спроектированных при помощи разработанных методов. Приведены результаты для 3-х хозяйств: АО «ПЗ «Торосово», ООО «БИОЗЁМ» совместно с ЗАО "Агрокомплекс "Оредеж" Ленинградская область и ООО «Рассвет Плюс ЮГ» Калужская область.

Наибольший эффект от внедрения спроектированной технологии получен в ООО «БИОЗЁМ» совместно с ЗАО "Агрокомплекс "Оредеж", Ленинградская область. Оценка эффективности внедренной технологии в ООО «БИОЗЕМ» представлена в таблице 4.

Внедренная технология при незначительно высоком $З_{ндт}$ = 2,62 тыс.руб/т, относительно базовой технологии $З_{ндт}$ = 2,5 тыс.руб/т имеет существенно превосходящие показатели Ээф = 264853 тыс. руб, относительно базовой Ээф = 54750 тыс. руб. Внедренная технология позволяет снизить потери азота на 328,5 т/год, при этом показатель экономической эффективности внедрения НДТ составит $Е_{ндт}$ = 143,9 тыс. руб/т, что отражает высокую эффективность технологии относительно других.

На рисунках 20 – 22 показаны объекты ООО «БИОЗЕМ» функционирующие на птицефабрике ЗАО «Агрокомплекс «Оредеж».

Таблица 4 - Оценка эффективности внедренной технологии утилизации помета в ООО «БИОЗЕМ»

Показатели	Ед. измерения	Технологии	
		Базовая (существующая) технология	Спроектированная технология
Образование помета	т/год	45625	45625
Годовое количество органических удобрений, ТОУ	т/год	45625	82125
Капительные затраты	тыс. руб	77400	153450
Амортизация, ТО и ТР	тыс. руб/год	6155,38	8726,1
Затраты эл. энергии	кВт*ч/год		436540
	тыс. руб		2182,7
Затраты на топливо	т/год	198,16	577,9
	тыс. руб	5945	17337,6
Затраты труда	чел.-ч	12140	26810
	тыс. руб.	1383,96	3056,3
Доп. Затраты (наполнитель для биоферментации)	т	-	45625
	тыс. руб	-	15968,75
Эксплуатационные затраты	тыс. руб	13484,0	47271,5
$З^{К}_{уд}$	тыс. руб/т	1,70	1,87

Продолжение таблицы 4			
$З^{Э}_{уд}$	тыс. руб/т	0,30	0,58
Количество исходного азота	т	821,3	821,25
Коэффициент сохранности азота, $К_{экб}$		0,37	0,77
Удельные приведенные затраты с учетом $К_{экб}$	тыс. руб/т	2,5	2,62
Эколого-экономически эффект, $Э_{эф}$	т	7300	35313,8
	тыс. руб	54750	264853,1
Потери азота	т	517,4	188,9
Сокращение эмиссии	т		328,5
Показатель НДТ, $Е_{ндт}$	тыс.руб/т		143,9

Рисунок 20 - Двух-камерный ферментер (Разработан в ФГБНУ ВНИИМЗ под руководством академика Н.Г.Ковалева)

Рисунок 22 - Узел смешивания торфа и помета: 1 – ПРТ-10 с электроприводом; 2 – шнековый смеситель СШ-300 (Изготовлен в ИАЭП)

По заказу ООО «НИКА» для КФХ А.Ф. Казанкина в ИАЭП с учетом запатентованных технических решений (Патенты №146604, 155841, 2583308, 125995) была разработана и изготовлена установка биоферментации куриного помета для получения высокоэффективных биоудобрений (рис. 23).

Производительность по готовому продукту составляет 250 тонн/год, затраты энергии – 15 кВт/т готового продукта, затраты труда 2920 чел.-ч. в год, удельные эксплуатационные затраты 750 руб/т. Сохранность азота 82 – 85%. срок окупаемости установки составляет менее 2-х лет.

Рисунок 23 - Общий вид биоферментационной установки

Проведенные исследования позволили оценить потенциальный эффект по снижению потерь азота. Если учесть полученные результаты, согласно которым сохранность азота при утилизации навоза КРС составит 72%, навоза свиней – 70% и помета птицы – 78%, общая обеспеченность азотом органических удобрений на уровне СЗФО повысится на 11%, что может составить около 10500 тонн азота. На рисунке 24 показан потенциальный эффект по снижению потерь азота и повышению обеспеченности азотом органических удобрений на уровне СЗФО.

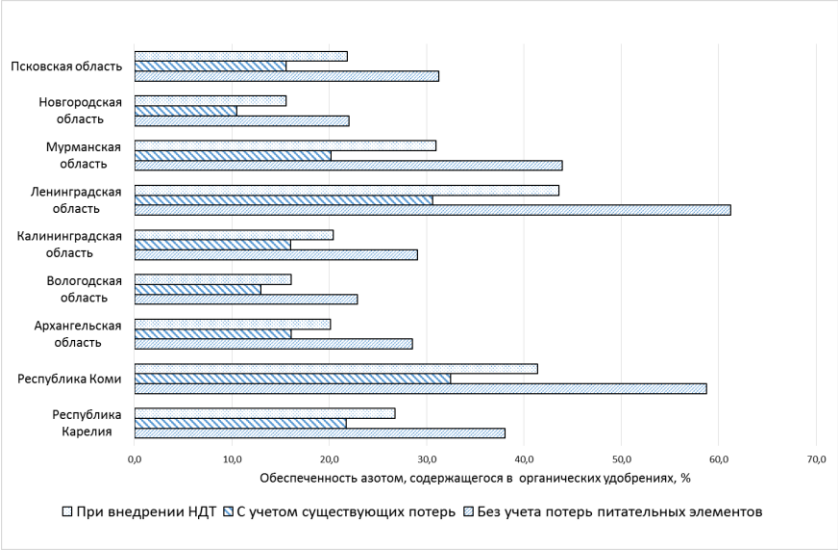

Рисунок 24 - Обеспеченность азотом органических удобрений для СЗФО с учетом внедрения НДТ утилизации навоза

Используя существующие методики определения негативного воздействия и ущерба окружающей среде, а также частную методику определения диффузной нагрузки азота, фосфора на водосбор при ведении

сельскохозяйственной деятельности и потенциала ее снижения при использовании НДТ в сельском хозяйстве, расчетное значение экономического эффекта от внедрения НДТ утилизации навоза составит 4,05 млрд. руб в год.

Расчетный потенциал снижения негативного воздействия и ущерба окружающей среде показан на рисунке 25.

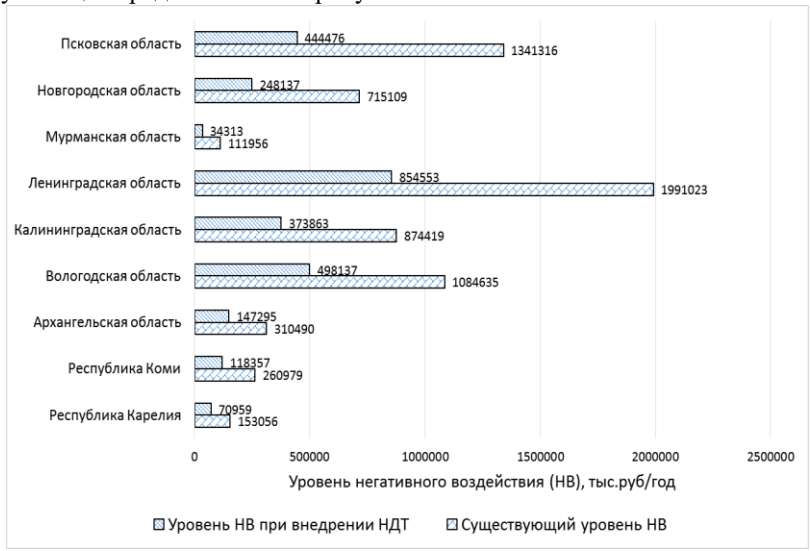

Рисунок 25 - Уровень негативного воздействия и ущерба окружающей среде до и после внедрения НДТ утилизации навоза, помета

Сокращение потерь азота на 10500 тонн в год обеспечит дополнительный эколого-экономический эффект от прибавки урожая более 1 млрд. руб в год.

Представленные результаты работы подтверждены актами внедрения на сельскохозяйственных предприятиях и при реализации проектов, направленных на выполнения международного плана действий по защите Балтийского моря на российской части водосборного бассейна Балтийского моря.

Ряд обоснованных в рамках диссертационной работы технологических решений по утилизации навоза, помета на основании Протокола № 25 от 25.07.2015 г заседания секции приоритетных фундаментальных, прикладных научных исследований и инновационной деятельности в АПК Минсельхоза РФ были включены в перечень апробированных наилучших базовых технологий, рекомендованных к внедрению предприятиями АПК.

Общие выводы

1. Анализ воздействия животноводческих комплексов на окружающую среду показал, что основным источником опасных выбросов и стоков является навоз, помет. Ситуация усугубляется низкой степенью его использования и несовершенством технологий. Более 85% всего негативного воздействия на окружающую среду (ОС) от сельскохозяйственного производства связано с переработкой навоза, помета и использованием органических удобрений. Обосновано, что основным индикатором экологической безопасности технологий утилизации навоза, помета является поступление азота в ОС. Потери общего азота и фосфора в СЗФО оцениваются в 32500 и 4740 тонн в год соответственно. Несмотря на большое количество разработанных технологий и технических средств утилизации навоза, помета, отсутствуют методы проектирования и критерии оценки, позволяющие формировать экономически эффективные и экологически безопасные технологии утилизации навоза, помета с учетом условий сельхозпредприятий.

2. Функционально-структурный анализ технологий утилизации навоза, помета позволил построить блочно-иерархическую схему алгоритма проектирования технологий. Основным фактором, определяющим структурные связи отдельных блоков технологи, является влажность исходного навоза, помета. Анализ показал, что выполнение технологий утилизации навоза, помета обеспечивается набором 52 технологических операций. Каждая технология эффективна в определенных условиях, себестоимость утилизации навоза, помета варьируется в диапазоне от 180 до 4000 руб/т. Теоретический анализ показал, что в качестве основного индикатора негативного воздействия на ОС технологий утилизации навоза, помета необходимо принять показатель сохранности азота, который варьируется в диапазоне 19-81%.

Обоснованы три критерия, позволяющие вести комплексную оценку экономической эффективности и экологической безопасности технологий:

$З_{Кэкб}$ - приведенные затраты на утилизацию 1 тонны навоза, помета с учетом коэффициента сохранности азота, руб/т;

$Э_{эф}$ – эколого-экономический эффект от использования органических удобрений, руб;

$E_{НДТ}$ – экономическая эффективность внедрения НДТ, при снижении эмиссии азота, тыс. руб/т в год.

3. На базе логико-лингвистического метода формализации экспертных знаний о нечетких многомерных системах, разработаны методика и математические модели оценки сохранности азота (N). Определено, что основными факторами влияния на сохранность N являются: X_1 – способ переработки, %; X_2 – способ хранения, %; X_3 – способ внесения в почву, %; X_4 – влажность навоза, помета, %; X_5 – соотношение углерода к азоту в перерабатываемой смеси, б/р; X_6 – качество работы персонала.

Факторный анализ показывает, что основное влияние на сохранность азота при утилизации жидкого навоза оказывают факторы X_1, X_3, X_5, X_2 и сочетания нелинейных факторов X_2-X_5, X_2 -X_3 и X_1- X_4. При утилизации полужидкого и твердого навоза, помета влажностью менее 92% основное влияние на сохранность азота оказывают факторы X_3, X_1, X_5, X_2 и сочетания нелинейных факторов X_2-X_3, X_2 –X_5 и X_3- X_4.

С помощью полученной модели определено, что при изменении технологий сохранность азота находится в диапазоне 25 - 81% для жидкого навоза и 19-75% для полужидкого и твердого. Полученные полиномиальные выражения проверены на адекватность путѐм оценки коррелированности экспертных и расчѐтных значений, коэффициенты корреляции экспертных и расчѐтных оценок составили соответственно 0,93 и 0,95, что свидетельствует о высокой степени их согласованности.

4. На основе системного анализа технологий утилизации навоза, помета и обоснованных критериев оценки разработан комбинированный метод проектирования машинных технологий утилизации навоза, помета, включающий новые теоретические знания о закономерностях сохранности азота в зависимости от технологических факторов. Основными этапами реализации метода являются:

- постановка задачи и формализованное описание системы с использованием метода функционально-структурного анализа технологий;
- разработка структурно-параметрической модели выполнения технологии утилизации навоза, помета;
- обоснование критериев экономической эффективности и обеспечения экологической безопасности технологии;
- формирование совокупности математических моделей отдельных процессов и операций, с оценкой сохранности азота по разработанной методике и моделям на базе логико-лингвистического метода формализации нечетких систем;
- оценка вариантов сформированной технологии и выбор Парето-оптимального решения.

5. Метод проектирования технологий утилизации навоза, помета реализован в виде он-лайн экспертной системы, которая представляет собой интеллектуальную компьютерную программу, объединяющую возможности компьютера со знаниями и опытом экспертов в такой форме, что система может предложить рациональное решение поставленной задачи. Экспертная система выполнена с помощью WEB-программирования на языке PHP и СУБД MySQL и позволяет проектировать и выбирать технологические решения для условия конкретного хозяйства на основе критериев $З_{Кэкб}$, $E_{НДТ}$ и $Э_{эф}$. Система позволяет вести расчеты по 12-ти технологиям с вариациями из 52 операций и более 400 технических средств и сооружений. С помощью созданной экспертной системы обоснованы и реализованы более 30 технологических решений по модернизации систем утилизации навоза,

помета (в хозяйствах Ленинградской, Калининградской, Московской, Ярославской, Калужской, Томской и др. областей РФ).

6. Разработана математическая модель транспортировки и распределения органических удобрений, позволяющая определять оптимальные логистические схемы распределения органических удобрений на заданной территории с учетом содержания азота в органических удобрениях и его потребности для отдельных сельхозпредприятий. В модели применены обоснованные значения коэффициентов, учитывающих концентрацию азота в органических удобрениях, значения которых составляют: $К_П$ = 0,34 (птицефабрики), $К_{КРС}$ = 0,5 (животноводческие комплексы КРС) и $К_С$ = 1 (свиноводческие комплексы). Уменьшение значения коэффициентов, позволяет увеличивать радиус транспортировки удобрений, ввиду большей эколого-экономической эффективности использования органических удобрений. С применением разработанной математической модели была разработана логистическая схема распределения органических удобрений для Ленинградской области. По результатам моделирования определены 34 предприятия поставщиков органических удобрений и 124 предприятия потребителей. С использованием разработанной модели определены районы Ленинградской области (Лужский, Сланцевский, Кингисеппский районы), имеющие потенциал развития животноводства с соблюдением требований обеспечения экологической безопасности. Потребность в азоте этих трех районов составляет не менее 5200 тонны/год.

7. Метод апробирован при модернизации и проектировании адаптивных технологий утилизации навоза, помета на ряде животноводческих предприятий:

- при разработке проекта модернизации системы утилизации помета на ЗАО «Агрокомплекс «Оредеж» по заказу ООО «БИОЗЕМ» (Ленинградская обл.). На основе технологического процесса биоферментации, разработанного академиком Н.Г. Ковалевым, запроектирована и внедрена технология, которая при относительно высоком $З_{ндт}$ = 2,62 тыс.руб/т, по сравнению с базовой технологией $З_{ндт}$ = 2,5 тыс.руб/т, имеет существенно превосходящие показатели $Э_{эф}$ = 264853 тыс. руб, относительно базовой $Э_{эф}$ = 54750 тыс. руб. Внедренная технология позволяет снизить потери азота на 328,5 т/год, при этом показатель экономической эффективности внедрения НДТ составит $Е_{ндт}$ = 143,9 тыс. руб/т;

- при внедрении технологического регламента в АО «ПЗ «Торосово» (Ленинградская обл.), усовершенствованная технология позволяет сократить потери азота на 7,6 т/год и получить эколого-экономический эффект - 3,1 млн. руб в год;

- при внедрении технологического регламента в ООО «Рассвет плюс ЮГ» (Калужская обл.). С помощью экспертной системы обоснована и запроектирована технология утилизации навоза свиней, которая обеспечила снижение потерь азота на 15% (17,1 т/год) при экономически обоснованных

затратах. Удельные капитальные затраты составили 2,35 тыс. руб. и эксплуатационные затраты на одну тонну навоза 0,44 тыс.руб. в год.

7. Результаты исследований показывают, что внедрение адаптированных к условиям хозяйств технологий утилизации навоза на основе критериев удельных приведенных затрат с учетом сохранности азота ($З_{Кэкб}$), эколого-экономического эффекта ($Э_{эф}$) и экономической эффективности внедрения НДТ ($Е_{НДТ}$) позволяют достичь высокой сохранности азота при утилизации навоза, помета. Если учесть полученные результаты, согласно которым сохранность азота при утилизации навоза КРС составит 72%, навоза свиней 70% и помета птицы 78%, общая обеспеченность азотом органических удобрений на уровне СЗФО повысится на 11%, что составит около 10500 тонн азота в год. Расчетное значение экономического эффекта от внедрения НДТ утилизации навоза, помета составит 4,05 млрд. руб в год, а сокращение потерь азота на 10500 тонн в год обеспечит дополнительный эколого-экономический эффект от прибавки урожая более 1 млрд. руб в год.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

На основании обоснованных критериев и метода проектирования технологий утилизации навоза разработать комплекс машинных технологий переработки навоза, помета в высокоэффективные органические удобрения и их использования, методологию экологически безопасного размещения и функционирования животноводческих комплексов с учетом рентабельного радиуса транспортировки органических удобрений.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Брюханов А. Ю. Методы расчета вредных выбросов животноводческих ферм // Сельский механизатор. 2008. №7. С. 35-36.

2. Попов В.Д., Максимов Д.А., Брюханов А.Ю. Инженерные методы решения проблем устойчивого развития сельхозпроизводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 4. С. 4-8.

3. Афанасьев В.Н., Брюханов А.Ю. Сельскохозяйственные отходы: от ликвидации до эффективного безопасного использования // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 3. С. 30-33.

4. Брюханов А.Ю., Козлова Н.П., Максимов Д.А. Оценка стоимости мер по снижению выбросов аммиака на фермах КРС // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 1. С. 38-39.

5. Попов В.Д., Максимов Д.А., Брюханов А.Ю. Экологические проблемы сельскохозяйственного производства и их решение в Северо - Западном федеральном округе РФ // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 4. С. 4-7.

6. Субботин И.А., Брюханов А.Ю. Современные технологии энергетического использования возобновляемого сырья // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 8-1 (15). С. 116-118.

7. Волков А.Н., Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В. Определение размеров первичного вертикального отстойника жидкой фракции свиного навоза // Техника в сельском хозяйстве. М. 2014. №3. С.31-32.

8. Методика принятия решения об экологически безопасном размещении сельхозпредприятия / Максимов Д.А., Брюханов А.Ю., Субботин И.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Козлова Н.П. // Техника в сельском хозяйстве. 2014. №5. С. 24-26.

9. Шалавина Е.В., Брюханов А.Ю. Результат лабораторных исследований технологии переработки свиного навоза в аэротенке с использованием циклических отстойников // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. №3 (31). С. 116-121.

10. Уваров Р.А., Брюханов А.Ю. Перспективные технологии биоферментации навоза/помета для Северо - Запада России // Научное обозрение. 2015. № 16. С. 26-31.

11. Subbotin I.A., Briukhanov A.Yu., Uvarov R.A. Losses of nutrients at intensive processing of poultry manure // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 1-3 (43). С. 41-42.

12. Briukhanov A.Yu., Minin V.B., Subbotin I.A. The assessment of nutrients content of manure in Russian part of Baltic region // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 1-3 (43). С. 11-12.

13. Брюханов А.Ю., Гаас А.В. Стратегия управления отходами предприятий птицеводства на основе внедрения наилучших доступных технологий переработки помета // Экология и промышленность России. 2016. № 2. С. 60-63.

14. Глобальный экологический кризис: мифы и реальность / Кондратьев С.А., Шмакова М.В., Брюханов А.Ю., Чичкова Е.Ф., Маркова Е.Г. // Общество. Среда. Развитие. 2016. № 1 (38). С. 92-99.

15. Брюханов А.Ю., Уваров Р.А. Математическая модель технологии ускоренного компостирования отходов животноводства в биоферментационных установках закрытого типа // Известия КГТУ. 2016. № 41. С. 137-147.

16. Попов В.Д., Максимов Д.А., Брюханов А.Ю. Экология сельхозпроизводства: проблемы и решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 3. С. 43-48.

Зарубежные статьи:

17. Roman Uvarov, Alexander Briukhanov, Ekaterina Shalavina. Study results of mass and nutrient loss in technologies of different composting rate: case of bedding poultry manure // Engineering for Rural Development. Latvia, Jelgava, May 25-27, 2016. P. 851-857.

18. Selecting manure management technologies to reduce ammonia emissions from big livestock farms in the northwestern federal district of Russia / Maximov D.A., Bryukhanov A.Y., Subbotin I.A., Vasilyev E.V. // Ammonia workshop 2012

Saint Petersburg: Abating ammonia emissions in the UNECE and EECCA region Bilthoven, the Netherland, 2014. С. 161-168.

19. Kozlova N., Maximov N., Bryukhanov A. Assessment of ammonia emission from cattle buildings // Nitrogen & Global Change: Key findings - future challenges Conference Proceedings – сборник научных трудов. 2011.

20. Russia / Bryukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Volkov A.N., Kozlova N.P., Minin V.B., Ogluzdin A.S., Subbotin I.A., Uvarov R.A., Shalavina E.V. // Status of nutrient bookkeeping in the Baltic Sea countries Dessau-Roßlau, 2015. С. 33-35.

21. Popov V., Maksimov D., Briukhanov A. Approaches of agro-engineering ecology to reduction of adverse environmental impact of agricultural practices // Environmentally Friendly Agriculture and Forestry for Future Generations Proceedings of International Scientific XXXVI CIOSTA & CIGR Section V Conference. Saint-Petersburg State Agrarian University, IEEP. 2015. С. 288-290.

Рекомендации для производства:

22. Рекомендации по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и использования навоза (помета) / Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Хухта Х., Васильев Э.В., Минин В.Б., Субботин И.А. Санкт – Петербург.: СЗНИИМЭСХ, 2012. 53с.

23. Брюханов А.Ю., Волков А.Н., Минин В.Б. Справочник по организации экологически безопасного производства сельскохозяйственной продукции. Санкт – Петербург.: СЗНИИМЭСХ, 2014. 88с.

24. Рекомендации по обоснованию экологически безопасного размещения и функционирования животноводческих и птицеводческих предприятий / А.Ю. Брюханов, Д.А. Максимов, Э.В. Васильев, Е.В. Шалавина, И.А. Субботин, А.С. Оглуздин, Х. Хухта, Р.А. Уваров / Под ред. А.Ю. Брюханова. СПб.: ИАЭП, 2015. 52с.

25. Утилизация навоза/помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подземных водных объектов в Ленинградской области / Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Васильев Э.В., Субботин И.А., Чернин С.Я., Парубец Ю.С., Гарзанов А.Л. Санкт – Петербург.: СЗНИИМЭСХ, 2012. 237с.

Статьи в сборниках, журналах и других изданиях:

26. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В. Методический подход к выбору и проектированию отстойников жидкой фракции свиного навоза // Инновации в сельском хозяйстве. 2013. № 2 (4). С. 17-21.

27. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза/помета // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 1 (13). С. 78-85.

28. Брюханов А.Ю., Субботин И.А. Выбор технологии и технических средств для переработки навоза и помѐта на основе критериев наилучших

доступных технологий // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2013. № 84. С. 152-159.

29. Рекомендации по обоснованию экологически безопасного размещения и функционирования животноводческих и птицеводческих предприятий / Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Субботин И.А, Козлова Н.П. и др. // Промышленная политика в РФ. – М.: Институт экономики и управления в промышленности, 2014. №7-9. С. 32-38.

30. Брюханов А.Ю., Волков А.Н. Эколого-экономическая оценка технологий приготовления органических удобрений из навоза и помета // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2009. № 81. С. 166-170.

31. Брюханов А.Ю., Оглуздин А.С., Шалавина Е.В. Биоконверсия свиного навоза в органическое удобрение методом биологической очистки //Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2014. № 3 (15). С. 164-167.

32. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В. Формирование машинных технологий транспортировки и внесения жидких органических удобрений // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2013. № 84. С. 142-152.

33. Афанасьев В.Н., Брюханов А.Ю. Концепция повышения экологической безопасности технологий и технических средств для агропромышленных (животноводческих) предприятий Ленинградской области // Сборник - Экология и сельскохозяйственные технологии: агроинженерные решения. 2011. С. 8-14.

34. Брюханов А.Ю., Субботин И.А., Васильев Э.В. Результаты эколого-экономической оценки технологий утилизации навоза/помета на примере Северо-Запада России // Сборник - Проблемы животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза. 2014. С. 31-35.

35. Шалавина Е.В. Брюханов А.Ю. Математическая модель технологии глубокой переработки жидкой фракции свиного навоза // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. №86. С. 103-112.

36. Брюханов А.Ю., Спесивцев А.В., Субботин И.А. Моделирование негативного воздействия технологий переработки отходов животноводства // Материалы международного конгресса «Агрорусь». 2015. С. 9-11.

37. Методический подход к принятию решения об экологическом безопасном размещении и функционировании сельхозпредприятий на примере Калининградской области / Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Субботин И.А. // Развитие системы обращения с отходами и рациональное природопользование. Инновации в науке, образовании и бизнесе: XII международная конференция (15-17 окт. 2014): доклады секции. Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. С.64-78.

38. Брюханов А.Ю., Субботин И.А. Критерии оценки технологий обращения с навозом и помѐтом // Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2014. Т. 4. С. 291-299.

39. Брюханов А.Ю., Спесивцев А.В., Субботин И.А. Оценка экологической безопасности на основе логико-лингвистического моделирования процессов утилизации жидкого навоза // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. № 86. С. 129-139.

40. Брюханов А.Ю., Волков А.Н. Эколого-экономическая оценка производства сельскохозяйственной продукции // Экологически безопасное развитие сельских территорий и сохранение водных объектов: сборник научных трудов международных семинаров. 2016. С. 52-59.

41. Логико-лингвистическое моделирование для решения агроэкологических проблем / Брюханов А.Ю., Трифанов А.В., Спесивцев А.В., Субботин И.А. // Сборник докладов XIX Международной конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2016) 2016. С. 236-239.

42. Концепция формирования наилучших доступных технологий в интенсивном животноводстве / Максимов Д.А., Брюханов А.Ю., Козлова Н.П., Васильев Э.В. // Региональная экология. 2015. № 7 (42). С. 25-30.

43. Рекомендации по определению НДТ для интенсивного животноводства Российской Федерации на примере СЗФО / Максимов Д.А., Брюханов А.Ю., Козлова Н.П., Васильев Э.В. // Региональная экология. 2015. № 7 (42). С. 106-110.

44. Брюханов А.Ю. Обеспечение экологической безопасности сельскохозяйственного производства на период до 2030 года на основе внедрения наилучших доступных технологий // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2015. № 4 (20). С. 89-94.

45. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В. Повышение эффективности переработки отходов животноводства путем формирования адаптивных технологий с учетом экологического критерия // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2015. № 4 (20). С. 162-166.

Авторские свидетельства и патенты:

46. Афанасьев В.Н., Афанасьев А.В., Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Миллер В.В., Хазанов В.Е. Способ получения удобрений из навоза // Патент на изобретение RUS 2466117 07.04.2011.

47. Шалавина Е.В., Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Субботин И.А. Устройство биологической очистки жидкой фракции свиного навоза и навозосодержащих стоков // Патент на полезную модель RUS 139469 06.11.2013.

48. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Максимов Н.В., Уваров Р.А. Биореактор для конверсии органических отходов непрерывного действия // Патент на полезную модель RUS 146604 03.06.2014.

49. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Козлова Н.П., Максимов Н.В., Шалавина Е.В. Устройство для утилизации газов, образующихся в биореакторах переработки органических отходов // Патент на полезную модель RUS 145378 11.03.2014.

50. Брюханов А.Ю., Максимов Н.В., Уваров Р.А. Биореактор для конверсии органических отходов в компост // Патент на полезную модель RUS 155841 22.06.2015.

51. Архипченко И.А., Афанасьев В.Н., Афанасьев А.В., Брюханов А.Ю., Орлова О.В. Технологическая линия получения биоудобрения на основе птичьего помета // Патент на полезную модель RUS 88665 12.08.2009.

52. Брюханов А.Ю., Максимов Н.В., Уваров Р.А. Вертикальный биоферментатор // патент на полезную модель RUS 155478 17.06.2015.

53. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Максимов Н.В., Шалавина Е.В. Технологическая линия для утилизации газов, образующихся в биореакторах переработки органических отходов // Патент на изобретение RUS 2583308 19.04.2016.

Подписано к печати 13.10.2016 г.
Формат 60x84 Объем 2,4 печ.л. (1,84 а.л.) Бумага офсетная
Тираж 100 экз. Заказ № 133
Отпечатано на ризографе
ФГБНУ ИАЭП
196625, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское шоссе, д. 3