

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева»**

На правах рукописи

ФИЛИМОНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ
УТИЛИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Евграфов Алексей Владимирович
доктор технических наук, доцент

Москва, 2025 г

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Сточные воды апк их характеристика и условия образования	10
1.1 Классификация сточных вод АПК	10
1.2 Сточные воды животноводства и агропромышленного комплекса	17
1.3 Условия образования сточных вод животноводческих комплексов	23
1.4 Выводы по первой главе	30
2 Существующие способы детоксикации животноводческих стоков и технологии внесения в почву.....	31
2.1 Технология сбора и хранения побочных продуктов животноводства ...	31
2.2 Методы обеззараживания сточных вод животноводческих комплексов	35
2.3 Методы внесения стоков животноводческих комплексов на сельскохозяйственные поля	42
2.4 Выводы по главе 2.....	56
3 Экспериментальные исследования по определению конструкции и материалов для установки детоксикации стоков животноводческих комплексов.....	57
3.1 Электролиз водных растворов	57
3.2 Экспериментальные исследования по подбору материала электродов для электролизной установки детоксикации животноводческих стоков.....	61
3.3 Результаты экспериментальных исследований снижения концентрации аммония в статической установке.....	74
3.4 Результаты экспериментальных исследований снижения концентрации аммония в разработанной динамической электролизной лабораторной установке.....	79
3.5 Выводы по главе 3.....	86
4 Математическая модель и методика расчета утилизационной способности с/х полей.....	87
4.1 Математическая модель расчета утилизационной способности с/х полей по физико-химическим свойствам почвы	87

4.2 Методика расчета утилизационной способности сельскохозяйственных полей с детоксикацией стоков электрическими полями.....	96
4.3 Выводы по главе 4.....	101
5. Эколого-экономическое обоснование детоксикации животноводческих стоков электрическими полями	102
5.1 Сравнительный расчет экономической эффективности утилизации сточных вод животноводческих комплексов с их детоксикацией электрическими полями	102
5.2 Расчет эксплуатационных затрат динамической электролизной установки	106
5.3 Экологический ущерб от загрязнения поверхностных и грунтовых вод животноводческими стоками.....	110
5.4 Выводы по главе 5.....	112
Заключение	113
Список литературы	115
Приложения	129
Приложение А	130
Приложение Б.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. До настоящего времени недостаточно внимания уделялось вопросам сохранения и восстановления почвенного плодородия мелиорируемых и деградированных земель сельскохозяйственного значения в России.

Очевидно, что это влияет на уровень использования земельных ресурсов. За последние 20 лет запасы гумуса снизились на 25...30%, ежегодные потери доходят до 81,4 млн. т. Около 50% пахотных земель в стране характеризуются низким содержанием гумуса, 37% – низким содержанием подвижных форм фосфора, 24% – нуждаются в известковании, и химической мелиорации [1,2].

Потери гумуса на территории Нечернозёмной зоны за последние 40 лет составили одну третью часть от его общего содержания. Около 100 млн. га сельскохозяйственных угодий нуждаются в гипсовании и проведении мелиоративных мероприятий [3].

Плодородие почв включает не только все виды ресурсов, необходимых растению за вегетационный период, но и доступность их растениям. Последнее зависит от состояния верхней части почвенного профиля, минералогического состава почв, запасов доступной растению влаги, агрофизических свойств, определяющих как водно-воздушный и тепловой режимы почв, так и возможности пространственного роста корневых систем, а также биологических свойств почв. Интегральным показателем эффективного плодородия почв являются урожайность сельскохозяйственных культур, продуктивность кормовых угодий, качество продукции растениеводства при соблюдении нормативных экологических требований [4,5].

В настоящее время крупные животноводческие комплексы в состоянии повысить почвенное плодородие земель, используемых в сельскохозяйственном производстве за счет жидких животноводческих

стоков.

Состав животноводческих стоков зависит от способа содержания животных, поголовья, возраста и вида, рационов кормления и других условий. Химический состав жидкого навоза, навозных стоков и животноводческих стоков зависит во многом от степени разбавления водой, но, несмотря на большое разбавление водой, стоки обладают высокими удобрительными свойствами.

Так же в настоящее время обострилась проблема, связанная с загрязнением агроландшафтов и водных объектов от хозяйственной деятельности животноводческих предприятий АПК.

Животноводческие фермы используют большие объемы воды, которая после технологических процессов утилизируется на сельскохозяйственных полях. В результате происходит загрязнение грунтовых и поверхностных вод, которые наполняются вредными химическими веществами отходов. Загрязненные грунтовые воды мигрируют по территории [6].

Существуют различные способы утилизации животноводческих стоков. В настоящее время самыми распространенными являются два способа:

- 1) Очистка сточных вод и последующий сброс в водотоки;
- 2) Подготовка сточных вод и утилизация их на сельскохозяйственных полях.

Надо отметить, что вариант с искусственной биологической очисткой и последующим сбросом в водоёмы является нежелательным, поскольку после искусственной биологической очистки на сооружениях в стоках остаётся более 10% веществ, являющихся активными загрязнителями водоёмов, что приводит к загрязнению последних, ухудшению санитарной обстановки, интенсивному развитию водорослей, появлению гнилостных запахов и тёмно-бурой окраски, повышению общего содержания органического вещества [7,8]. Практика эксплуатации сооружений полной искусственной биологической очистки показывает, что эффективность очистки на них низкая (не выше 50-60%) [9]. В процессе прохождения животноводческих стоков

через очистные сооружения происходит перераспределение биогенного элемента в субпродуктах, при этом потери составляют: по азоту 24 %, по фосфору 2,6 %, по калию 7,2 %. Причём осадок активного ила необходимо для дальнейшего использования в качестве органического удобрения доочищать на полях фильтрации. Технология и техника внесения активного ила разработана слабо.

Подготовка сточных вод и утилизация их на сельскохозяйственных полях осуществляется на данный момент по нескольким технологиям.

Наиболее распространенный способ утилизации стоков в лагунах с последующим внесением на поля с помощью дождевальных машин или запашки в почвенный слой.

Внесение жидких не подготовленных стоков с помощью шланговых машин в борозды. Недостатком является то, что он наносит экологический вред окружающей среде и ухудшает качество выращиваемой продукции растениеводства и делает ее опасной для человека и сельскохозяйственных животных.

Перечисленные выше способы и технологии нуждаются в совершенствовании переработки отходов на начальном этапе их подготовки к утилизации.

Цель работы: разработка технических средств для обработки животноводческих стоков электрическими полями с целью снижения их токсичности для последующей утилизации на полях возделывания сельскохозяйственной продукции.

Задачи:

- 1) Анализ существующих технологий утилизации животноводческих стоков с применением;
- 2) Проведение экспериментальных исследований по воздействию электрических и магнитных полей на химический состав животноводческих стоков;
- 3) Разработка технического средства на основе электролиза для

снижения токсичности животноводческих стоков;

4) Расчет ожидаемого эколого–экономического эффекта.

Объектом исследований являются стоки животноводческих комплексов.

Предметом исследования являются электрические поля, воздействие которых на сточные воды ферм изменяют их химический состав.

Научная новизна. Разработано техническое средство для детоксикации сточных вод животноводческих комплексов с помощью воздействия на них электрических полей. Определены оптимальная его конструкция и режимы работы (Заявка на патент №.2025106028). Разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать требуемые концентрации азотных соединений в сточных водах, с учетом особенностей природно – климатических, почвенных условий сельскохозяйственных полей утилизации.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в разработке методики расчета и математической модели, необходимых концентраций азотных соединений в сточных водах животноводческих комплексов, для последующей их утилизации на полях возделывания сельскохозяйственных растений, с предотвращением или минимизацией загрязнения окружающей среды.

Практическая значимость заключается в разработке установки для обработки стоков электрическими полями, которую можно применять непосредственно на предприятиях АПК для предотвращения негативного влияния побочных продуктов животноводства на экологическую ситуацию, и использовать их для повышения почвенного плодородия и повышения качества и продуктивности продукции растениеводства и животноводства.

Методология и методы исследования. В исследованиях использованы теории вероятности и математической статистики. Использовалась современная методика обработки полученных данных.

Для оценки погрешности полученных экспериментальных данных использованы элементы теории вероятностей и математической статистики.

В процессе проведения эксперимента все опыты выполнялись в трёхкратной повторности, согласно методике опытного дела Доспехова Б.А.

Основные положения, выносимые на защиту:

- техническое средство для детоксикации сточных вод животноводческих комплексов с помощью воздействия на них электрических полей;
- результаты экспериментальных исследований по снижению концентрации аммонийных соединений, с помощью электрических полей, в стоках животноводческих комплексов;
- методика расчета и математическая модель для определения необходимых площадей сельскохозяйственных угодий с целью экологически безопасной утилизации сточных вод.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Положения диссертационной работы доложены на международных конференциях:

1. Научный семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского», Москва, ФГБОУ ВО имени К.А. Тимирязева, 25-26 января 2023 года.
2. XI International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development. Termez, Uzbekistan, 2025.
3. Научный семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского», Москва, ФГБОУ ВО имени К.А. Тимирязева, 22-23 января 2025 года.
4. Межвузовский международный конгресс «Высшая школа: научные исследования» Москва 11 июня 2025 год.
5. Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 160-летию Тимирязевской академии, Москва, 2-4 июня 2025 года

По материалам диссертации опубликовано 6 научных работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных.

Структура и объём работы. Диссертация включает введение, пять глав, заключение, список используемых источников информации из 122 наименования, и приложений на 2 страницах. Объем диссертации – 131 страница, поясняется 32 таблицами и 42 рисунками.

1 СТОЧНЫЕ ВОДЫ АПК ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

1.1 Классификация сточных вод АПК

Сточные воды делятся на три большие категории:

1. Хозяйственно – бытовые;
2. Промышленные;
3. Животноводческие, которые относятся к побочным продуктам животноводства (ППЖ).

К хозяйственно-бытовым сточным водам относятся стоки, которые отводятся системой канализации поселков, городов, коммунальных объектов, в том числе и агропромышленного комплекса, и состоят из:

- сбросов с жилых зданий и учреждений;
- поверхностных сточных вод с улиц, образующихся в результате природных осадков и полива улиц жилищно-коммунальными службами;
- инфильтрационных потоков, образующихся в почвенных и грунтовых слоях поступающих в ливневую канализацию поселков и городов.

Состав таких сточных вод представлен в таблице 1, из которой видно, что в основном они содержат взвешенные вещества и жиры, а также имеют высокий показатель ХПК и БПК, которые характеризуют содержание в них органических веществ. Данные стоки, как правило, очищаются на очистных сооружениях и не утилизируются на землях сельскохозяйственного назначения при производстве продукции растениеводства, поскольку их состав способствует быстрому заиливанию почвенного слоя и уменьшению его коэффициента фильтрации, что в дальнейшем приведет к быстрому выводу из строя данных площадей. Следует отметить, что предварительная подготовка их для сельскохозяйственных угодий экономически не целесообразна, к тому же они обладают низкой удобрительной ценностью и

их использование для выращивания продукции растениеводства не представляет практического интереса.

Таблица 1. Состав хозяйственно-бытовых сточных вод

№ п/п	Состав хозяйственно-бытовых сточных вод	Концентрация мг/дм ³
1	Взвешенные вещества	До 350
2	БПК	180 - 500
3	ХПК	200 - 600
4	Жиры	До 50
5	Азот в аммонийной форме NH ₄	20 - 45
6	Нефтепродукты	До 3
7	Фосфаты	До 16
	рН	6,5 – 8,5

Промышленные сточные воды образуются в результате производственных процессов на предприятиях различного назначения, таких как: пищевой промышленности, легкой, тяжелой, рыбной, агропромышленного комплекса и др. Стоки промышленности разнообразны по своему составу и возможности их утилизации на землях сельскохозяйственного назначения.

Отдельно выделяются сточные воды агропромышленного комплекса, которые разделится на следующие группы, [10]:

- животноводство;
- птицеводство;
- перерабатывающие предприятия;
- растениеводство.

Из анализа рисунка 1, видно, что наибольшее количества отходов, в том числе и сточных вод, дает животноводство.

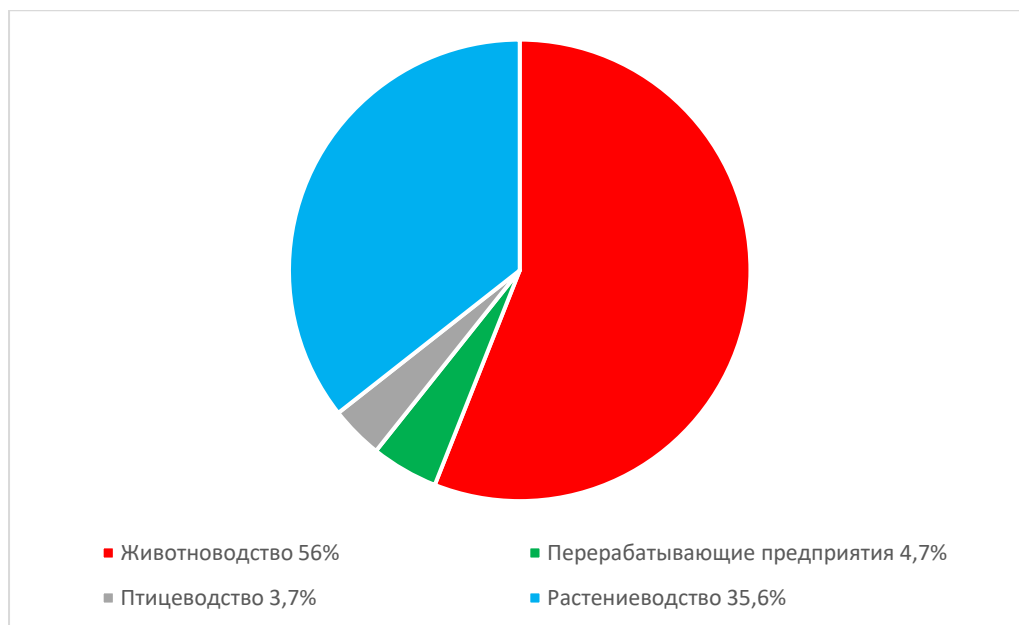


Рисунок 1. Распределение отходов АПК по отраслям.

К отходам растениеводства относятся пожнивные остатки, ботва, отходы силоса и сенажа, а также солома, они по своему агрегатному состоянию относятся к твердым отходам.

Сточные воды мясоперерабатывающей отрасли АПК имеют химический состав, который представлен в таблице 2, из которого видно, что в основном они содержат большое количество взвешенных веществ и хлоридов, и их утилизация на сельскохозяйственных полях для повышения плодородия почв и получения продукции растениеводства не целесообразна и опасна.

Следует отметить, что содержание хлора в стоках, которые вносят на сельскохозяйственные угодья, предназначенные для производства растениеводческой продукции, приводит к химическому отравлению организма человека и животных через получаемую продукцию, а также возделываемые культуры накапливают в себе хлор, что приводит к нарушению их развития.

Таблица 2. Физико– химический состав сточных вод мясоперерабатывающих комбинатов АПК [11]

№ п/п	Параметр	Значение
1	Температура, °С	18 – 25
2	рН	6,5 – 8,5
3	Взвешенные вещества, мг/л	1500
4	Масла, мг/л	1000
5	Сухой остаток, мг/л	1500
6	Хлориды, мг/л	900
7	Сульфаты, мг/л	500
8	Железо, мг/л	2
9	БПК, мг/л	800
10	ХПК, мг/л	2000
11	Фосфор, мг/л	60
12	Аммоний, мг/л	30
13	Нитриты, мг/л	0,02
14	Нитраты, мг/л	0,05

Сточные воды предприятий переработки плодоовощной продукции АПК включают в себя различные виды веществ, таблица 3, из анализа которой видно, что в них содержится большое количество взвешенных частиц [12], что приводит к заиливанию почв сельскохозяйственных земель, предназначенных для производства продукции, что делает их непригодными для дальнейшего использования. В этих стоках также нет питательных веществ, необходимых для возделывания продукции растениеводства и повышения плодородия почв. Поэтому данные вид стоков подлежит очистке на очистных сооружениях и последующему сбросу.

Таблица 3. Состав сточных вод предприятий АПК по переработки
плодоовощной продукции

№ п/п	Перерабатываемый продукт	рН	Взвешенные вещества, мг/л	БПК, мг/л
1	Томаты	4,7	455	1156
2	Горошек	4,7	322	2713
3	Шпинат	7,2	593	281
4	Морковь	7,2	1841	1114
5	Абрикосы	7,4	265	222
6	Свекла	6.0	1655	1062
7	Персик	7,6	622	1413

Сточные воды по производству молочной продукции на предприятиях АПК подразделяются на загрязненные и не загрязненные. Загрязненные стоки образуются в результате мойки промышленного оборудования, не загрязненные - при технологических процессах, таких как охлаждение, причем количество сточных вод, содержащих вредные вещества достигает 50%, за счет содержания в них реагентов, применяемых для очистки промышленного оборудования, состав которых приведен в таблице 4, из которого можно сделать заключение, что их утилизация на сельскохозяйственных полях выращивания продукции растениеводства не целесообразна, по причине их низкой удобрительной ценности и высоким содержанием взвешенных частиц, и химическими веществами, содержащимися в моющих растворах, что негативно сказывается на почвенном покрове [13].

Таблица 4. Состав сточных вод предприятий АПК по производству молочной продукции

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Показатели
1	Температура	°С	15 - 17
2	Взвешенные вещества	мг/л	350 – 600
3	рН	-	6,5 - 9
4	анион SO_4^{2-}	мг/л	25 - 30
5	Fe	мг/л	0,5 – 0,7
6	БПК	мг/л	500 - 2000
7	ХПК	мг/л	1200 - 3000
8	Фосфор	мг/л	7 - 10
9	Азот	мг/л	35 - 50
10	Жир	мг/л	100 - 150

На животноводческих фермах агропромышленных комплексов АПК по производству мяса и молока образуется большое количество навоза, который относится к побочным продуктам животноводства, и из анализа рисунка 2, занимает значительное место по сравнению с остальными сельскохозяйственными животными и птицей.

Навоз является ценным сырьем для повышения плодородия почв, увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, с одной стороны, с другой он является непосредственной угрозой для экологии, качества растениеводческой, мясной и молочной продукции, и как следствие здоровья человека.

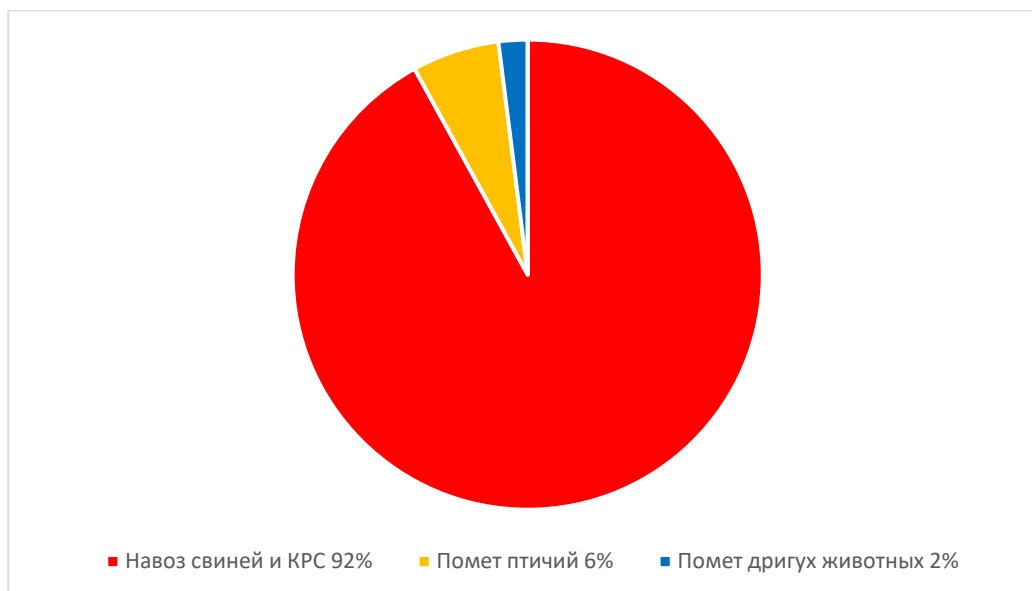


Рисунок 2. Распределение образования навоза сельскохозяйственных животных.

В связи с переводом на бесподстилочное содержание животных с применением систем гидросмыва, в большом объёме появились животноводческие стоки, что привело к серьезному обострению проблемы охраны окружающей среды: нитратному и микробному загрязнению почв, воздуха, поверхностных и грунтовых вод. Микробное и общее загрязнение в районе расположения таких комплексов во много раз превышает естественный фон.

Навоз влажностью до 90 % является полужидким, более 95 % — жидким, а свыше 95 % — навозные сточные воды. Так же к животноводческим стокам относится жидкая фракция, получаемая после разделения животноводческих стоков [14]. Для крупных хозяйств объем жидких стоков, составляет от 100 до 1500 куб. м³ в сутки.

Сточные воды животноводческих комплексов, в 1 м³ содержат 0,8 — 1,4 кг азота, 0,3 — 0,7 кг фосфора, 0,4 — 0,8 кг калия, причём 50 — 70% азота находится в легкодоступной для растений форме и хорошо усваивается ими. Состав сточных вод животноводческих комплексов представлен в таблице 5, из которой можно сделать вывод, что они обладают высокой удобрительной ценностью, и их целесообразно утилизировать на сельскохозяйственных полях, где производится продукция растениеводства. Взвешенный осадок в

основном представлен органическими частицами, которые при внесении в почву разлагаются и не приводят к ее заиливанию.

Таблица 5. Состав сточных вод животноводческих комплексов.

№ п/п	Сточные воды	pH	К	NH ₄	P ₂ O ₅	Взвешенный осадок
Концентрация мг/л						
1	Сточные воды свинокомплексов	7,5	274	500	152	1347
2	Сточные воды КРС	7,4	860	420	158	1347

1.2 Сточные воды животноводства и агропромышленного комплекса

В связи с переводом животноводческих комплексов на систему удаления навоза гидросмывом образуется большое количество сточных вод, таблица 6. По данным Росстата поголовье свиней на 2024 год составила 27,8 млн. голов, КРС - 16,4 млн. голов, из которых 7,2 млн. голов молочные коровы [15]. Согласно РДП АПК 1.30.03.01-20, суточный выход навоза влажностью от 95%, что соответствует сточным водам животноводческих комплексов, с одной свиньи составляет 0,022 м³/сут., для молочных коров- 0,094 м³/сут. и мясных - 0,1 м³/сут. Таким образом, годовой объем сточных вод свиней по состоянию на 2024 г. для Российской Федерации составляет 611,6 тыс. м³/сут, молочных коров - 677 тыс. м³/сут., для мясных пород крупного рогатого скота - 920 тыс. м³/сут. [16, 17, 18, 19].

Таблица 6. Количество животноводческих стоков при применении системы удаления навоза гидросмывом

№ п/п	Количество тыс. гол.	Выход экскрементов тыс.м ³ /год	Выход стоков при гидросмыве тыс.м ³ /год
Свиноводческие комплексы			
1	12	36	101
2	24	70	197
3	54	115	334
4	108	240	944
Комплексы КРС по производству мяса			
5	10	95	350
6	20	327	720
7	30	494	1100
Комплексы по производству молока			
8	0,8	16	31
9	1,2	24	46

Согласно приказу Минприроды России от 30 сентября 2011 г. № 792, в Федеральном классификационном каталоге отходов, утвержденном приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. От 02.11.2018) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» навоз относят III - IV классам опасности и считаются органическим удобрением в соответствии с ГОСТ Р 53042-2008 «Удобрения органические. Термины и определения».

В соответствии с ч.1 ст.4.2 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об охране окружающей среды» объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду, в зависимости от уровня такого воздействия подразделяются на четыре категории:

- объекты I категории, оказывающие значительное негативное воздействие на окружающую среду;
- объекты II категории, оказывающие незначительное негативное воздействие на окружающую среду;

- объекты III категории, оказывающие незначительное негативное воздействие на окружающую среду;

- объекты IV категории, оказывающие минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, согласно «Методическим рекомендациям по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета» (утв. и введены в действие Минсельхозом России 23.05.2017) (далее — РД-АПК 1.10.15.02-17) и в соответствии с частью 1 статьи 69.2 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (далее – Федеральный закон «Об охране окружающей среды») лагуны с животноводческими стоками, особенно свиноводческих комплексов, относятся к объектам, оказывающим негативное воздействие на окружающую среду, и подлежат постановке на государственный учет.[20,21,22,]

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) существует пять классов опасности. Сточные воды животноводческих стоков, согласно данной классификации, относятся к III классу опасности, умеренно опасные отходы, которые нарушают экологию, и восстановление примерно – 10 лет. В таблице 7 представлены данные по содержанию азота, фосфора и калия в навозе, из которых видно, что наиболее концентрированным является навоз свиней по сравнению с навозом крупного рогатого скота [23,24,25].

Таблица 7. Сравнительное содержание биогенных элементов в навозе свиней и КРС

№ п/п	Вид животных	Содержание биогенных элементов к сухому веществу, %		
		N (азот)	P ₂ O ₅ (фосфор)	K ₂ O (калий)
1	Крупный рогатый скот	3,2	1,8	5
2	Свиньи	6	3,2	2,5

Азот сам по себе в чистом виде представляет собой инертный элемент,

часто встречающийся в природе в различных соединениях, представленных органической (белки, мочевины) и не органической (аммоний NH_4^+ , нитраты NO_3 и нитриты NO_2^-) формах, и входит в состав аммиака, солей и оксидов. В сточных водах 70% азота от общего содержится в аммонийной форме. Определяющим условием соотношения содержания в водных растворах аммония и аммиака (суммарное содержание которых называется общим аммонийным азотом и обозначается $\text{NH}_3^+/\text{NH}_4$) является водородный показатель pH и значение температуры. При значениях pH 6-8 и температуре 20 – 25⁰С преобладает содержание аммония NH_4^+ , при больших значениях водородного показателя и указанном температурном режиме аммиака NH_3 , следует отметить, что при понижении температуры раствора активность не органических азотных соединений значительно снижается, ПДК не органического азота представлены в таблице 8.

Таблица 8. Предельно допустимые концентрации не органического азота в воде рыбохозяйственного комплекса [26].

№ п/п	Соединение азота	Концентрация мг/л
1	Аммонийный азот NH_4	0,39
2	Аммиачный NH_3	0,05
3	Нитраты NO_3	9,1
4	Нитриты NO_2	0,02

Минеральная часть азота в стоках содержится в основном в виде аммония, нитратов по сравнению с ним мало, но при внесении в почву под действием нитрифицирующих бактерий аммоний трансформируется в нитраты, которые обладают большой подвижностью и не сорбируются почвой, таким образом в почвенном покрове сельскохозяйственных полей, на которых производится сельскохозяйственная продукция растениеводства, образуется избыток NO_3 .

Сначала NH_4 окисляется до нитритов, далее NO_2 переходит в NO_3 . Нитраты могут образовывать легкорастворимые с водой соли азотной

кислоты, так же могут находиться в свободном состоянии в виде нитрат-иона в почвенном растворе.

В основном растения поглощают азот в нитратной форме и имеют различную способность к их накоплению, в таблице 9 представлены допустимые значения содержания NO_3 и NO_2 в кормах, причем часть нитратов, поступивших в растения, также восстанавливается до аммиачной формы. Кормовые культуры, которые возделывают на сельскохозяйственных полях, где утилизируют сточные воды животноводческих комплексов, по степени накопления NO_3 располагаются в следующем убывающем порядке [27]:

- амарант, кукуруза, лебеда на зеленую массу;
- свекла кормовая;
- злаковые травы, овес, пшеница;
- многолетние бобовые травы;
- подсолнух на зеленую массу.

Таблица 9. Максимально допустимое содержание нитратов и нитритов в кормах для сельскохозяйственных животных [28].

№ п/п	Вид корма	Нитраты мг/кг сырого продукта	Нитриты мг/кг сырого продукта
1	Зернофураж	300	10
2	Травяная мука	2000	10
3	Хвойная	1000	10
4	Грубые корма	1000	10
5	Зеленые корма	500	10
6	Силос	500	10
7	Свекла кормовая	2000	10

Продукция растениеводства с высоким содержанием нитратов отличается сниженными сроками хранения, уменьшением сахаристости и низким содержанием витаминов.

Отравление сельскохозяйственных животных происходит при скармливании кормов с высоким содержанием аммиака, окислов азота, гидроксиламина, образовавшихся из нитратов под влиянием денитрифицирующих бактерий, в свою очередь при употреблении таких продуктов животноводства и растениеводства становится опасным для человека [29,30,31].

Отравления нитратами, нитритами и нитрозаминами возникают при поступлении этих ксенобиотиков с пищевыми продуктами. Как правило, продукция животноводства является опасной в токсикологическом плане при скармливании животным кормов с высоким содержанием NO_3 , который накапливается в их мясе и крови, а также в молоке [32]

Ядовитые вещества, по уровню токсикологического влияния на человека, делятся на 4 класса:

- I класс представляет собой чрезвычайно токсичные вещества;
- II класс состоит из высокотоксичных веществ;
- III класс соответственно умеренно токсичные;
- IV класс представлен мало токсичными веществами.

Нитраты и нитриты по своему негативному воздействию на организм человека относятся к III классу опасности, которые оказывают воздействие на кровь, вследствие чего происходит снижение гемоглобина, угнетение иммунной системы человека и заболевания приобретают затяжной характер. Основным источником отравления человека данными веществами являются продукты питания, в том числе мясо, мясные изделия и молочная продукция, то есть продукция животноводства [27].

Еще одним негативным фактором избытка нитратов в почвах сельскохозяйственных угодий по производству продукции растениеводства является, то, что данное минеральное вещество не сорбируется почвенно - поглощающим комплексом (ППК), полностью

растворяется в воде, и с потоками инфильтрационных вод вымывается в подстилающие почву грунты, далее попадает в грунтовые воды, а затем в поверхностные водоисточники [33]. Таким образом, NO₃ являются основными загрязнителями подземных и поверхностных водных объектов, которые используются для водоснабжения населения; производства рыбной продукции; являются зонами рекреации.

1.3 Условия образования сточных вод животноводческих комплексов

Как уже говорилось ранее, существует следующая классификация побочных продуктов животноводства, согласно Федеральному закону от 14 июля 2022 г. № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», статья 2 пункт 1 побочные продукты животноводства - вещества, образуемые при содержании сельскохозяйственных животных, включая навоз, помет, подстилку, стоки, и используемые в сельскохозяйственном производстве. Навоз в зависимости от влажности подразделяется на следующие категории:

- навоз влажностью до 90 % является полужидким;
- при влажности 90 - 95 % — жидким;
- более 95 % — навозные сточные воды.

Так же при применении технологии сепарации навоза получается твердая и жидкая фракция с влажностью 100%, которая относится к сточным водам животноводческих комплексов и к побочным продуктам животноводства.

Существуют следующие способы удаления навоза из помещений для содержания животных: использование подстилки с последующим удалением, подстилочное содержание; механический способ удаления навоза; самосплавной непрерывного и периодического действия; гидравлический; пневматический.

Подстилочное содержание свиней применяется, как правило, при количестве животных до 1000 голов. При данной технологии удаления навоза оборудуются площадки для складирования и естественного обеззараживания навоза, рисунок 3, с последующим внесением в почву, поэтому в данном случае сточные воды животноводства не образуются [34, 35].



Рисунок 3. Площадка для складирования и естественного обеззараживания подстилочного навоза.

При использовании самосплавной системы, рисунок 4, навоз самотеком транспортируется в сборники и далее при помощи насосов перемещается в навозохранилище, но ее применение зависит от текучести экскрементов сельскохозяйственных животных, которая зависит от кормов, используемых в рационе и температуры в помещениях, например, использование силоса и зеленых кормов делает применение данной системы затруднительным.

Системы гидросмыва навоза на животноводческих комплексах применяются при количестве голов от 54 тысяч, рисунок 5, для чего используется техническая вода, при этом расход составляет 20 литров в сутки на голову [36]

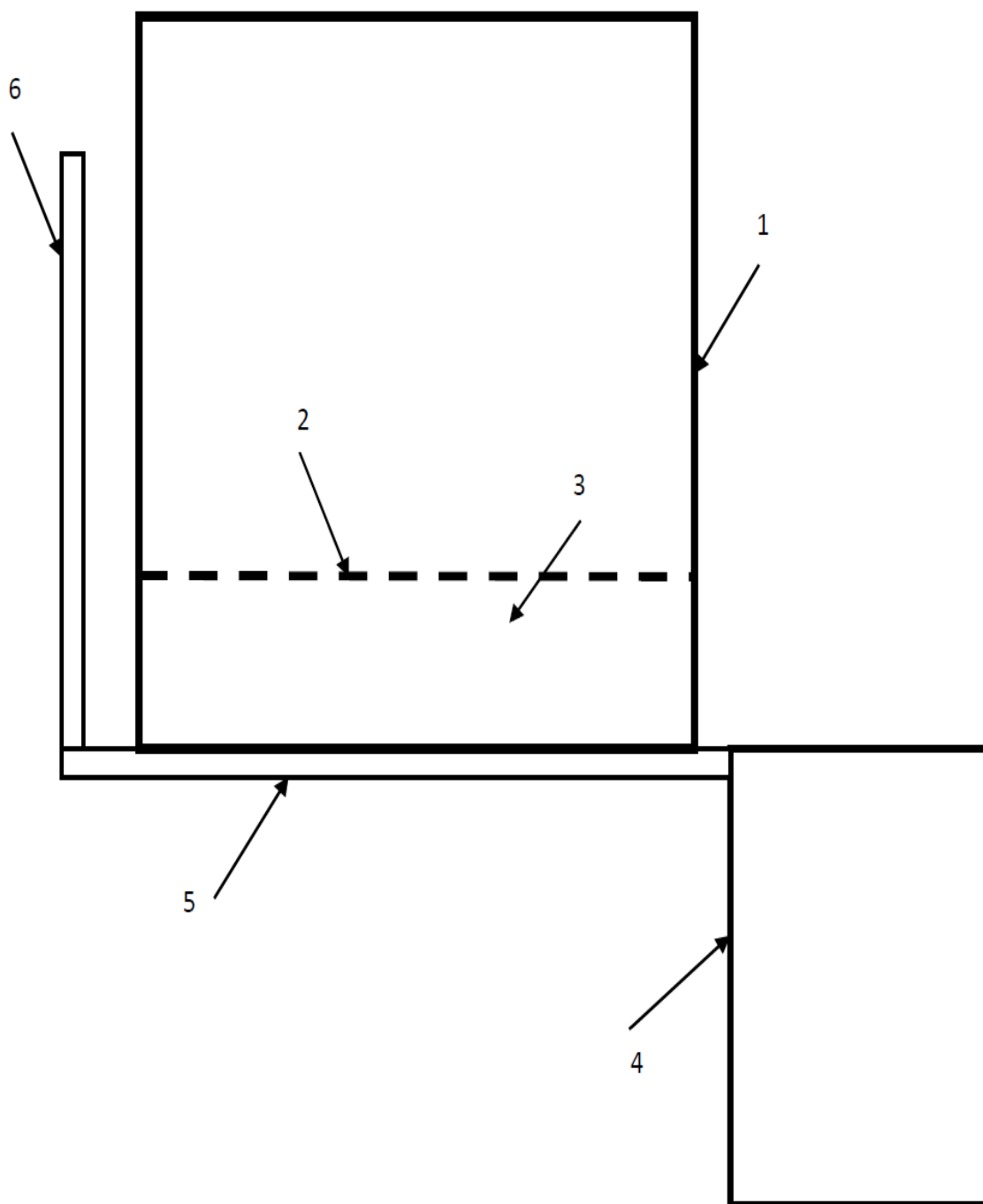


Рисунок 4. Схема самосплавной системы навозоудаления, где: 1 – ферма; 2 – щелевой пол; 3 – навозная ванна; 4 – навозохранилище; 5 – труба навозоудаления; 6 – воздушный клапан.

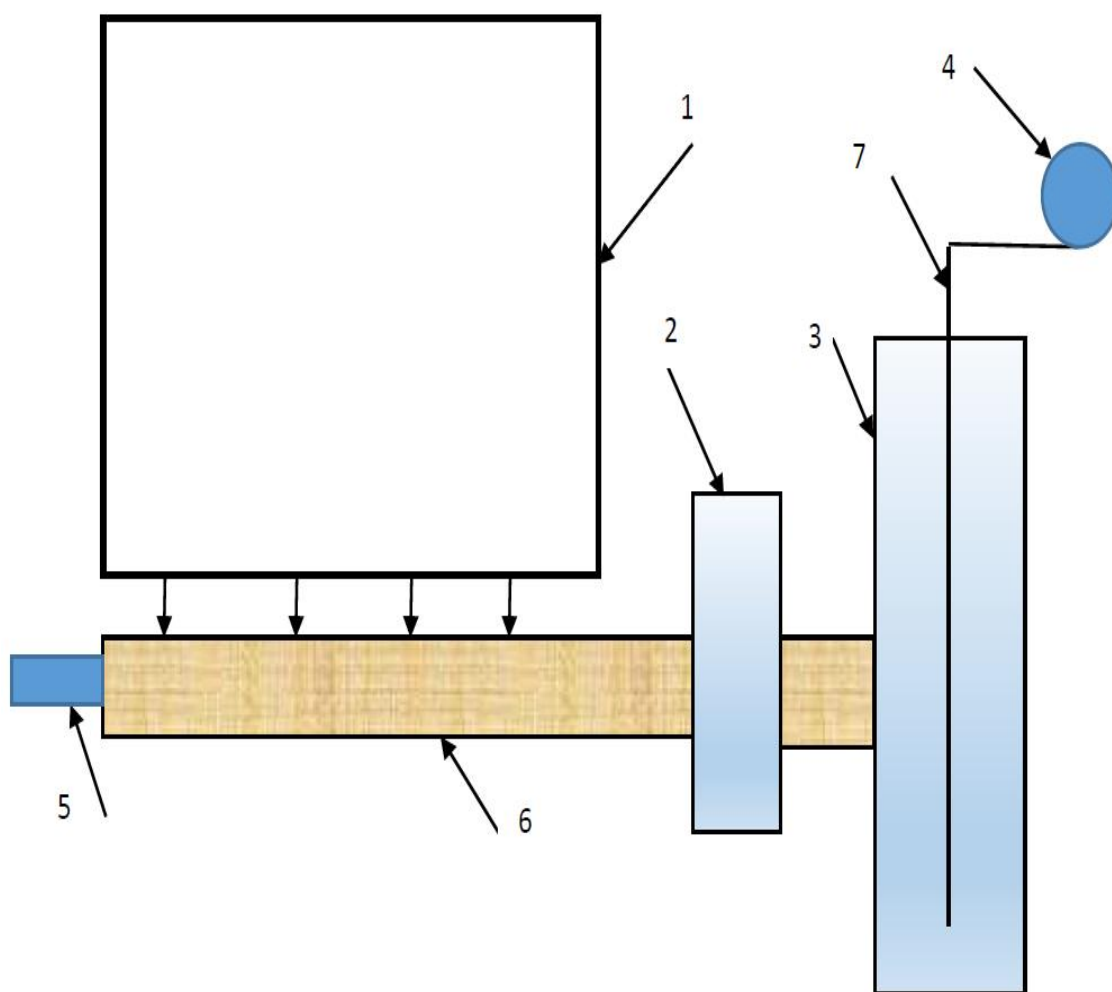


Рисунок 5. Схема гидросмыва навоза, где: 1 – ферма; 2 – колодец уловитель; 3 – навозосборник; 4 – насосная станция; 5 – напорный трубопровод; 6 – самотечный трубопровод; 7 – напорная линия.

В пневматической системе навозоудаления, навоз, поступивший в специальный сборник, удаляется из него сжатым воздухом, схема приведена на рисунке 6.

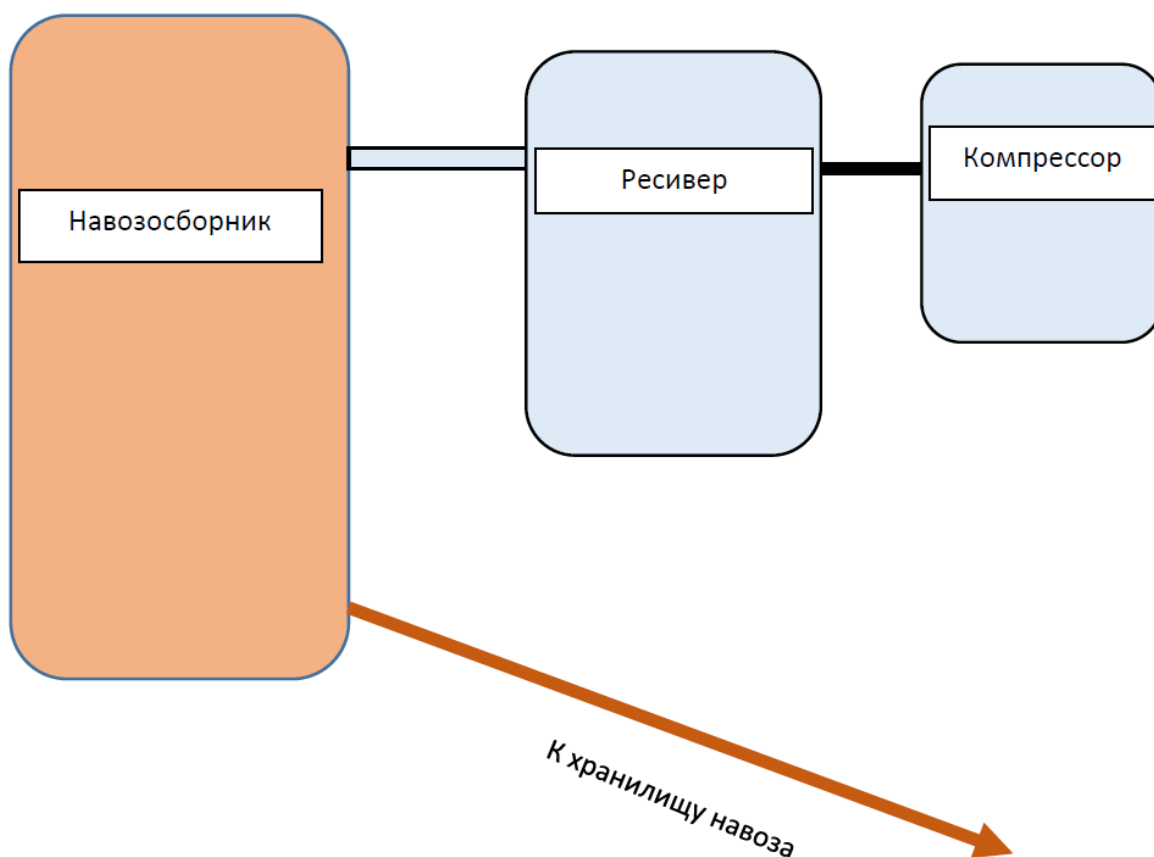


Рисунок 6. Схема пневматического удаления навоза с животноводческих ферм.

Поскольку навоз обладает высокой удобрительной ценностью, его используют в качестве органического удобрения для повышения плодородия почв сельскохозяйственных полей, однако при наличии у сельхозпроизводителей больших площадей возникает логистическая проблема по его доставке до места внесения. Доставка жидкого навоза является трудозатратным и дорогостоящим мероприятием, поэтому его целесообразно разделить на жидкую и твердую фракции.

Твердую фракцию, которая является сточными водами животноводческих комплексов, можно доставить до поля обычным автомобильным транспортом на большие расстояния.

Жидкая фракция перекачивается насосами и насосными станциями по напорным шлангам и трубопроводам на значительные расстояния.

Еще одним преимуществом технологии утилизации навоза с разделением на фракции является сокращение сроков карантина в лагунах, по сравнению с неразделенным навозом [37]:

- выдерживание свиного навоза - в течение 12 месяцев;
- выдерживание жидкой фракции свиного навоза, в весенне-летний период - в течение 6 месяцев, в период осеннего накопления - в течение 9 месяцев

Жидкий навоз, который выходит с животноводческих комплексов и является продуктом всех систем его удаления, за исключением подстилочного метода содержания животных, состоит из сухого вещества, от 7 до 12 %, и гравитационной (свободной) воды и связанной, которую удерживает твёрдая фракция. Способы разделения на фракции, такие как отстаивание, фильтрование и процеживание не эффективны, поэтому для этих целей применяют [38]:

- сепараторы, после которых влажность твердой фракции составляет 55 – 80 %, наибольшее применение получили шнековые и вальцовые;
- центрифуги;
- виброгрохоты;
- гравитационное осветление в вертикальных отстойниках.

Следует отметить, что наибольшее распространение получили такие методы разделения навоза на твердую жидкую фракцию как сепараторы и центрифуги. Эффективность применения сепараторов можно оценить следующим образом, при обработке 1 тонны навоза образуется в среднем 250 кг твердой фракции и соответственно 750 кг жидкой, при условии ее плотности 1 кг/м³. При разделении навоза центрифугами соответственно 150 кг твердой и 850 кг жидкой фракций.

Навоз и сточные воды животноводческих комплексов содержат в себе патогенную микрофлору, основной состав которой приведены в таблице 10 и 11, их которых видно, что в них изначально содержится большое количество опасных для человека и животных возбудителей болезней [39].

Следует отметить, что при применении систем гидросмыва навоза увеличивается срок выживаемости патогенных микроорганизмов и бактерий, и по этой причине, соответственно увеличивает время карантина жидкого навоза и сточных вод животноводческих комплексов в лагунах, если не применять дополнительные способы его обеззараживания. Таким образом, при использовании методов гидросмыва навоза требуется большее количество лагун, что требует больших материальных и финансовых затрат, и как следствие увеличение стоимости продукции животноводства.

Таблица 10. Средние бактериологические показатели навоза КРС при подстилочном и бесподстилочном способах его удаления.

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Вид навоза	
			Подстилочный	Бесподстилочный
1	рН		5,7	6,0
2	ОМЧ	КОЕ/г	$7,0 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^7$
3	Количество бактерий групп кишечной палочки	КОЕ/г	$3 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^7$
4	Количество стафилококков	КОЕ/г	$2,0 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$

Таблица 11. Средние бактериологические показатели навоза свиней при подстилочном и бесподстилочном способах его удаления.

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Вид навоза	
			Подстилочный	Бесподстилочный
1	рН		6,9	7,4
2	ОМЧ	КОЕ/г	$5,4 \cdot 10^7$	$3,1 \cdot 10^8$
3	Количество бактерий групп кишечной палочки	КОЕ/г	$2,7 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^7$
4	Количество стафилококков	КОЕ/г	$2,2 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^6$

Таким образом, побочные продукты животноводства необходимо подвергнуть детоксикации для дальнейшего использования и утилизации.

1.4 Выводы по первой главе

1. На животноводческих фермах агропромышленных комплексов АПК образуется большое количество навозных сточных вод, которые относятся к побочным продуктам животноводства, ППЖ, и занимают значительное место по сравнению с остальными стоками АПК.

2. Несмотря на свою высокую удобрительную ценность, стоки являются непосредственной угрозой для экологии, качества растениеводческой, мясной и молочной продукции, и как следствие здоровья человека.

3. Сточные воды животноводческих стоков относятся к III классу опасности, умеренно опасные отходы, которые нарушают экологию, а восстановление занимает примерно – 10 лет.

4. Минеральная часть азота в стоках содержится в основном в виде аммония, нитратов по сравнению с ним мало, но при внесении в почву под действием нитрифицирующих бактерий аммоний трансформируется в нитраты. Продукция растениеводства с высоким содержанием нитратов отличается сниженными сроками хранения, уменьшением сахаристости и низким содержанием витаминов.

5. Отравление сельскохозяйственных животных происходит при скармливании кормов с высоким содержанием аммиака, окислов азота, гидроксиламина, образовавшихся из нитратов под влиянием денитрифицирующих бактерий

6. Как правило, продукция животноводства является опасной в токсикологическом плане при скармливании животным кормов с высоким содержанием NO_3 , который накапливается в их мясе и крови, а также в молоке.

2 СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПОСОБЫ ДЕТОКСИКАЦИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ И ТЕХНОЛОГИИ ВНЕСЕНИЯ В ПОЧВУ

2.1 Технология сбора и хранения побочных продуктов животноводства

Технология сбора и хранения побочных продуктов животноводства, в том числе сточных вод животноводческих комплексов, предусматривает их разделение на жидкую и твердую фракции, с последующим хранением в специальных накопителях, лагунах или навозохранилищах для дезинфекции. Срок выдерживания составляет 12 месяцев при естественной биологической очистке, и 6 месяцев при использовании специальных препаратов, при этом не учитывается снижение концентрации азотных соединений, и то, что внесение стоков методом заправки, который является наиболее распространенным, возможно только в весенний и осенний период [40,41].

Навозохранилища представляют собой выемки в грунте с облицовкой из железобетона или металла, для предотвращения инфильтрации сточных вод животноводческих стоков в грунтовые воды, для предотвращения их загрязнения. Наиболее предпочтительным, при обустройстве данных сооружений, является использование противофильтрационных экранов из бетонных компонентов, поскольку они не подвержены коррозии в отличие от металлических. Схема железобетонного навозохранилища представлена на рисунке 7, следует отметить, что при устройстве вертикальных откосов, что возможно только при использовании данного материала для противофильтрационного экрана, значительно сокращается объем земляных работ, и увеличивается срок службы сооружения, по сравнению с пленочными лагунами.

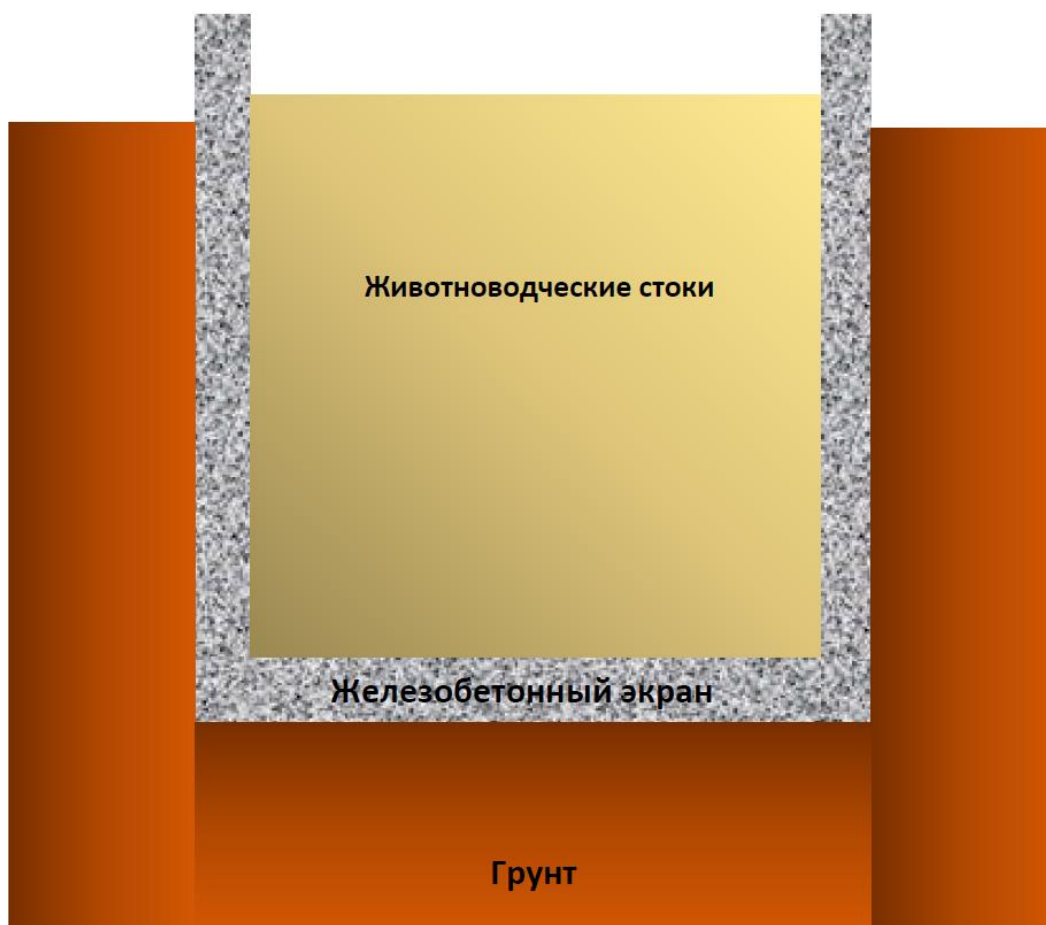


Рисунок 7. Схема навозохранилища с железобетонным противοфилътрационным экраном.

Наибольшее распространение для хранения и карантина сточных вод животноводческих комплексов получили лагуны, по причине их более низкой стоимости и более коротких сроках строительства, по сравнению с навозохранилищами с железобетонным противοфилътрационным экраном.

Существует два вида лагун для хранения побочных продуктов животноводства, открытые и закрытые. Конструкция и общий вид открытых лагун представлен на рисунках 8, 9, из которых видно, что данное сооружение, в настоящее время, представляет собой выемку в грунте с пленочным покрытием для предотвращения филътрации сточных вод животноводческих комплексов через подстилающие грунты в подземные воды, что исключает их загрязнение, с последующим его распространением в поверхностные водоисточники. Следует отметить, что данный тип лагун получил наибольшее распространение, по сравнению с другими противοфилътрационными

экранами, такими как железобетонные, поскольку затраты на их строительство на порядки ниже, что снижает сроки окупаемости производства продукции животноводства и снижает ее себестоимость. Конструкция закрытой лагуны отличается тем, что ее поверхность закрывается пленкой, для минимизации испарений с поверхности животноводческих стоков, хранящихся в ней.



Рисунок 8. Общий вид лагун с пленочной гидроизоляцией.

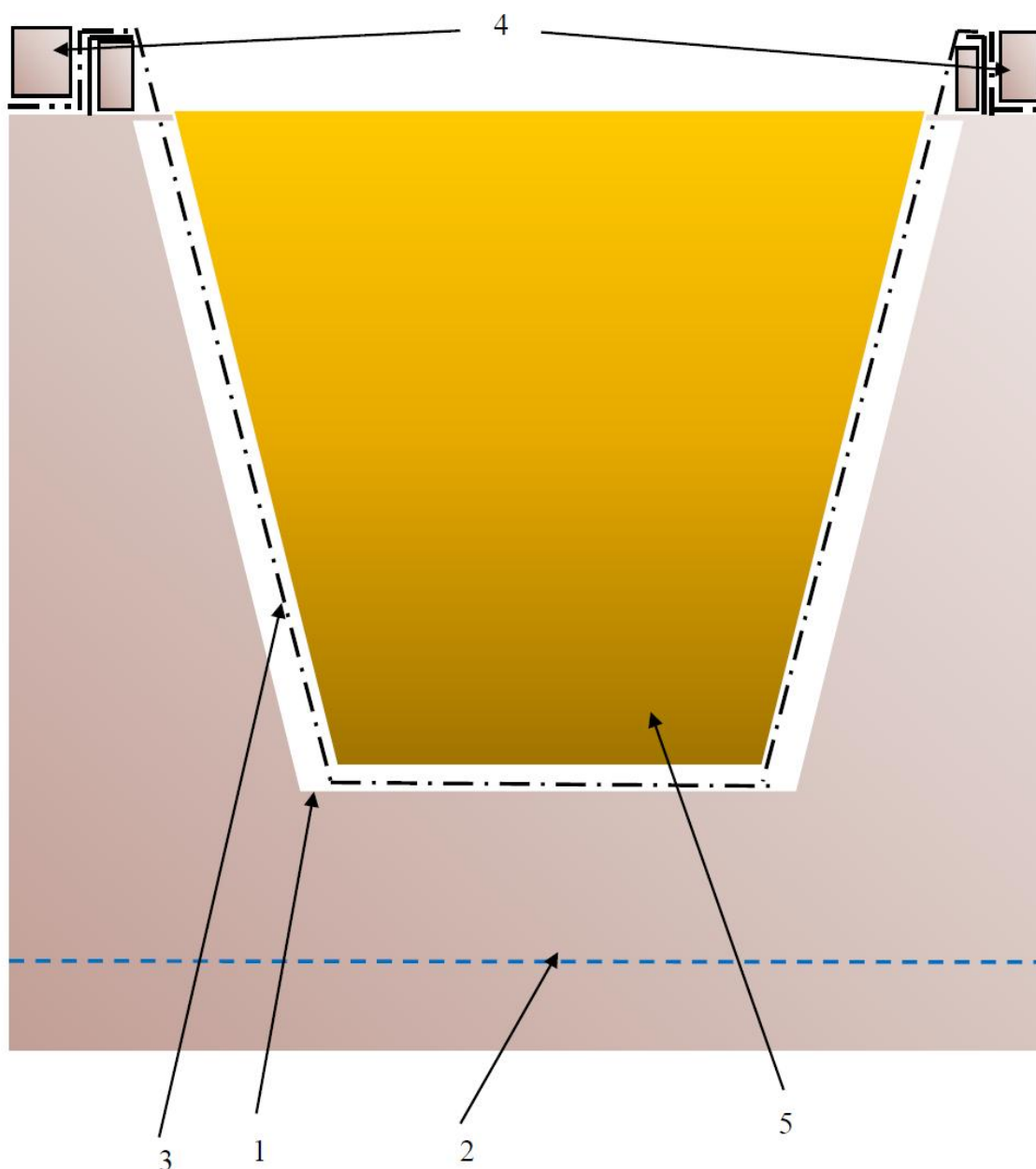


Рисунок 9. Схема конструкции открытой пленочной лагуны для хранения животноводческих стоков, где: 1 – выемка в грунте; 2 – уровень грунтовых вод; 3 – пленочная гидроизоляция; 4 – земляной замок; 5 – животноводческие стоки.

Недостатком, с экологической точки зрения, открытых лагун является то, что с их поверхности активно испаряется аммиак, который загрязняет атмосферу, в случае эксплуатации закрытой конструкции, газ системой труб собирается в резервуар, тем самым достигается исключение данного негативного фактора.

2.2 Методы обеззараживания сточных вод животноводческих комплексов

Для сокращения сроков карантина навоза и его жидкой фракции, которая выдерживается в лагунах, применяются различные методы обеззараживания [42,43]:

- термический - методом сушки;
- компостирование;
- анаэробные методы;
- химические;
- ультрафиолетовое облучение;
- электролиз.

Термический или метод сушки заключается в том, что жидкая фракция навоза, после разделения, поступает в резервуар накопитель, далее в теплообменник, где нагревается до 60⁰С (первая стадия), затем до 130 – 140⁰С, выдерживается 30 минут и охлаждается до 40⁰С, после чего считается безопасной. Следует отметить, что данный способ обеззараживания энергоемкий и требует больших затрат энергии, к тому же на крупных животноводческих комплексах образуется большой объем ППЖ, и поэтому применение данного способа затруднительно, поскольку он рассчитан на относительно не большие объемы животноводческих стоков.

Существует две технологии компостирования навоза пассивный и активный. Пассивный заключается в промешивании навоза, влажностью не более 75%, с наполнителем, таким как торф, солома, опилки с последующим выдерживанием в буртах, летний период 2 месяца, зимний 3 месяца.

С помощью активного метода компостирования перерабатывают твердую фракцию разделенного навоза, он заключается аэрировании буртов, а также возможно внесение биологических добавок, время выдерживания составляет 1,5 месяца.

Данный способ не применим к сточным водам животноводческих

комплексов и жидкому навозу, поскольку имеются ограничения по влажности.

Анаэробный метод обеззараживания навоза заключается в его сбраживании в специальных биоэнергетических установках в двух режимах: мезофильный, при температуре 33 – 38⁰С; термофильный, 53 – 55⁰С соответственно.

К недостаткам данного метода следует отнести дорогостоящие оборудование для его реализации, и требования к соотношению углерода и азота, С : N, которое должно быть 10 – 16, для обеспечения экономической эффективности данного способа, которая заключается в объемах получаемого биогаза, качества процесса сбраживания, а следовательно, и качества обеззараживания

Как правило, химические методы обеззараживания применяются для жидкой фракции навоза, образующейся после его разделения. Для обеззараживания используют растворы формальдегида в соотношении 7 литров вещества, с концентрацией 38%, на 1 м³ с перемешиванием не менее 6 часов; хлорирование проводится сухой хлорной известью с содержанием в ней хлора >24%, из расчета 0,5 кг на 20 литров стоков [44,45.46]. К данным методам очистки также относится озонирование, рисунок 10, которое заключается в насыщении сточных вод животноводческих комплексов озоном вырабатываемым генератором [47].

К недостаткам химических методов обеззараживания стоков животноводческих комплексов следует отнести, то, что в них остаются реагенты, которые необходимо удалять, и в своем начальном виде полученный продукт опасен для дальнейшей утилизации.

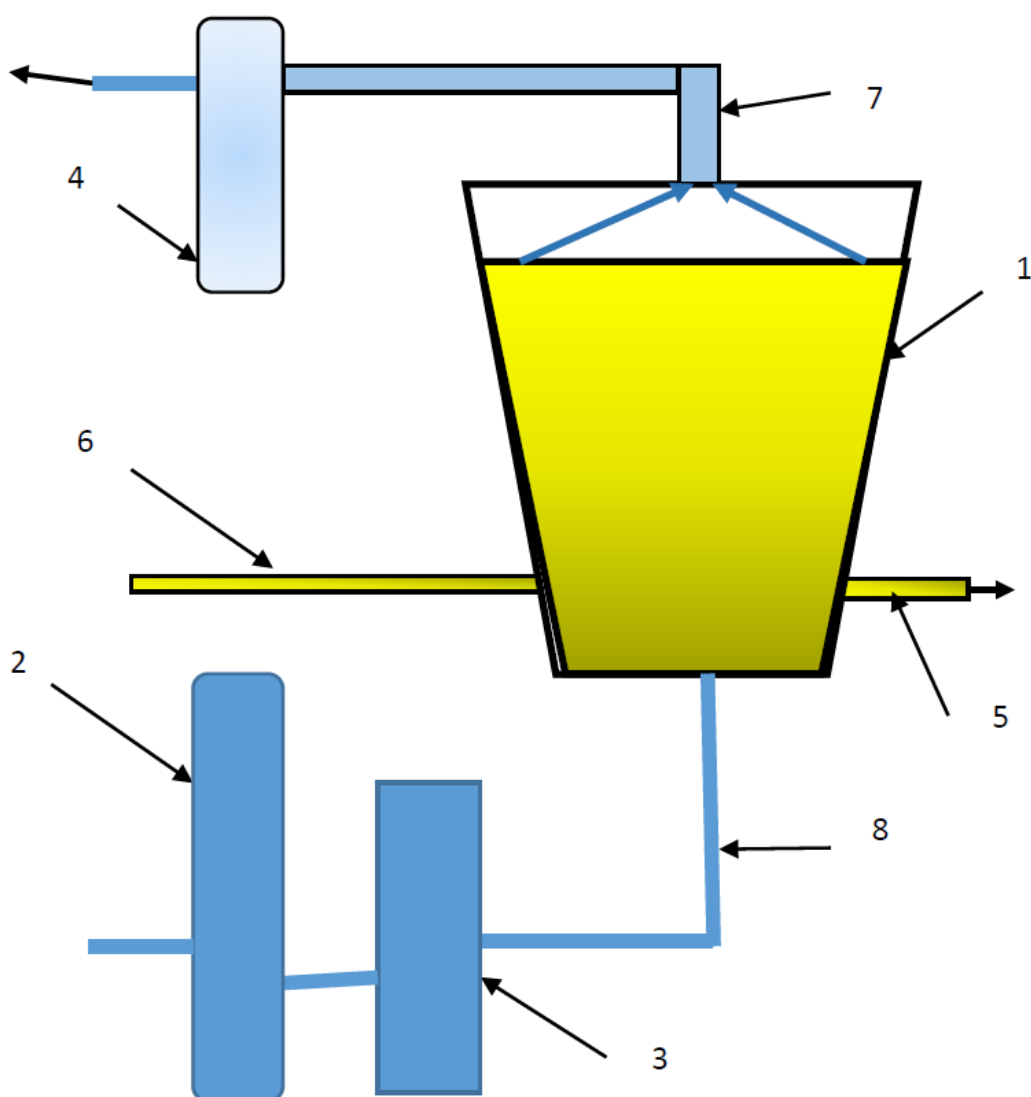
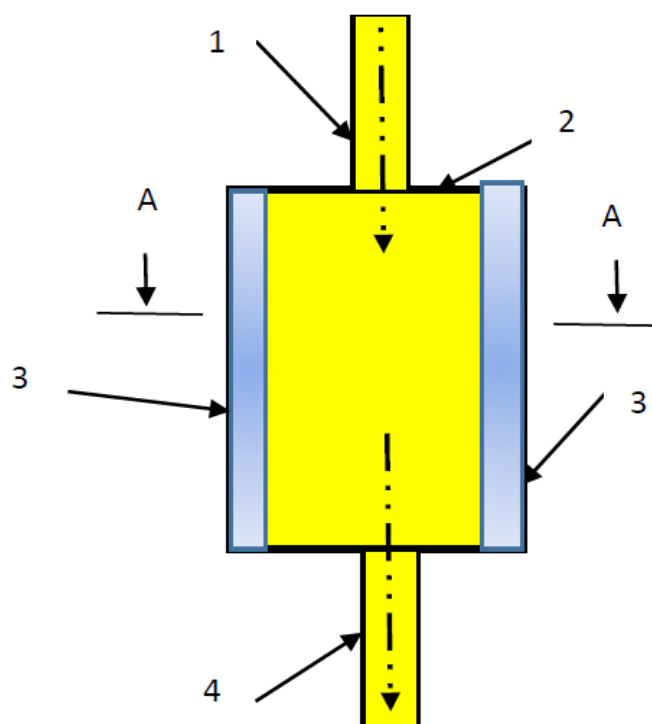


Рисунок 10. Схема установки обеззараживания сточных вод озонированием:

1 – контактная камера с животноводческими стоками; 2 – концентратор кислорода; 3 - генератор озона; 4 – деструктор озона; 5 – отвод стоков после обработки озоном из контактной камеры; 6 – подача сточных вод в контактную камеру; 7 – магистраль отвода избыточного озона из контактной камеры; 8 – магистраль подвода озона к контактной камере.

Ультрафиолетовое облучение животноводческих стоков происходит в отдельной емкости, куда подаются осветленные животноводческие стоки, где размещается пакет УФ ламп, схема приведена на рисунке 11 [48].



Разрез А – А

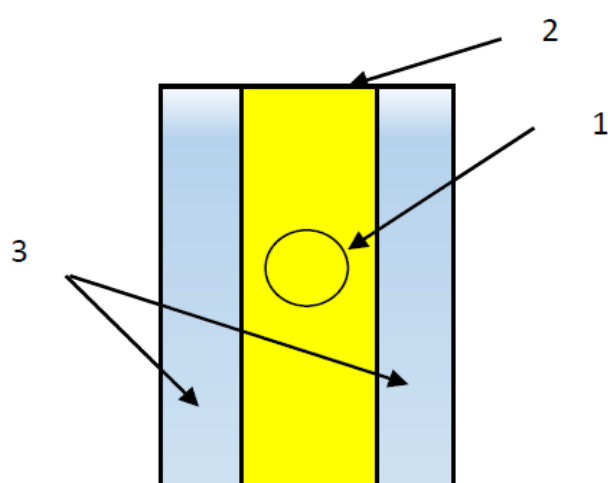


Рисунок 11. Схема обеззараживания осветленных животноводческих стоков УФ излучением, где: 1 – магистраль подачи стоков на обработку; 2 – камера облучения; 3 – блоки с УФ лампами; 4 – магистраль отвода обработанных стоков.

К недостаткам данного способа можно отнести следующие: ограниченный ресурс УФ ламп, и как следствие снижение эффективности в процессе эксплуатации; необходимость обеспечения прозрачности сточных вод животноводческих комплексов, от которой зависит эффективность

обеззараживания.

В процессе электролизного обеззараживания воды микроорганизмы нейтрализуются воздействием озона, перекиси водорода и других химических элементов и соединений, которые выделяются и образуются на электродах установки при пропускании через жидкость постоянного электрического тока. Источником «сырья» для получения всех перечисленных веществ являются содержащиеся в любой неочищенной воде соли, а также составляющие её водород и кислород [49].

Очистка сточных вод животноводческих комплексов электролизом относится к безреагентному способу, и дает двойной эффект:

1. Обеззараживание обрабатываемого водного раствора.
2. Удаление из него солей, таких как аммонийные соединения.

Следует отметить, что при использовании электролиза не требуется доочистка стоков от остатков реагентов, которые могут нанести вред почве сельскохозяйственных угодий, растениеводческой и животноводческой продукции, а также окружающей среде, может возникнуть при использовании реагентных способов.

Классификация способов электрохимической обработки сточных вод представлена на рисунке 12. Применимо к сточным водам животноводческих комплексов, следует отметить, что в результате воздействия электрических полей происходит деструкция аммонийных соединения и электрокоагуляция материала электродов, анода, если он выполнен из растворимых материалов, таких как железо или алюминий, с образованием соответственно гидроксидов данных металлов.

Электрохимические способы		
Способы превращения	Способы разделения	Комбинированные способы
Электрофлото - коагуляция	Электрофлотация	Электрофлото - коагуляция
Электрохимическая деструкция	Электродиализ	Электрокаталитическая деструкция
Электро - кристаллизация	Электроосмос	Комплекс электровоздействий
Электро - окисление	Электрофорез	Электроосаждение
Электровосстановление	Электрофильтрование	Электрохимическое обеззараживание

Рисунок 12. Классификация электрохимических способов очистки сточных вод [50]

Принцип действия электрических полей заключается в следующем, при прохождении через сточные воды животноводческих комплексов постоянного тока происходят окислительно – восстановительные реакции, которые приводят к разрушению веществ и уничтожению микроорганизмов. В таблице 12 приведены данные по содержанию болезнетворных бактерий, до и после обработки стоков электрическими полями, из которых можно сделать заключение об эффективности обеззараживания стоков животноводческих комплексов электролизом [51].

Таблица 12. Содержание бактерий в сточных водах животноводческих комплексов до и после воздействия электрических полей

№ п/п	Наименование показателей	Содержание до обработки	Содержание после обработки
1	Термотолерантные коли-морфные бактерии (ТКБ)	выделены $8,4 \times 10^{12}$ КОЕ в 100 мл	не выделено
2	Общие колиморфные бактерии (ОКБ)	выделены $8,4 \times 10^{12}$ КОЕ в 100 мл	не выделено
3	Колифаги	не выделены	не выделено
4	Патогенные энтеробактерии	не обнаружены	не обнаружено

Стоки содержат в себе большие концентрации минеральных соединения, что обеспечивает их высокую проводимость для электрического тока, и не требует введения в них дополнительных химических реагентов, при этом происходит снижение концентрации солей в сточных водах, их обеззараживание, частичное или полное, и как результат снижение сроков карантина что ведет к сокращению количества лагун, повышению экологической безопасности и качеству растениеводческой и животноводческой продукции.

К преимуществам данного способа обеззараживания можно отнести: высокую эффективность; двойное воздействие на сточные воды животноводческих комплексов, а именно обеззараживание и снижение концентрации азотных соединений; простота конструкции и доступность материалов; отсутствие химических реагентов.

2.3 Методы внесения стоков животноводческих комплексов на сельскохозяйственные поля

Завершающей операцией утилизации сточных вод животноводческих комплексов является их внесение в почву сельскохозяйственных полей по производству продукции растениеводства. Наибольшее распространение получили следующие методы их внесения:

1. Орошение сельскохозяйственных культур дождеванием;
2. Внутрипочвенный полив;
3. Поверхностный полив по бороздам или полосам;
4. Распределение по полю с помощью систем жидкого внесения удобрений;
5. Внесение методом заправки.

Полив сельскохозяйственных культур дождеванием можно проводить в течение всего вегетационного периода, при этом стоки животноводческих комплексов подаются к дождевальным машинам из лагун после их обеззараживания, о чем говорилось выше. Применение данной технологии предусматривает предварительное разбавление стоков водой в соотношении 1:3-10, поскольку они содержат высокие концентрации минеральных соединений, что негативно сказывается при попадании капель на листовую поверхность сельскохозяйственных растений. Следует отметить, что при данной технологии внесения на полях запрещено возделывания продукции растениеводства, которая может идти в пищу в сыром виде без тепловой обработки, так, как в разбавленных животноводческих стоках сохраняется высокая вероятность наличия гельминтов, кишечной палочки и других болезнетворных организмов. Уровень грунтовых вод должен находиться на глубине не менее 2 метров от поверхности, для минимизации риска их загрязнения минеральными веществами, в основном азотными соединениями в нитратной и аммонийной формах.

Внесение разбавленных животноводческих стоков может

осуществляется дождевальными машинами стационарного, находящимися на одной позиции, полустационарного, перемещаемые с позиции на позицию и мобильного, перемещаемы по полям, типа, рисунок 13, при этом подача поливной воды производится по стационарным или сборно – разборным трубопроводам, а также гибким шлангам.



А) стационарного типа



Б) полустационарного типа



В) мобильного типа

Рисунок 13. Типы дождевальных машин, используемых на полях орошения сельскохозяйственных культур животноводческими стоками.

Внутрипочвенный полив производится с помощью капельных лент, трубопроводов или специального влагопроводящего полотна, заглубленных в корневую зону растений. Данный вид орошения на больших площадях не применяется.

Поверхностный полив заключается в том, что по уклону поля нарезают борозды, при возделывании пропашных культур, кормовая свекла и т.д., или полосы при выращивании растений сплошного сева, многолетние травы, соя

овес, рапс, злаковые, по которым пускается поток воды, и при передвижении он впитывается в почву, рисунок 14, следует отметить, что данные способы орошения при утилизации сточных вод животноводческих комплексов используется редко, по причине необходимости планировки поверхности полей и нарезки борозд и полос каждый раз перед посевом культур, за исключением вариантов возделывания многолетних растений.



А) полив по бороздам



Б) полив по полосам

Рисунок 14. Поверхностные способы полива сельскохозяйственных культур.

Метод внесения стоков животноводческих комплексов с помощью систем жидкого внесения удобрений получил большее распространение, чем вышеперечисленные, его преимущество заключается в том, что он не требует высоких капитальных затрат на строительство инфраструктуры оросительных систем, однако внесение стоков животноводческих комплексов возможно

только во вневегетационный период, то есть два раза в год - весной и осенью.

Для этих целей широкое распространение получили спредеры или машины для внесения жидких удобрений, которые производят самозагрузку из лагун и навозохранилищ, транспортировку и внесение на поле, которые представлены в таблице 13 и на рисунке 15, выпускаемые отечественной промышленностью и поставляемые на наш рынок. Данные машины выпускаются на шинах низкого давления для снижения уплотняющего воздействия на почву [52,53].

Внесение стоков животноводческих комплексов, в весенний период приурочивают к допосевному (основному) внесению удобрений, которое является основным, в данный период вносится $2/3 - 3/4$ объема от годового [54]. При поверхностном распределении по полю следующей операцией является заправка внесенных стоков, которая производится плугами, дисковыми боронами или культиваторами.

Осеннее внесение стоков животноводческих комплексов, как правило, проводят под зяблевую вспашку. Следует отметить, что внесение избыточного количества азота ведет к негативным последствиям для сельскохозяйственных растений, таких как их полегание, поражение вредителями, ухудшения качества (о чем говорилось в предыдущей главе), поэтому концентрация аммонийных соединений в сточных водах, при внесении их в качестве удобрений является одним из основных требований для их применения [55].

Таблица 13. Технические характеристики спредеров

№ п/п	Технические характеристики	Единицы измерения	Производитель, марка машины			
			«Орёлстроймаш» МВ-4,2	Fimaks - 10000	«Бобруйскагромаш» МЖУ – 20	Бобруйскагромаш» МЖУ – 25
1	Производительность	т/ч	20	25 – 30	45 – 65	74
2	Агрегатируемость	тс	1,4-2	1,4-2	4 – 5	5 и выше
3	Количество обслуживающего персонала	чел	1	1	1	1
4	Транспортная скорость	км/ч	25	25	20	20
5	Доза внесения удобрений	т/га	6 – 12		40 – 80	40 – 80
6	Масса	кг	1600	3400	8500	7350
7	Время самозагрузки	мин	5	7	10 – 12	10
8	Глубина забора при самозагрузке	м	6	4	3,5	2,8
9	Ширина внесения	м	6 – 12	5 – 10	н/д	н/д
10	Рабочая скорость	км/ч	6 – 12	6 – 10	8 – 12	8 – 12



А) «Орёлстроймаш» МВ-4,2



Б) Fimaks - 10000



В) «Бобруйскагромаш» МЖУ – 20

Рисунок 15. Жидкие разбрасыватели удобрений.

Спредеры могут агрегатироваться с системами внутрипочвенного внесения стоков животноводческих комплексов, рисунок 16, с глубиной заправки 10 – 30 см.



Рисунок 16. Система внутрисочвенного внесения жидких удобрений на спредере.

К достоинству данной технологии внесения предварительно подготовленных сточных вод животноводческих комплексов следует отнести отсутствие затрат на строительство и эксплуатацию системы трубопроводов, насосных станций и арматуры, необходимости планировки полей и ежегодной нарезки поливных борозд и полос, по сравнению с оросительными системами, возможность возделывания на полях культур употребляемых в пищу в сыром виде без предварительной тепловой обработки, поскольку болезнетворные микроорганизмы, такие как гельминты и бактерии кишечной палочки после весеннего внесения стоков погибают в течении вегетационного периода, за счет обеззараживающего свойства почв, при этом нет необходимости соблюдать требования к санитарным зонам, поскольку нет попадания загрязняющих веществ в атмосферу.

К недостаткам следует отнести высокие транспортные расходы, и внесение сточных вод животноводческих комплексов два раза в год, вне вегетационного периода возделываемой продукции растениеводства, что требует большее количество лагун для их хранения и карантина.

Следующей технологией внесения стоков животноводческих

комплексов в почву сельскохозяйственных полей по производству продукции растениеводства, получившее наибольшее распространения являются шланговые системы внесения, которые представлены на рисунке 17.



Рисунок 17. Принципиальная схема внесения стоков животноводческих комплексов в почву шланговой системой [54].

В структурную схему данной системы входит: насосная станция для закачки животноводческих стоков из лагуны, и создания требуемого напора; магистральный шланг; буксируемый шланг; буксирующий трактор, обеспечивающий распределение стоков по полю. По способу распределения они делятся на поверхностные, стоки распределяются по поверхности почвенного покрова, с последующей заделкой, о чем говорилось выше, и с заделкой в почвенный слой, рисунок 18, внесение по такой технологии возможно только во вневегетационный период, то есть два раза весной и осенью, когда на поле отсутствуют сельскохозяйственные культуры.



А) внутрипочвенное внесение сточных вод животноводческих комплексов



Б) поверхностное внесение сточных вод животноводческих комплексов

Рисунок 18. Внесение сточных вод животноводческих комплексов
шланговыми системами [56,57,58,59,60].

Для внутрипочвенного внесения стоков животноводческих комплексов

наибольшее распространение получили следующие рабочие органы, такие как:

- рабочие органы чизельного типа;
- специализированные рабочие органы Dietrich 70MSD стрельчатого типа;
- рабочие органы для щелевая;
- дисковые прорезающие ножи.

Рабочие органы чизельного типа, рисунок 19, предназначены для безотвальной обработки почвы, и подходят для конструкций внутрипочвенного внесения стоков и жидкого навоза.



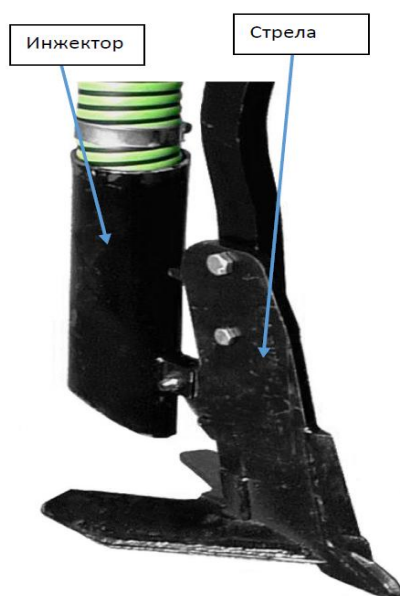
Рисунок 19. Рабочий орган чизельного типа.

Органы стрельчатого типа Dietrich 70MSD, рисунок 20, обеспечивают внесение сточных вод животноводческих комплексов и жидкого навоза в почвенный покров сельскохозяйственных полей на глубину от 0,05 до 0,4 м, соответственно от глубины заделки подбирается машина с соответствующим тяговым усилием. Данный способ как правило применяется как на пахотных землях, так и при технологии минимальной обработки почвы, то есть при неглубокой обработке плодородного слоя и максимально возможного сохранения его структуры. Данный рабочий орган в основном применяется для внесения небольших и средних объемов животноводческих стоков и жидкого навоза. Следует отметить, что рабочий орган для внесения

животноводческих стоков и навоза Dietrich 70MSD и чизельного типа практически одинаковы.



А) рабочий орган в работе



Б) конструкция рабочего органа

Рисунок 20. Рабочий орган стрельчатого типа Dietrich 70MSD.

Применение технологии щелевания, рисунок 21, для внутripочвенного внесения, используется для заделки побочных продуктов животноводства на глубину от 0,45 м, что является не желательным с агрономической и

экологической точки зрения, поскольку стоки вносятся в подпочвенный слой, и значительная их часть фильтруется в грунтовые воды, и не потребляется растениями, и не подвергается очищающим действием почвенного слоя.



Рисунок 21. Рабочий орган для щелевания почвы [61].

На сельскохозяйственных полях для выращивания продукции растениеводства с нулевой технологией обработки почвы, которая исключает операции по вспашки, боронованию и ее дискованию, посадка растений производится с помощью про резания поверхностного слоя и внесения специальными сеялками семян, что исключает нарушение структуры плодородного слоя, исключает водную и ветровую эрозию, снижает материальные и экономические затраты. Как правило данная технология часто используется при первичном освоение земель, для снижения срока окупаемости сельхозпредприятия, и уменьшения затрат на единицу производимой продукции. Для таких угодий при внесении животноводческих стоков и жидкого навоза в рабочих органах используются дисковые прорезающие ножи, рисунок 22, для обеспечения внутрипочвенного внесения

побочных продуктов животноводства.



Рисунок 22. Дисковые прорезающие ножи.

По классификации транспортных систем шланговый способ внесения побочных продуктов животноводства относится к гидравлическому трубопроводному транспорту и одна такая система позволяет вносить до 3 тыс. м³ животноводческих стоков и жидкого навоза за смену.

В таблице 14 приведены средние производственные затраты при внесении стоков животноводческих комплексов, с учетом цен на 2024 год по официальным данным Росстата, и жидкого навоза с помощью спредеров, и шланговых систем, при следующих показателях, свинокомплексов 4800 голов, дальность транспортировки 3,6 - 6 км, количество спредеров 5 емкостью 20 м³ каждый, из которых видно, системы гидравлического трубопроводного транспорта более эффективны чем цистерны по производительности, экономическим и материальным затратам [62].

Таблица 14. Средние показатели производственных затрат по внесению животноводческих стоков и жидкого навоза с учетом базовых цен на 2024 год [62].

№ п/п	Показатели	Шланговая система (ШС) жидкий навоз			Шланговая система (ШС) животноводческие стоки			Спредеры, жидкий навоз		
		кол-во	затраты на ед. тыс. руб.	сумма тыс. руб.	кол-во	затраты на ед. тыс. руб.	сумма тыс. руб.	кол-во	затраты на ед. тыс. руб.	сумма тыс. руб.
1	Состав системы	ШС, трактор			ШС, трактор, система разделения на фракции			Спредер, трактор		
2	Производительность системы, м ³ /ч	154	-	-	162	-	-	24,4	-	-
3	Эксплуатационные затраты, всего за сезон	-	-	902,6	-	-	952,4	-	-	1148,1
4	Рабочий период ШС и спредеров, мото/ч	784	-	-	665	-	-	4949	-	-
5	Расход топлива, всего, тыс. л/год	104,2	33	3437,5	66,4	33	2190,9	160,3	33	5291,4
6	Расход масла, % от расхода топлива	2,5	41,1	107,3	2,5	41,1	68,4	2,5	41,1	
7	Расход ГСМ, всего	-	-	3544,8	-	-	2259,8	-	-	6604,6
8	Всего прямых затрат	-	-	7992,2	-	-	5471,5	-	-	13044,1
9	Удельные затраты на внесение 1 м ³ жидкого навоза	-	-	36,9	-	-	26,6	-	-	54,8

Примечание: данные в таблице представлены без учета амортизации.

2.4 Выводы по главе 2

1. Наиболее эффективны химические методы обеззараживания жидкой фракции навоза, образующейся после его разделения. Их существенным недостатком является то, что в них остаются реагенты, которые необходимо удалять, и в своем начальном виде полученный продукт опасен для дальнейшей утилизации.

2. В процессе электролизного обеззараживания сточных вод животноводческих комплексов микроорганизмы нейтрализуются воздействием озона, перекиси водорода и других химических элементов и соединений, которые выделяются и образуются на электродах установки при пропускании через жидкость постоянного электрического тока.

3. Очистка сточных вод животноводческих комплексов электролизом относится к безреагентному способу, не требующей доочистки стоков от остатков реагентов, которые могут нанести вред почве сельскохозяйственных угодий, растениеводческой и животноводческой продукции.

4. Стоки содержат в себе большие концентрации минеральных соединения, что обеспечивает их высокую проводимость для электрического тока, и не требует введения в них дополнительных химических реагентов, при этом происходит снижение концентрации солей в сточных водах, их обеззараживание.

5. К преимуществам электролизного способа обеззараживания можно отнести: высокую эффективность; двойное воздействие на сточные воды животноводческих комплексов, а именно обеззараживание и снижение концентрации азотных соединений; простоту конструкции и доступность материалов; отсутствие химических реагентов.

6. Технологией внесения стоков животноводческих комплексов в почву сельскохозяйственных полей по производству продукции растениеводства, получившей наибольшее распространения, являются шланговые системы.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ДЕТОКСИКАЦИИ СТОКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

3.1 Электролиз водных растворов

Электролиз (от электро- и греческого lysis — разложение, растворение, распад) — совокупность процессов электрохимического окисления-восстановления на погруженных в электролит электродах, при прохождении через него электрического тока [63].

Существует два вида электролиза расплавов оксидов, солей, оснований и растворов. Стоки животноводческих комплексов представляют собой водный раствор с высокой концентрацией различных соединений, а именно фосфора 1,8 – 3,2% по сухому веществу, калия 2,5 – 5% и азота 3,2 – 6% соответственно, как уже говорилось ранее. В общем виде электролиз представляет собой окислительно – восстановительный процесс, протекающий на электродах, погруженных в раствор, электролит, которым являются сточные воды, при пропускании постоянного электрического тока, рисунок 23.

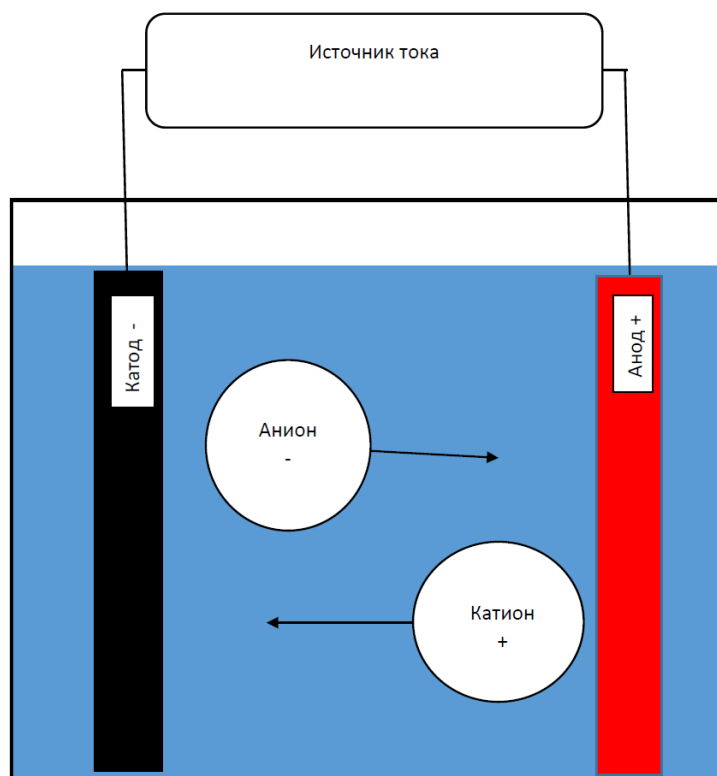


Рисунок 23. Принципиальная схема электролиза водных растворов.

Процесс электролиза, неодинаков во всех случаях, и зависит от ряда факторов – природы электролита, типа электролитической ванны, оптимизации самих электролизных процессов.

При прохождении тока электроды и вся система в целом переходят в неравновесное состояние, которое сопровождается изменением электродных потенциалов по сравнению с равновесными значениями. В результате поляризации потенциал анода смещается в положительную, а потенциал катода – в отрицательные стороны.

При электролизе водного раствора электролита на катоде протекают два взаимно конкурирующих процесса, восстановление катионов металла и электрохимическое разложение воды.

На катоде, в результате электролиза происходит восстановление ионов или молекул электролита, с образованием новых продуктов. Катионы принимают электроны и превращаются в ионы более низкой степени окисления или атомы.

Два электрона, поступающие с катода, реагируют с двумя молекулами воды, образуя молекулу водорода H_2 и два иона гидроксила OH^- . Молекулярный водород образует пузырьки газообразного водорода (после того, как раствор вблизи катода насытится водородом), а ионы гидроксила остаются в растворе [64]:



На аноде, в результате электролиза, происходит окисление ионов или молекул, находящихся в электролите или принадлежащих материалу анода (анод растворяется или окисляется). Четыре электрона переходят на анод с двух молекул воды, которая разлагается с образованием молекулы кислорода и четырех ионов водорода:



Во всех процессах получения водорода разложением воды в качестве побочного продукта будут получаться значительные количества кислорода.

Различают технический и прикладной электролиз, а электролитические процессы классифицируются следующим образом:

- 1) получение металлических сплавов;
- 2) получение гальванических покрытий;
- 3) получение неорганических веществ (хлора, водорода, кислорода, щелочей и т.д.);
- 4) получение органических веществ;
- 5) очистка металлов (медь, серебро);
- 6) получение металлов (магний, цинк, литий, натрий, калий, алюминий, медь и т.д.);
- 7) обработка поверхностей металлов (электрополировка, азотирование, борирование, очистка);
- 8) нанесение пленок при помощи электрофореза;
- 9) электродиализ и обессоливание воды.

Законы Фарадея количественно описывают закономерности, наблюдающиеся при электролизе [58]:

$$k = \frac{\mu}{z \cdot F}; \quad m = k \cdot I \cdot t \quad (3)$$

где k – электрохимический эквивалент (кг/Кл),

Масса вещества, выделившегося на электроде за время Δt при прохождении электрического тока, пропорциональна силе тока и времени.

$$m = \frac{\mu \cdot I \cdot \Delta t}{z \cdot F} \quad (4)$$

$$\text{где } F = e \cdot N_A - \text{число Фарадея}, \quad (5)$$

I – сила тока (А),

Δt – промежуток времени, в течении которого происходил процесс (с),

F – число Фарадея (96500 Кл/моль),

e – заряд электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл),

N_A – число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$),

μ – молярная масса (г/моль),

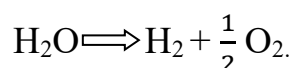
z – валентность химического элемента,

$$m = \mu \cdot \nu, \quad (6)$$

$$\nu(H_2 + O_2) = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} \cdot 1,5 \quad (7)$$

ν – количество вещества (моль),

Коэффициент пропорциональности, равный 1,5, свидетельствует о том, что получившийся газ – это смесь из водорода и кислорода, находящихся в разных количествах:



Зависимость силы тока от времени подчиняется экспоненциальному закону:

$$i(t) = I_0 e^{-kt}, \quad (8)$$

где I_0 – сила тока в момент коммутации цепи, А;

t – время электролиза, с;

k – коэффициент, который зависит от природы реакции, площади рабочего электрода (S), коэффициента диффузии (D) электроактивного вещества, скорости перемешивания, определяющий толщину диффузионного слоя (δ) и объема раствора.

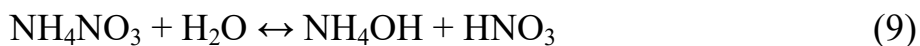
Выход по току при проведении электрохимической реакции будет количественным, когда ток уменьшится до нуля, т.е. при бесконечно большом значении времени t . На практике электролиз считают законченным, когда ток достигает примерно 0,1% от значения I_0 .

3.2 Экспериментальные исследования по подбору материала электродов для электролизной установки детоксикации животноводческих стоков

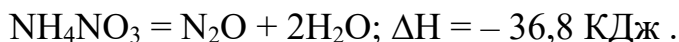
При проведении экспериментальных исследований в качестве заменителя сточных вод животноводческих комплексов использовался электролит на основе дистиллированной воды, в которую добавлялась аммиачная селитра, для имитации концентрации аммония, содержащегося в побочных продуктах животноводства.

Аммиачная селитра или нитрат аммония (NH_4NO_3) – бесцветные гигроскопические кристаллы, температура плавления которых $169,6^\circ\text{C}$. Температура кипения селитры равна 235°C . При атмосферном давлении в интервале температур от -50°C до температуры плавления ($169,6^\circ\text{C}$) нитрат аммония существует в *пяти* кристаллических формах, различающихся структурой, удельным объёмом и другими свойствами кристаллов.

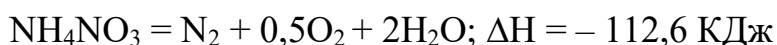
Нитрат аммония в воде гидролизует, в результате чего раствор имеет кислую реакцию:



В процессе нагревания при температуре $200 - 270^\circ\text{C}$ нитрат аммония разлагается:

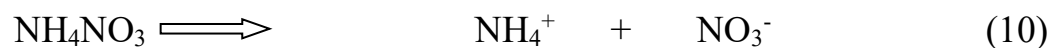


Выше 270°C разлагается со взрывом:

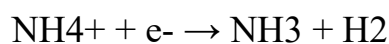


Гидролизу по катиону подвергаются соли, образованные катионом слабого основания и анионом сильной кислоты (NH_4Br , ZnCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, FeSO_4 и др.). Среда раствора кислая ($\text{pH} < 7$).

Уравнение гидролиза соли NH_4NO_3 , запишется следующим образом:



При электролизе раствора солей аммония ионы аммония (NH_4^+) приближаются к катоду (отрицательному электроду), где происходит реакция:



То есть ион аммония превращается в аммиак и водород. Аммиак выделяется в виде газа, а водород выходит наружу и может образовывать пузырьки на поверхности катода. У анода (положительного электрода) ионы гидроксидов (OH^-) превращаются в кислород и воду:



Таким образом, при электролизе солей аммония на катоде выделяется аммиак и водород, а на аноде – кислород и вода, для электролиза используют сульфат или нитрат аммония [65].

Для подбора материалов электродов для снижения концентрации аммонийных соединений в электролите использовались материалы по следующей компоновочной схеме, представленной на рисунке 24.

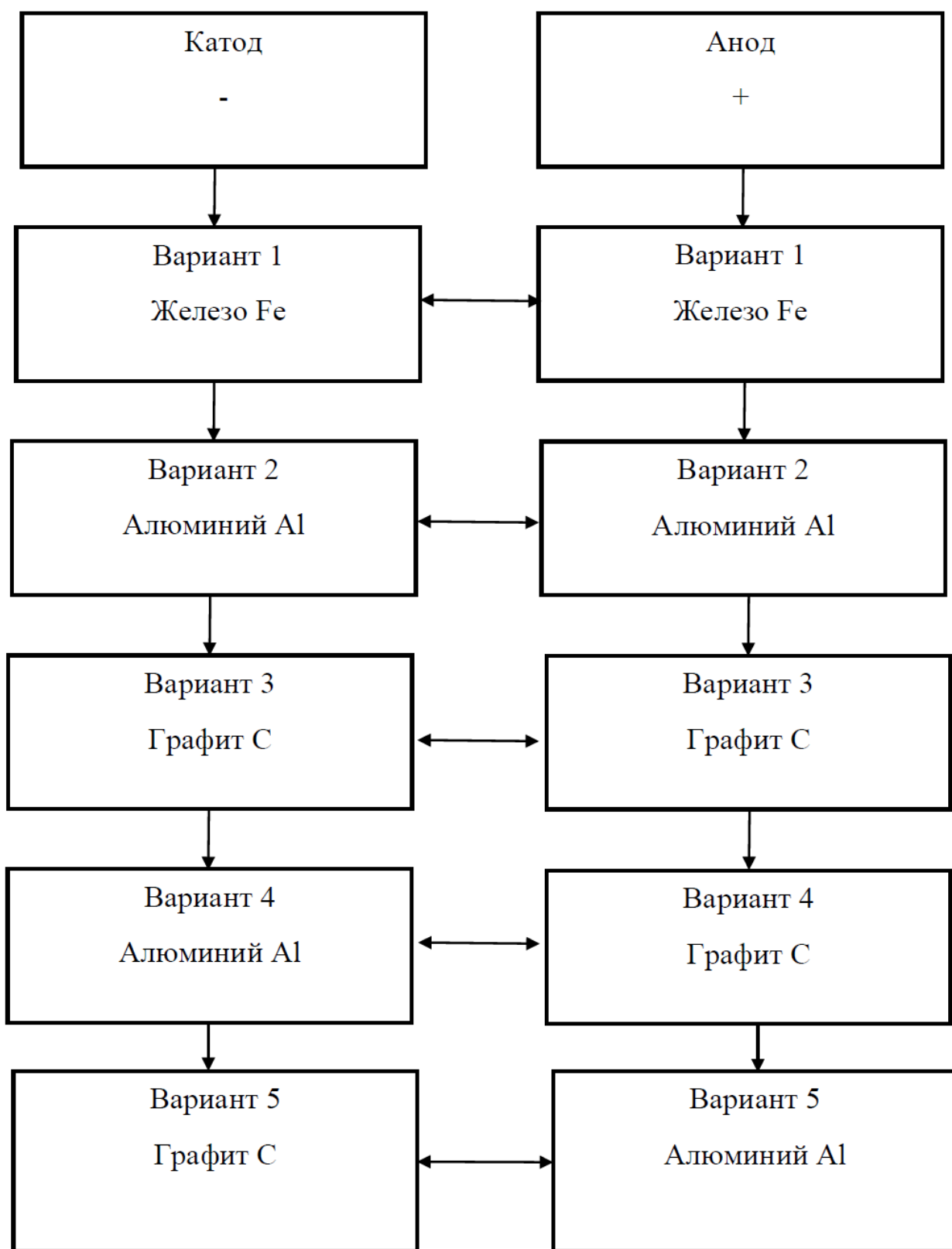


Рисунок 24. Компонировочная схема подбора электродов.

Последовательность проведения экспериментальных исследований была следующей: в лабораторную установку №1 собранную для подбора электродов, рисунок 25, загружался электролит, приготовленный на основе

дистиллированной воды и аммиачной селитры с концентрацией NH_4 300 мг/дм³; далее в ней размещались электроды, через которые пропусклся постоянный электрический ток течении 5 минут, причем следует отметить, что при испытании электродов не из одинакового материала поочередно изменялась их полярность; после окончания эксперимента определялось содержание веществ образовавшихся в процессе электролиза, и конечная концентрация аммония в электролите.

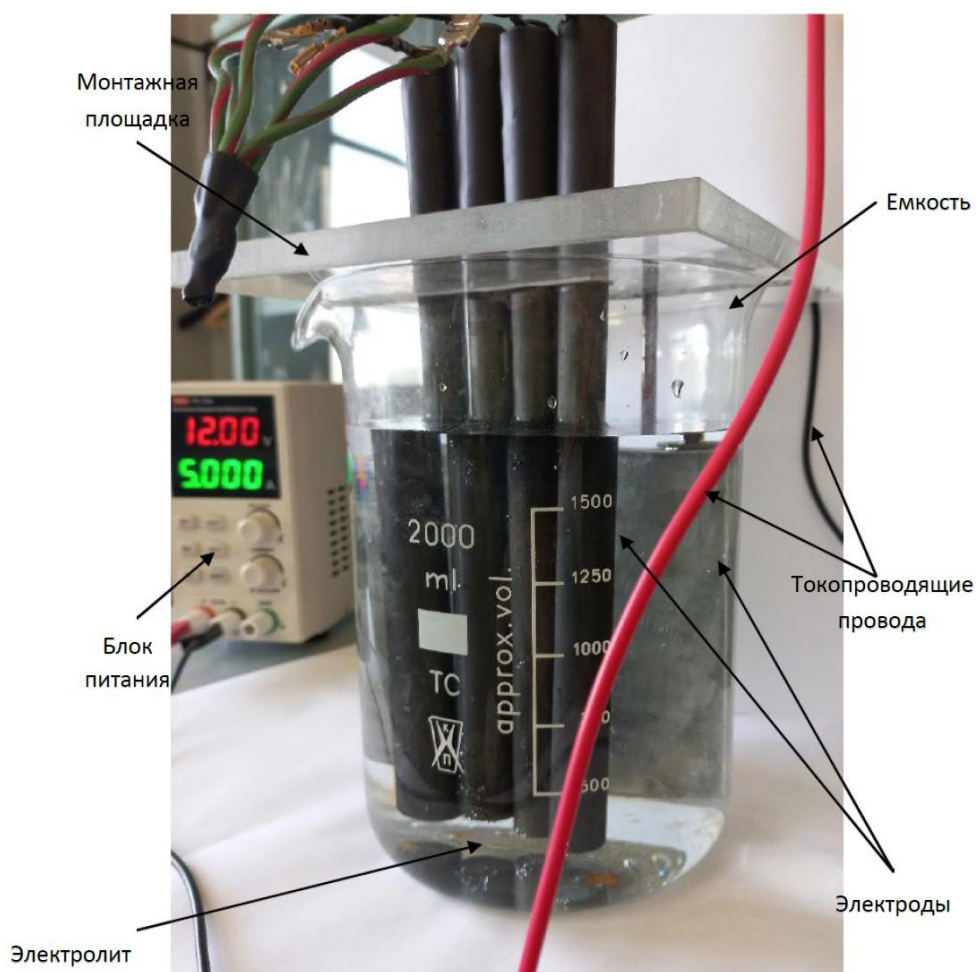


Рисунок 25. Схема экспериментальной установки №1, с графитовым и алюминиевым электродами.

На рисунке 26 представлены фотографии электродов, которые применялись в экспериментальных лабораторных исследованиях, на их пригодность и эффективность для снижения концентрации аммония в электролите имитирующим сточные воды животноводческих комплексов.



А) Электрод из алюминиевого сплава



Б) Металлический электрод



В) Графитовый электрод

Рисунок 26. Электроды для экспериментальной установки.

Выбор материала электродов из алюминия, металла (железа), графита, обусловлен в первую очередь их низкой стоимостью и большим ассортиментом выпускаемым промышленностью, в отличие от платины и других дорогостоящих материалов, что обеспечивает возможность их массового производства без организации нового производства и технологических процессов, что делает возможным их массовое производство

на существующих производственных мощностях. Характеристика данных материалов по своим электрохимическим свойствам, представленных ниже.

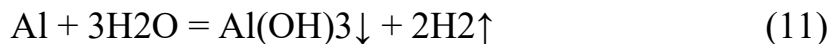
Графит является инертным материалом, который химическим превращением не подвергается, и не растворяется в воде [66].

В результате эксплуатации углеродные материалы подвержены механическому износу. Электродный потенциал графита в паре с алюминием составляет 1 Мв, со сталью 0, 8 Мв, в системе графит – графит 0,00 Мв, поэтому для эксперимента было выбрано сочетание графита с алюминием по варианту 4, рисунок 24, по схеме катод Al анод С [67]. Первым и наиболее распространенным процессом, протекающим на графитовом аноде при электролизе водных растворов, является анодное окисление, которое заключается в окислении молекул воды до их диссоциации на положительные ионы водорода (H^+) и отрицательные ионы гидроксида (OH^-). В процессе данной электрохимической реакции молекулы воды разлагаются на кислород и водород. Кислород освобождается в виде газа, а водород реагирует на катоде. [68].

Перенапряжение выделения водорода на графите, при использовании его в качестве катода, достаточно велико, и в данном случае электродный потенциал низкий, поэтому данное сочетание катод – анод, согласно схеме проведения эксперимента, рисунок 24, вариант 3, также был выбран для экспериментальных исследований.

Железо (Fe) в водных растворах проявляет свойства растворимого анода, то есть на нём протекает процесс окисления (анодное растворение). Растворение железа с поверхности анода, в электролите имитирующим содержание аммонийных соединений в стоках животноводческих комплексов, происходит с образованием Fe^{2+} и Fe^{3+} . Общая тенденция к уменьшению содержания NH_4^+ особенно заметна на начальном этапе нагрева. Дальнейшее увеличение времени работы электролита не ведет к существенному снижению концентрации ионов аммония [69,70,71,72,73,74].

Основными электрохимическими процессами при проведении электролиза, применении алюминия как анода, являются образование гидроксида алюминия ($\text{Al}(\text{OH})_3$) на аноде и выделение водорода на катоде [75,76,77,78]:



Гидроксид алюминия обладает высокими сорбционными свойствами и применяется в медицине, косметической промышленности, а также для очистки воды от мутности, цветности, органических и неорганических, природных и антропогенных загрязнений (взвешенных, коллоидных и растворенных), относится к IV классу опасности, может применяться в качестве мелиоранта при загрязнении почвы сельскохозяйственных полей соединениями тяжелых металлов, которые могут содержаться в сточных водах животноводческих комплексов, а так же для снижения кислотности плодородного слоя [79,80,81, 82,83].

В процессе проведения лабораторных исследований для определения выхода аммиака использовался газоанализатор Nabotest HT601, профессиональные тесты для воды Нилпа NH_4/NH_3 , электронный pH метр для воды, измеритель техметр ИК-02, TDS метр для воды измеритель качества и температуры техметр ИК-01, рисунок 27.



А) Газоанализатор Nabotest HT601



Б) Тесты для воды NH_4/NH_3

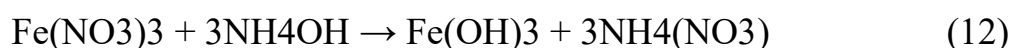


В) Электронный pH метр для воды

Г) TDS метр для воды ИК-01

Рисунок 27. Измерительное оборудование и материалы, используемые для экспериментальных исследований.

При проведении экспериментальных исследований, по варианту 1, рисунок 24, электроды катод и анод выполнены из Fe, рисунок 26, концентрация нитрат-аммония в электролите составила 300 мг/дм³, параметры постоянного тока задавались 5А 12 Вольт, время обработки 60 секунд, в трехкратной повторности, расстояние между электродами 20 мм, результаты представлены в таблице 15, в сравнении с вариантами 2, 3, 4, согласно схеме проведения экспериментальных исследований, рисунок 24, из которых видно, что эффективность снижения концентрации аммония составило 20% от начальной, данный эффект можно объяснить не высоким электродным потенциалом данного материала – 0,44 В, что обуславливает низкую активность образования аммиака на катоде. Следует отметить, что при электролизе в растворе нитрат-аммония образуются оксиды железа, рисунок 28:



Данное соединение при его избыточном поступлении в продукцию растениеводства делает ее токсичным [84,85,86,87,88,89,90,91,92,93]

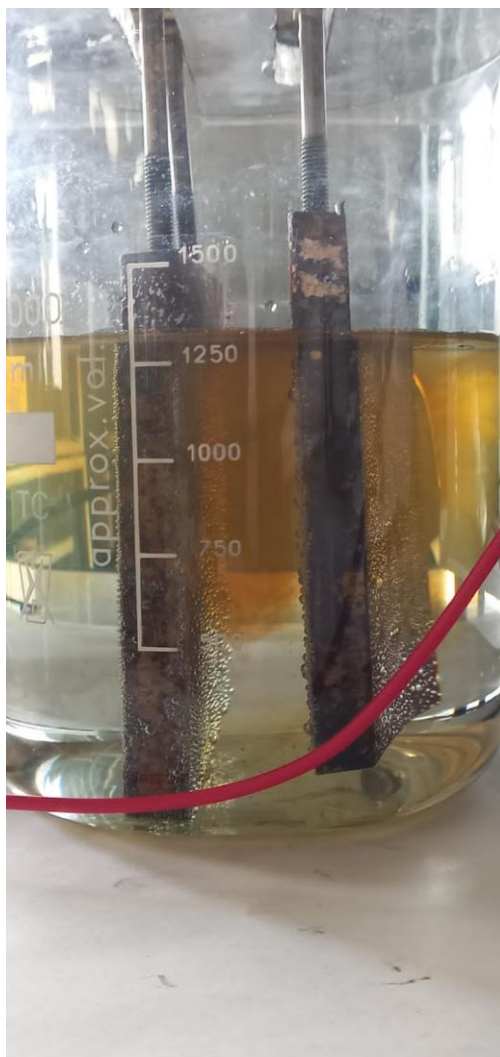


Рисунок 28. Наличие оксидов железа при электролизе нитрат-аммония при проведении экспериментальных исследований по варианту 1.

Для проведение экспериментальных исследований для возможности применения выбранных материалов для детоксикации стоков животноводческих комплексов, на имитационном водном растворе, вариант 2, рисунок 24, в электролизной лабораторной установке использовались материалы для катода и анода из алюминия, рисунок 26. Концентрация нитрат-аммония в электролите, значения тока и время проведения испытаний, и расстояние между электродами идентичны варианту 1, эксперимент выполнен также в трехкратной повторности. Снижение концентрации аммонийных соединений составило 50% от начальной, таблица 15. Электродный потенциал Al в кислой среде составляет

–1,66 В, щелочной –2,35 В, что выше более чем в 5,3 раза по сравнению с электродами из Fe, при условии, что в процессе электролиза изначально кислая среда электролита переходит в щелочную, таблица 15. Также в процессе проведения эксперимента отмечено образование гидроксида алюминия, рисунок 29.



Рисунок 29. Гидроксида алюминия в водном растворе после электролиза раствора нитрат-аммония при использовании в качестве материала катода и анода Al при проведении экспериментальных исследований по варианту 2.

Проведение экспериментальных исследований на установки №1, вариант 3, анод и катод выполнены из графита, условия проведения эксперимента аналогичны предыдущим, показали, что эффективность снижения концентрации аммония составили 15% от начальной. Данный результат объясняется значением электронного потенциала в большинстве водных растворов 0,37 В [94,95,96,97,98,99]

В варианте 4, согласно схеме проведения экспериментальных исследований, рисунок 24, использовалась схема катод Al анод С, в результате снижение концентрации аммония в электролите составили 50% от начальной, таблица 15, условия проведения испытаний аналогичны предыдущим вариантам, что обусловлено, тем, что электрохимическая реакция преобразования иона аммония в газообразную форму аммиака происходит на катоде, который выполнен из Al с высоким значением электродного потенциала по сравнению с Fe и С. При этом в растворе нитрат-аммония не отмечено образование гидроксида алюминия, который формируется на аноде, и по этой причине данное сочетание катод анод является наиболее предпочтительным для разработки системы детоксикации стоков животноводческих комплексов, без особых условий, если не требуется очистка почв сельскохозяйственных полей от токсических веществ, рисунок 29.



Рисунок 29. Электролиз электролита по варианту 4.

Следует отметить, что согласно литературным данным, износ графитовых электродов происходит с большой скоростью, от 40-80 мм/год [100]. Был проведен эксперимент на износ анода, выполненного из графита, который заключался в следующем: из экспериментальной установки после проведения опыта в течении 20 минут при начальной концентрации электролита 300 мг/л, через фильтровальную бумагу, предварительно взвешенную, сливался раствор, а продукты износа оставались на ней, после чего она высушивалась в сушильном шкафу и повторно определялась ее масса. Потеря массы графитного электрода составили 0,05 грамма за указанный промежуток времени. Для повышения износоустойчивости электроды были покрыты токопроводящим лаком с содержанием графита в четыре слоя. Повторный эксперимент, по приведенной выше схеме, показал отсутствие износа графитного электрода.

Также были проведены поверочные экспериментальные исследования, при которых в качестве катода использовались графит, вариант 5, а материалом анода был алюминий, в ходе которых в растворе электролита был получен гидроксид алюминия, рисунок 30, эффективность очистки составила 15%, что доказывает достоверность о том, что электрохимический потенциал материала катода играет основную роль при снижении концентрации ионов аммония в электролите, при этом отмечено образование гидроксида алюминия в имитационном растворе животноводческих стоков.

Таким образом можно сделать заключение, что наиболее эффективным является схема по вариантам 2 и 4, по снижению концентрации иона аммония в электролите.

Таблица 15. Результаты снижения концентрации аммония в электролите при проведении экспериментальных исследований в установке №1.

№ п/п	Вариант проведения эксперимента	Концентрация начальная NH ₄ мг/л	pH начальная	Конечная концентрация NH ₄ мг/л	Конечная pH
1	Вариант 1	300	5,53	245	7,25
2	Вариант 2	300	5,53	148	8,23
3	Вариант 3	300	5,78	254	8.86
4	Вариант 4	300	5,89	153	8.88
5	Вариант 5	300	5,53	258	7,25

*Примечание: Время обработки 60 секунд

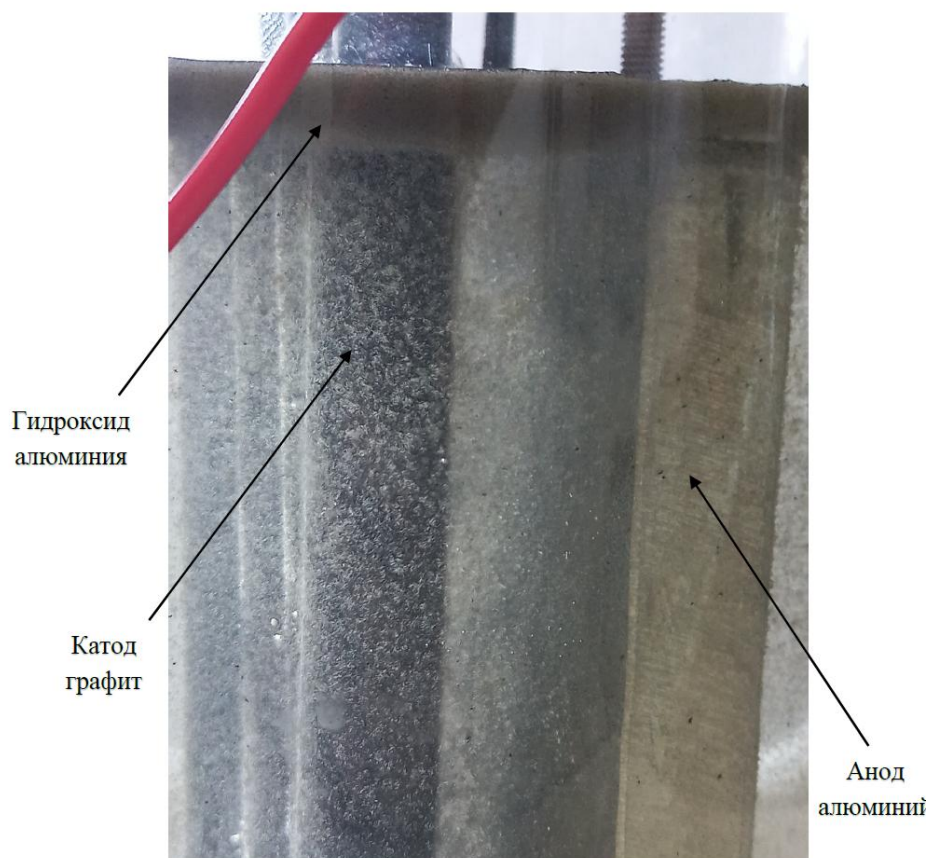


Рисунок 30. Образование гидроксида алюминия в системе катод графит, анод алюминий, в экспериментальной установке №1.

3.3 Результаты экспериментальных исследований снижения концентрации аммония в статической установке

По результатам лабораторных экспериментов, приведенных выше, для статической электролизной установки был выбрано схема, вариант 4, принципиально состоящая из алюминиевого катода и анода, выполненного из графита.

Далее для подбора конфигурации электродов была сконструирована статическая лабораторная установка №2, рисунок 31. Данная установка в варианте №2 представляет собой колонну, в которой катод выполнен из алюминиевой трубы (сплав АД31Т1) с внутренним диаметром 46 мм, анод из графита с внешним диаметром 16 мм, рисунок 31, где внешняя токоизоляция состоит из двух слоев термоусадочных рукавов марки Ф70 с максимальной

нагрузкой каждого слоя 10 кВ. Эксперимент проводился при значениях постоянного тока 5А 12 Вольт.



Рисунок 31. Лабораторная установка №2.

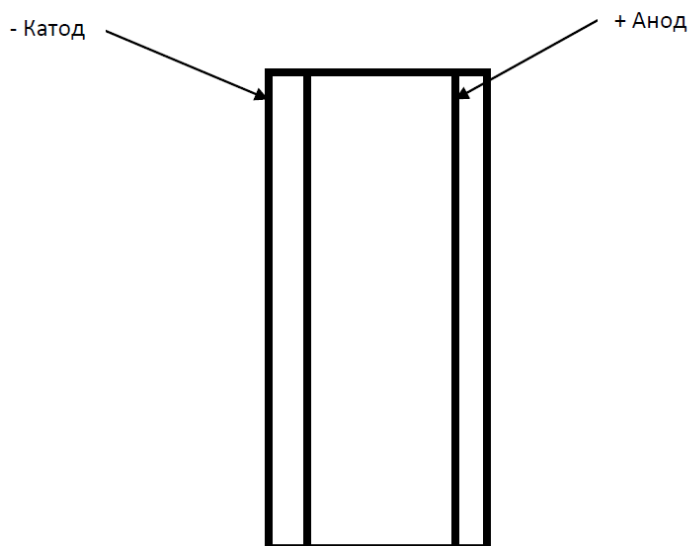


Рисунок 32. Схема подключения статической лабораторной установки №2.

Параметры внутреннего электрода (+анод):

- диаметр контактной поверхности $d_{\text{внут}} = 0,016 \text{ м}$;
- длина круга $l_{\text{внут}} = 0,05 \text{ м}$;

- площадь контактной поверхности при уровне в статической экспериментальной установки $Y=0,295$ м, $S_{\text{внут}}=0,015$ м²;

- площадь поперечного сечения $d_{\text{внут}}=0,0001$ м².

Параметры внешнего электрода (-катод):

- диаметр контактной поверхности $d_{\text{вн}}=0,046$ м;

- длина круга $l_{\text{вн}}=0,144$ м;

- площадь контактной поверхности при уровне в статической экспериментальной установки $Y=0,295$ м. $S_{\text{вн}}=0,042$ м²;

- площадь поперечного сечения $d_{\text{вн}}=0,0003$ м².

Время обработки электролита составило 60, 30, 10 секунд соответственно, при начальных концентрациях 100, 200, 300, 400, 500 мг/л, результаты представлены в таблицах 17, 18, 19, 20, 21 и рисунке 33. Следует отметить, что каждый опыт проводился в трехкратной повторности, в таблицах приведены средние значения.

Таблица 17. Результаты снижения содержания NH_4 в электролите при начальной концентрации 100 мг/л.

№	Концентрация начальная NH_4 мг/л	pH ₁ начальная	Конечная концентрация NH_4 мг/л	pH ₂ конечная	Время секунды
1	100	5,57	6,4	7,7	60
2	100	5,57	53,2	7,4	30
3	100	5,57	84,4	7,37	10

Таблица 18. Результаты снижения содержания NH_4 в электролите при начальной концентрации 200 мг/л.

№	Концентрация начальная NH_4 мг/л	pH ₁ начальная	Конечная концентрация NH_4 мг/л	pH ₂ конечная	Время минуты
1	200	5,54	12,2	7,64	60
2	200	5,54	106,1	7,31	30
3	200	5,54	168,7	6,9	10

Таблица 19. Результаты снижения содержания NH_4 в электролите при начальной концентрации 300 мг/л.

№	Концентрация начальная NH_4 мг/л	pH ₁ начальная	Конечная концентрация NH_4 мг/л	pH ₂ конечная	Время минуты
1	300	5,53	18,6	7,62	60
2	300	5,53	184,6	7,0	30
3	300	5,53	295,3	6,87	10

Таблица 20. Результаты снижения содержания NH_4 в электролите при начальной концентрации 400 мг/л.

№	Концентрация начальная NH_4 мг/л	pH ₁ начальная	Конечная концентрация NH_4 мг/л	pH ₂ конечная	Время минуты
1	400	5,56	24,4	7,6	60
2	400	5,56	212,2	6,97	30
3	400	5,56	393,4	6,7	10

Таблица 21. Результаты снижения содержания NH_4 в электролите при начальной концентрации 500 мг/л.

№	Концентрация начальная NH_4 мг/л	pH ₁ начальная	Конечная концентрация NH_4 мг/л	pH ₂ конечная	Время минуты
1	500	5,55	30,2	7,54	60
2	500	5,55	307,4	6,84	30
3	500	5,55	492,7	6,58	10

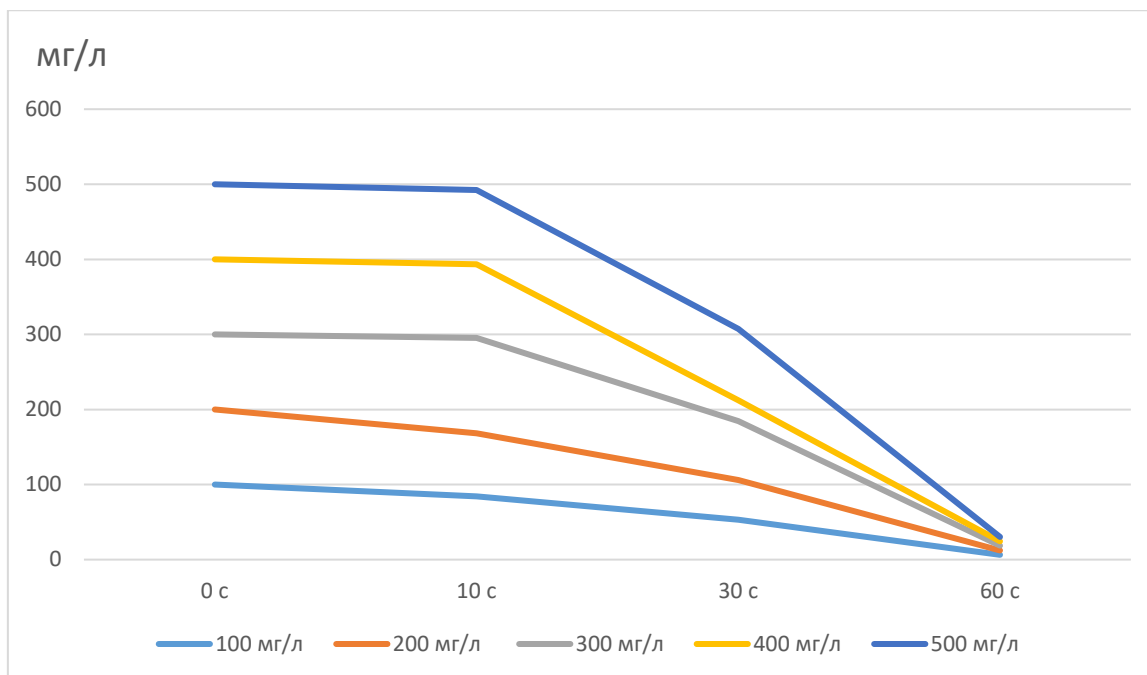


Рисунок 33. Изменение концентрации NH_4 в электролите, в статической электролизной установке, по варианту проведения эксперимента №4, от времени обработки раствора электрическими полями.

Из результатов проведения экспериментальных исследований следует, что вариант обработки электролита электрическими полями в статической установке №2 по варианту 4, алюминиевый катод и графитовый анод, эффективно снижает содержание аммония в растворе.

На рисунке 34 представлена схема электролиза катиона аммония, из которой следует, что при обработке раствора аммония электрическими полями в при катодном слое его концентрация K_1 быстро уменьшается, при этом NH_4 не успевает поступать диффузионным путем из основного объема электролита концентрация в котором составляет K_2 , то есть существует неравенство [99]:

$$K_1 < K_2 \quad (13)$$

Поэтому эффективность процесса электролиза в неподвижной среде электролита ограничена скоростью диффузии между раствором при электродном пространстве и основным слоем электролита. Существуют несколько вариантов повышения скорости данной электрохимической реакции, а именно:

- 1) Повышение концентрации электролита;
- 2) Увеличение температуры раствора;
- 3) Интенсивное перемешивание электролита.

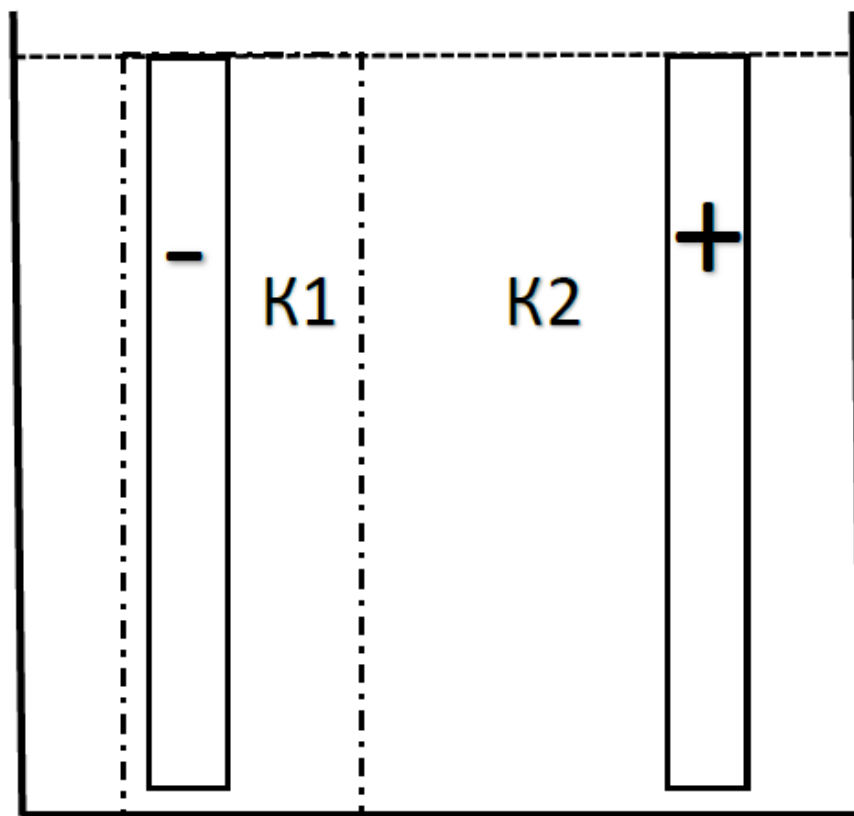


Рисунок 34. Схема изменения концентрации катиона аммония в электролите.

3.4 Результаты экспериментальных исследований снижения концентрации аммония в разработанной динамической электролизной лабораторной установке

Для создания прототипа промышленной установки для детоксикации сточных вод животноводческих комплексов и повышения эффективности электролиза катиона аммония был разработан, реализован и испытан лабораторный прототип динамической электролизной установки №3Д, по варианту 4 с графитовым анодом и алюминиевым катодом цилиндрической

формы, общий вид которой и конструкция представлены на рисунках 35, 36, 37 и 38, включающая в себя следующие основные элементы: монтажную раму; бак для электролита; источник постоянного тока; рабочую часть (электролизер) длиной 0,5, 1 и 1,5 м, причем–внешний электрод (катод) выполнен из алюминиевого сплава, внутренний (анод) - из графита; токоведущие провода; кран для регулировки расхода; расходомер; сбросной шланг [101,102,103,104,105,106,107,108,109,110,111,112].

Электролит пропусклся через электроды, где проходил обработку постоянным электрическим током с параметрами 12 В и 5 А. Расход потока составлял 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 и 0,5 л/сек, длина рабочей части в процессе проведения исследований изменялась и составляла соответственно 0,5 м, 1 м и 1,5 м. После завершения эксперимента определялись концентрация азотных соединений и водородный показатель рН электролита. Начальные концентрации аммония в электролите, как и в предыдущем лабораторном исследовании, составили 100, 200, 300, 400 и 500 мг/л.

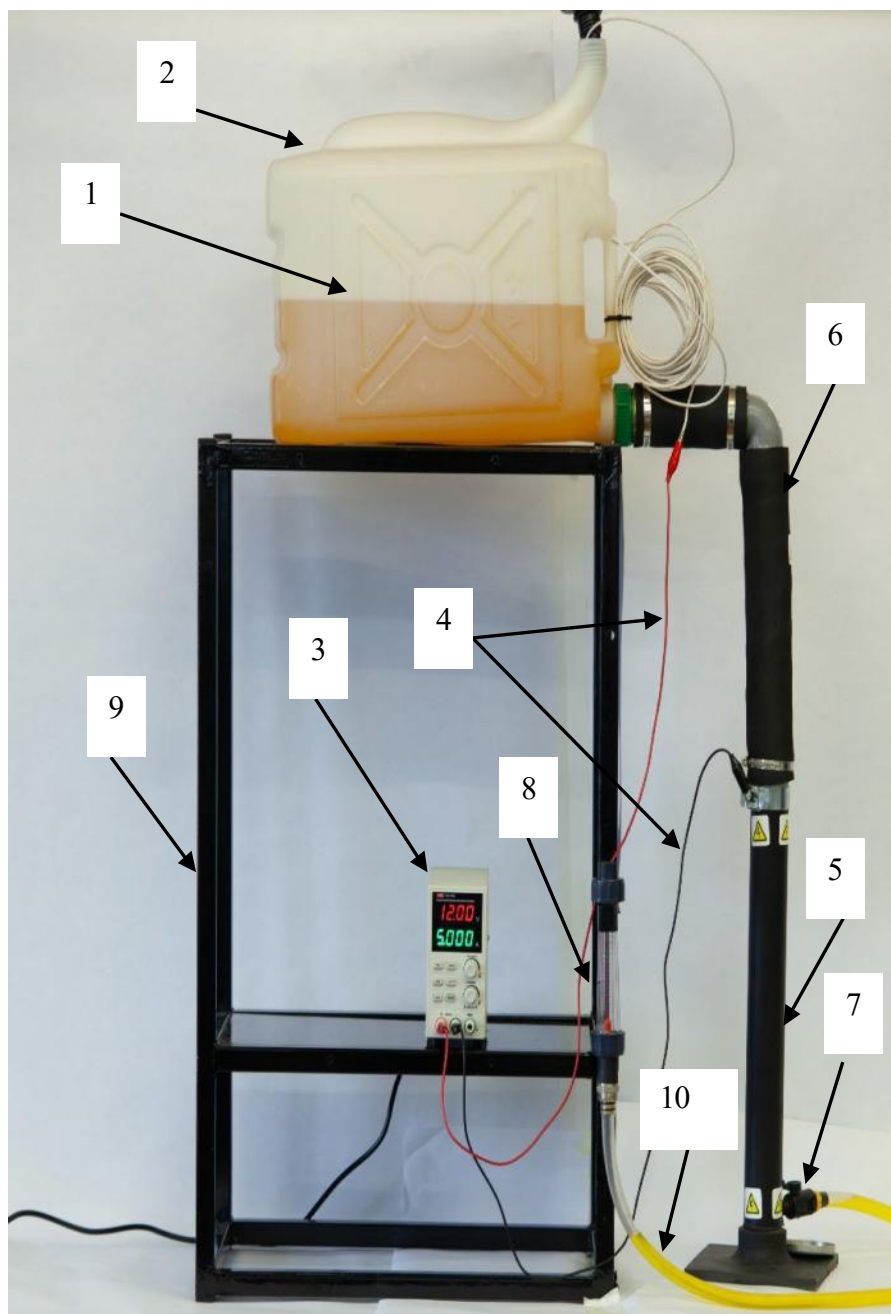


Рисунок 35. Динамическая электролизная лабораторная установка №3Д где;
 1 – уровень электролита, 2 – бак, 3 – источник постоянного тока, 4 –
 токоведущие провода, 5 – рабочая часть (электролизер), 6 – гибкий шланг, 7
 – кран, 8 – расходомер, 9 – монтажная рама, 10 – сбросной шланг.

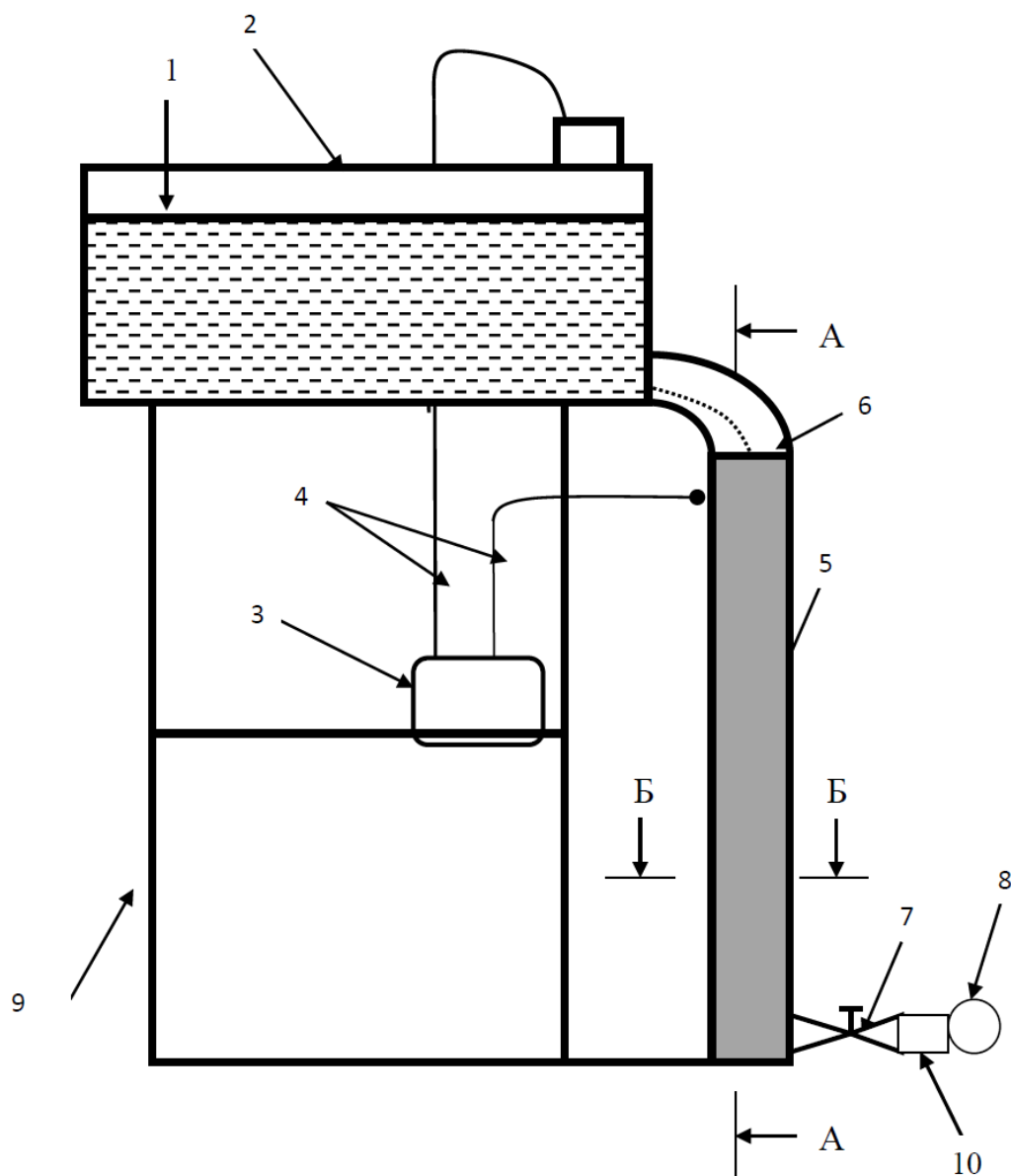


Рисунок 36. Схема лабораторной динамической электролизной установки №3Д, где; 1 – уровень электролита, 2 – бак, 3 – источник постоянного тока, 4 – токоведущие провода, 5 – рабочая часть (электролизер), 6 – гибкий шланг, 7 – кран, 8 – расходомер, 9 – монтажная рама, 10 – сбросной шланг.

A – A

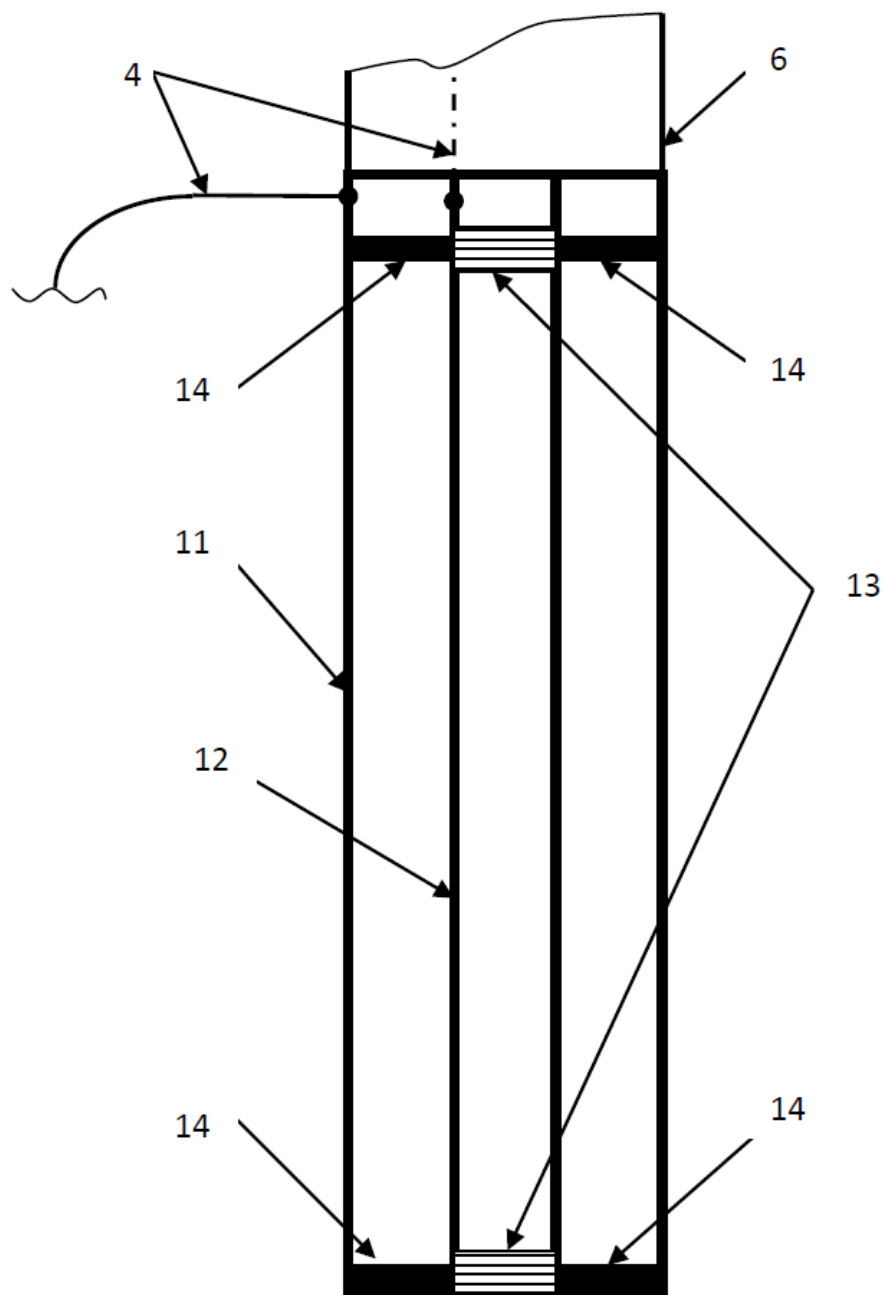


Рисунок 37. Продольный разрез А – А электролизера где: 4 – токоведущие провода, 6 - гибкий шланг, 11 – внешний электрод в виде полого цилиндра, 12 – внутренний электрод в виде цилиндра, 13 – герметичные заглушки на внутреннем электроде, в случае полого исполнения из Al, 14 – удерживающие распорки.

Б – Б

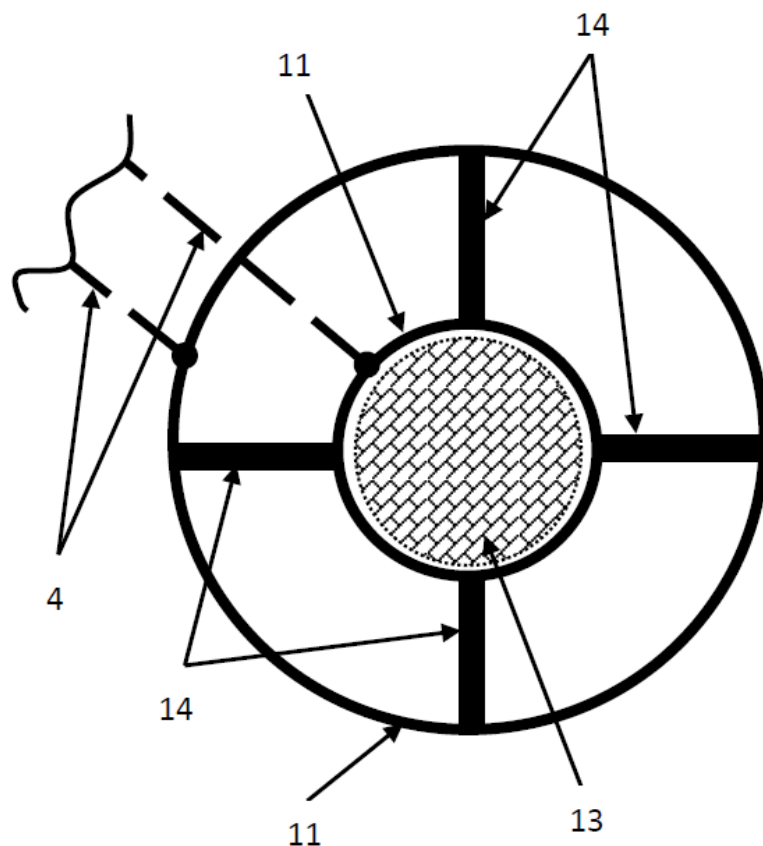


Рисунок 38. Поперечный разрез Б – Б электролизера где: 4 – токоведущие провода, 11 - внешний электрод в виде полого цилиндра, 12 – внутренний электрод в виде полого цилиндра, 13 – герметичная заглушка на внутреннем электроде, в случае исполнения из Al, 14 - удерживающие распорки.

Геометрические параметры рабочих частей динамической электролизной установки были такие же, как и у статической. При этом учитывая то, что в данном случае поток электролита проходил между электродами, были определены: площадь живого сечения потока раствора, которая составила $0,0015 \text{ м}^2$; расход в секунду и суточный; скорость потока и время его нахождения в электролизере, в зависимости от его линейного размера. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблицах 22, 23, 24, из которых видно, что с ростом эффективности работы

динамической электролизной установки возрастает при увеличении рабочей части электролизера и уменьшении скорости электролита в живом сечении потока.

Таблица 22. Результаты экспериментальных исследований изменения концентрации аммонийных соединений в динамической лабораторной установки, при начальной концентрации NH_4 300 мг/л.

№	K_n , начальная концентрация NH_4 , мг/л	$Q_{\text{сек}}$, расход, л/с	$Q_{\text{сут}}$, расход, м ³ /сут	V , скорость, м/с	t , время обработки, с	K_k , конечная концентрация NH_4 , мг/л
I_p , длина рабочей части электролизера, 0,5м						
1	300	0,1	8,64	0,07	8	260
2	300	0,2	17,28	0,13	4	280
3	300	0,3	25,92	0,2	3	275
I_p , длина рабочей части электролизера, 1м						
4	300	0,1	8,64	0,07	15	225
5	300	0,2	17,28	0,13	8	260
6	300	0,3	25,92	0,2	5	275
I_p , длина рабочей части электролизера, 1,5м						
7	300	0,1	8,64	0,07	23	185
8	300	0,2	17,28	0,13	12	240
9	300	0,3	25,92	0,2	8	260

Таблица 23. Результаты экспериментальных исследований изменения концентрации аммонийных соединений в динамической лабораторной установки, при начальной концентрации NH_4 400 мг/л.

№	K_n , начальная концентрация NH_4 , мг/л	$Q_{\text{сек}}$, расход, л/с	$Q_{\text{сут}}$, расход, м ³ /сут	V , скорость, м/с	t , время обработки, с	K_k , конечная концентрация NH_4 , мг/л
I_p , длина рабочей части электролизера, 0,5м						
1	400	0,1	8,64	0,07	8	352
2	400	0,2	17,28	0,13	4	376
3	400	0,3	25,92	0,2	3	382
I_p , длина рабочей части электролизера, 1м						
4	400	0,1	8,64	0,07	15	310
5	400	0,2	17,28	0,13	8	352
6	400	0,3	25,92	0,2	5	370
I_p , длина рабочей части электролизера, 1,5м						
7	400	0,1	8,64	0,07	23	262
8	400	0,2	17,28	0,13	12	328
9	400	0,3	25,92	0,2	8	352

Таблица 24. Результаты экспериментальных исследований изменения концентрации аммонийных соединений в динамической лабораторной установки, при начальной концентрации NH_4 500 мг/л.

№	K_n , начальная концентрация NH_4 , мг/л	$Q_{\text{сек}}$, расход, л/с	$Q_{\text{сут}}$, расход, м ³ /сут	V , скорость, м/с	t , время обработки, с	K_k , конечная концентрация NH_4 , мг/л
I_p , длина рабочей части электролизера, 0,5м						
1	500	0,1	8,64	0,07	8	444
2	500	0,2	17,28	0,13	4	472
3	500	0,3	25,92	0,2	3	479
I_p , длина рабочей части электролизера, 1м						
4	500	0,1	8,64	0,07	15	395
5	500	0,2	17,28	0,13	8	444
6	500	0,3	25,92	0,2	5	465
I_p , длина рабочей части электролизера, 1,5м						
7	500	0,1	8,64	0,07	23	339
8	500	0,2	17,28	0,13	12	416
9	500	0,3	25,92	0,2	8	444

3.5 Выводы по главе 3

1. Стоки животноводческих комплексов представляют собой водный раствор с высокой концентрацией различных соединений, пригодный для электрохимических реакций без добавления дополнительных реагентов.

2. По результатам лабораторных экспериментов, для электролизной установки наиболее эффективным является схема, состоящая из анода, выполненного из графита и катода материалом которого является алюминий.

3. Эффективность процесса электролиза в неподвижной среде электролита ограничена скоростью диффузии между раствором в приэлектродном пространстве и основным слоем электролита.

4. Повышение скорости электрохимической реакции достигается с помощью повышения концентрации электролита; увеличения температуры раствора; интенсивного перемешивания электролита.

5. Эффективность работы динамической электролизной установки возрастает при увеличении рабочей части электролизера и уменьшения скорости электролита в живом сечении потока.

4 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА УТИЛИЗАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ С/Х ПОЛЕЙ

4.1 Математическая модель расчета утилизационной способности с/х полей по физико-химическим свойствам почвы

Как уже говорилось ранее, основным биогенным элементом в сточных водах животноводческих комплексов является соединения аммония, поэтому при их утилизации основной расчет ведется по NH_4 [113,114]. Одним фактором расхода азотных соединений из почв являются возделываемые культуры, которые обеспечивают их вынос с сельскохозяйственных полей, где производится утилизации сточных вод, таблица 25. Урожайность растениеводческой продукции определяется агрономической службой хозяйства и зависит от природно-климатических условий и характеристик почвы.

Таблица 25. Вынос азота с сельскохозяйственных полей утилизации
животноводческих стоков с продукцией растениеводства

№	Культура	Урожай, т/га	Вынос N с 1 т продукции, кг	Вынос азота с урожаем с 1 га кг
1	Кукуруза на зеленую массу	25-28	4	100-112
2	Сахарная свекла	24-26	5,9	142-153
3	Многолетние злаковые травы на сено	4,0-5,2	18	72-94
4	Ячмень	2,2-2,4	27	53-58
5	Однолетние травы на сено	3,4-4,1	15	51-61
6	Овес	2,2-2,5	30	64-72
7	Озимая пшеница	2,9-3,2	35	73-80

Следующим фактором, влияющим на дозы внесения азота, является поглотительная способность почвы или почвенно- поглощающий комплекс

(ППК), который сорбирует соединения NH_4 , и по мере уменьшения его концентрации в почвенном растворе за счет потребления сельскохозяйственными культурами, отдает обратно.

Количество почвы, реагирующей с аммонийным азотом животноводческих стоков можно определить по зависимости:

$$M_{\text{рп}} = \rho \cdot n \cdot S, \text{ кг} \quad (14)$$

где:

ρ – объемная плотность почвы кг/м^3 ;

n – мощность пахотного горизонта м;

S – площадь м^2 .

Поглощающую емкость почвенного слоя к иону NH_4 можно определить по следующему уравнению:

$$K_{\text{п}} = M_{\text{рп}} \cdot C_{\text{ппк}}, \text{ кг} \quad (15)$$

где:

$C_{\text{ппк}}$ - сорбционная емкость ППК почвы к иону NH_4 , $\text{мг} \cdot 1 \text{ кг}$.

Следует отметить, что наиболее востребованной технологией внесения животноводческих стоков являются шланговые системы, рисунок 39, которую можно разделить на три способа:

- 1) способ заправки в почвенный слой или пахотный горизонт;
- 2) способ поверхностного внесения;
- 3) заправка в подпочвенный слой или подпахотный горизонт.

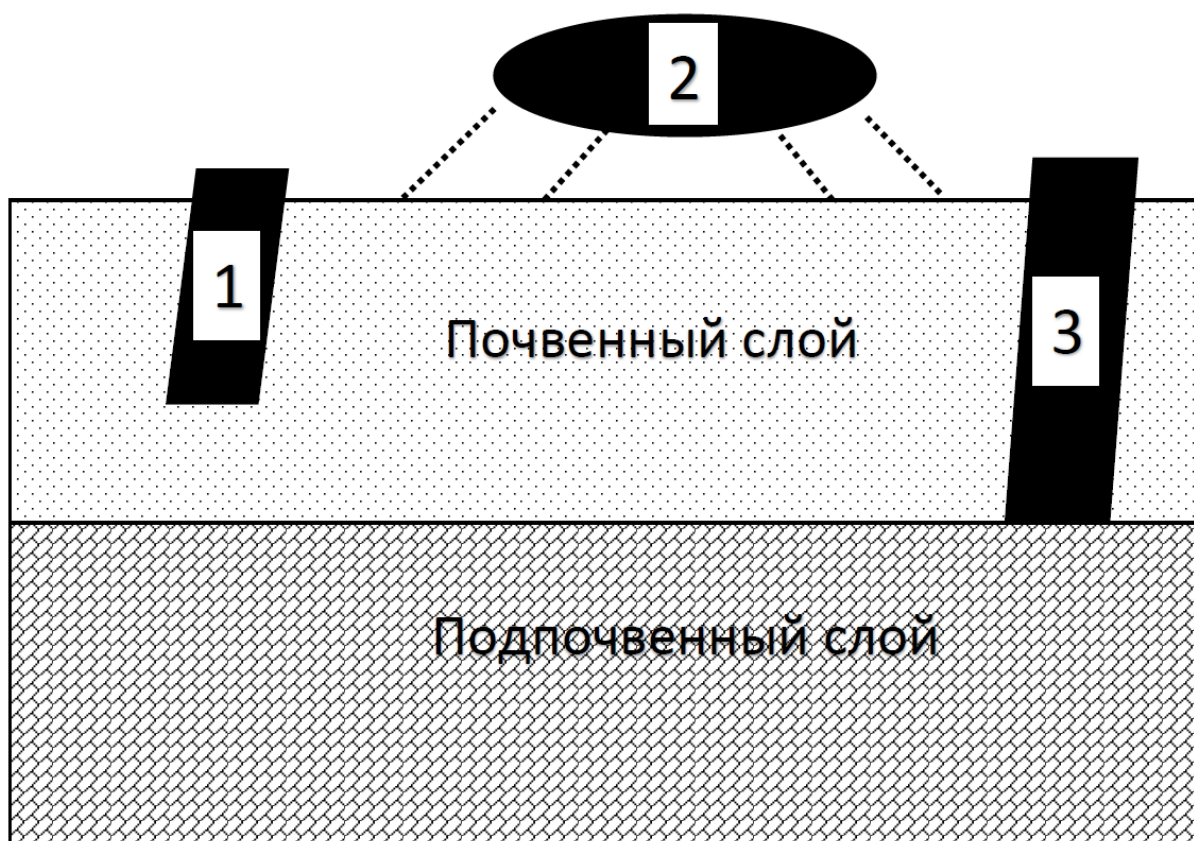


Рисунок 39. Способы шлангового внесения стоков животноводческих комплексов: 1) способ заправки в почвенный слой; 2) способ поверхностного внесения; 3) заправка в подпочвенный слой.

Первый способ внесения возможен два раза в год, весной, перед посевом сельскохозяйственных культур и осенью после уборки урожая. К его недостаткам относится:

- в весенний период растения находятся в начальной фазе развития, и внесенная норма азота разово на весь период вымывается в грунтовые воды, создавая предпосылку загрязнения окружающей среды, и не потребляется культурами в полном объеме. По этой причине в период вегетации так же, может наблюдаться нехватка азота, что потребует дополнительного внесения удобрений;

- в осенний период внесение сточных вод также приводит к вымыванию азота в грунтовые воды, поскольку вегетационный период закончился;

- при заашке в середине почвенного слоя только часть его сорбирует ион NH_4 , а в верхнюю часть слоя он попадает только за счет сил капиллярного поднятия. Его поступление зависит от влажности почвы на данный момент, поэтому часть сточных вод, также попадает в грунтовые воды;

Второй способ, поверхностное внесение обладает недостатком - распространение запаха за счет испарения азотных соединений. Следует отметить, что внесение данным способом возможно также два раза в год - весной и осенью при выращивании однолетних сельскохозяйственных культур, а в варианте возделывания многолетних трав внесение можно проводить в течение вегетации, после укоса трав, то есть в Центральной Нечерноземной зоне - четыре раза за вегетацию, при двух покосах за сезон.

При данном методе, в случае многолетних посевов, происходит равномерное распределение сточных вод животноводческих комплексов в течение вегетационного периода, приуроченное к фазам их развития, что влияет на максимальное потребление азотных соединений, содержащихся в них, и как следствие, минимизируется загрязнение грунтовых вод и окружающей среды, что соответствует целям и задачам экологически безопасной утилизации стоков.

Третий способ внесения, с заашкой в подпочвенный слой также обладает рядом недостатков, а именно:

- внесение возможно два раза в год весной и осенью, во вневегетационный период;

- при заашке ниже почвенного слоя большая часть сточных вод фильтруется в грунтовые воды, при этом азотные соединения, содержащиеся в них, не задерживаются ППК почвы, или лишь небольшое количество стоков поступает в вышележащий почвенный слой, за счет капиллярного поднятия.

Основным источником выноса азота, обеспечивающим экологически безопасную утилизацию сточных вод животноводческих комплексов, являются сельскохозяйственные культуры, возделываемые на полях утилизации, поэтому азотные соединения выносятся ими в период вегетации.

Во вневегетационный период NH_4 из ППК почвы переносится в почвенный раствор, и поскольку не происходит его отбора корнями растений, фильтруется в грунтовые воды.

На утилизационную способность почвы сельскохозяйственных полей также влияет ее пористость, даже при ее высокой влажности, при поверхностном внесении животноводческих стоков, способ 3, происходит следующий процесс, рисунок 40. Стоки, попадая на почвенную поверхность инфильтруются и вытесняя почвенный раствор заполняют поры, тем самым обеспечивая ППК аммонием, который им сорбируется.

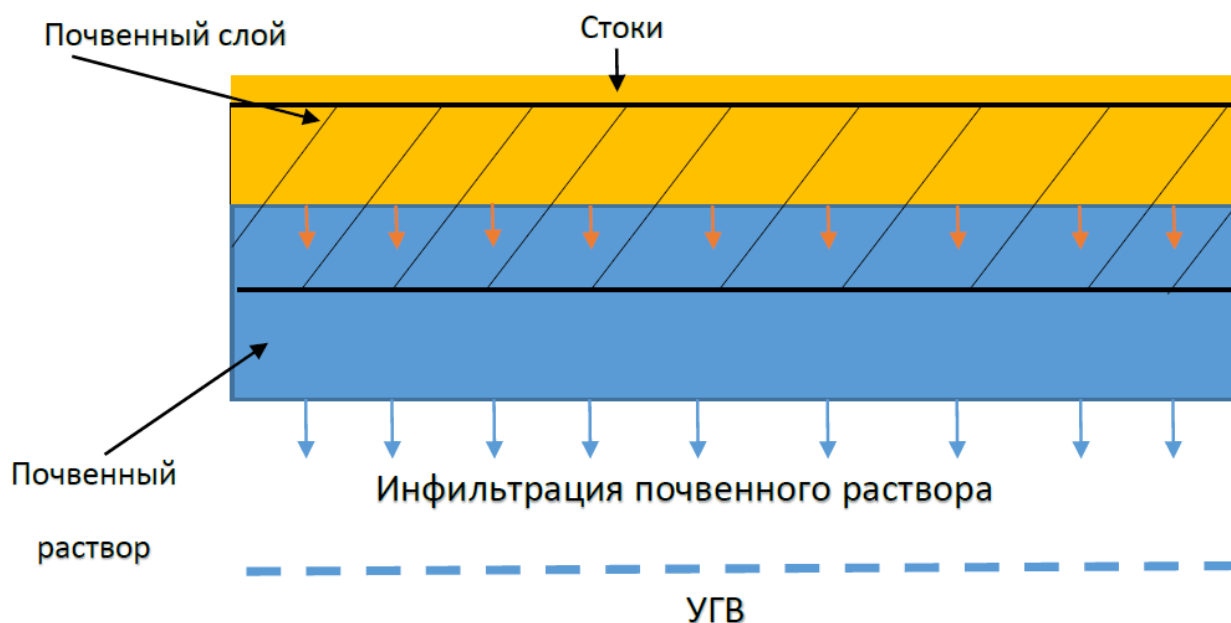


Рисунок 40. Вытеснение сточными водами, при поверхностном внесении, почвенного раствора из порового пространства слоя почвы.

Объем стоков, который может разово вместить почвенный слой сельскохозяйственного поля, определяется по зависимости:

$$V_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}} \cdot \Pi_{\text{п}}}{100}, \text{ м}^3 \quad (16)$$

где:

$V_{\text{п}}$ – объем расчетного почвенного слоя, м^3 ;

Пп – пористость расчетного почвенного слоя, %.

Вынос азота с урожаем считается по чистому веществу, в 1 кг NH_4 содержится 77,65% N или 0,7765 кг, что следует учитывать при расчетах.

В таблице 26 и рисунке 40, 41, представлены результаты расчета максимальной поглотительной способности ППК почвы проектируемых полей утилизации животноводческих стоков свиноводческого комплекса на 12 тыс. голов для компании «Бежецк – Агро» Тверской области. Почвы хозяйства дерново – подзолистые, мощность 25 см, объемная плотность 1,2 г/м³, поглощающая емкость по NH_4 составляет 0,8 мэкв, пористость 50 %, данные предоставлены агрономической службой хозяйства.

На свиноводческом комплексе по проекту предполагается самосплавная система навозоудаления, а также строительство 4 пленочных открытых лагун емкостью 10000 м³ каждая, под жидкую фракцию навоза после разделения его методом сепарации, и 2 карантинные.

Расчет, таблица 26, представлен для внесения шланговой системой по следующим вариантам: 1 вариант запашка животноводческих стоков на глубину 15 см, вариант 3 поверхностным способом, рисунок 37.

Таблица 26. Сорбционная характеристика ППК почвы 1 га сельскохозяйственных угодий компании «Бежецк - Агро».

№	Вариант внесения стоков	Количество реагирующей почвы Мрп, кг на га	Поглощающая емкость почвы к NH ₄ Кп, кг на га	Поглощающая емкость почвы Кпа по чистому N, кг на га	Разовый максимальный объем стоков, размещаемых в почве Вп, м ³ на га	Количество NH ₄ в кг на 1м ³ стоков	Количество чистого N в кг на 1м ³	Количество NH ₄ в кг на га	Количество N в кг на га
Концентрация NH ₄ в стоках 500 мг/л, N 390 мг/л									
1	1	1200000	43,2	33,55	500	0,5	0,39	250	195
2	2	3000000	108	83,86	1250	-"	-"	625	487,5
Концентрация NH ₄ в стоках 400 мг/л, N 310,6 мг/л									
3	1	1200000	43,2	33,55	500	0,4	0,31	200	155
4	2	3000000	108	83,86	1250	-"	-"	500	387,5
Концентрация NH ₄ в стоках 300 мг/л, N 233 мг/л									
5	1	1200000	43,2	33,55	500	0,3	0,23	150	115
6	2	3000000	108	83,86	1250	-"	-"	375	287,5
Концентрация NH ₄ в стоках 200 мг/л, N 155,3 мг/л									
7	1	1200000	43,2	33,55	500	0,2	0,16	100	80
8	2	3000000	108	83,86	1250	-"	-"	250	200
Концентрация NH ₄ в стоках 100 мг/л, N 77,7 мг/л									
9	1	1200000	43,2	33,55	500	0,1	0,08	50	40
10	2	3000000	108	83,86	1250	-"	-"	125	100
Концентрация NH ₄ в стоках 50 мг/л, N 38,9 мг/л									
11	1	1200000	43,2	33,55	500	0,05	0,04	25	20
12	2	3000000	108	83,86	1250	-"	-"	62,5	50

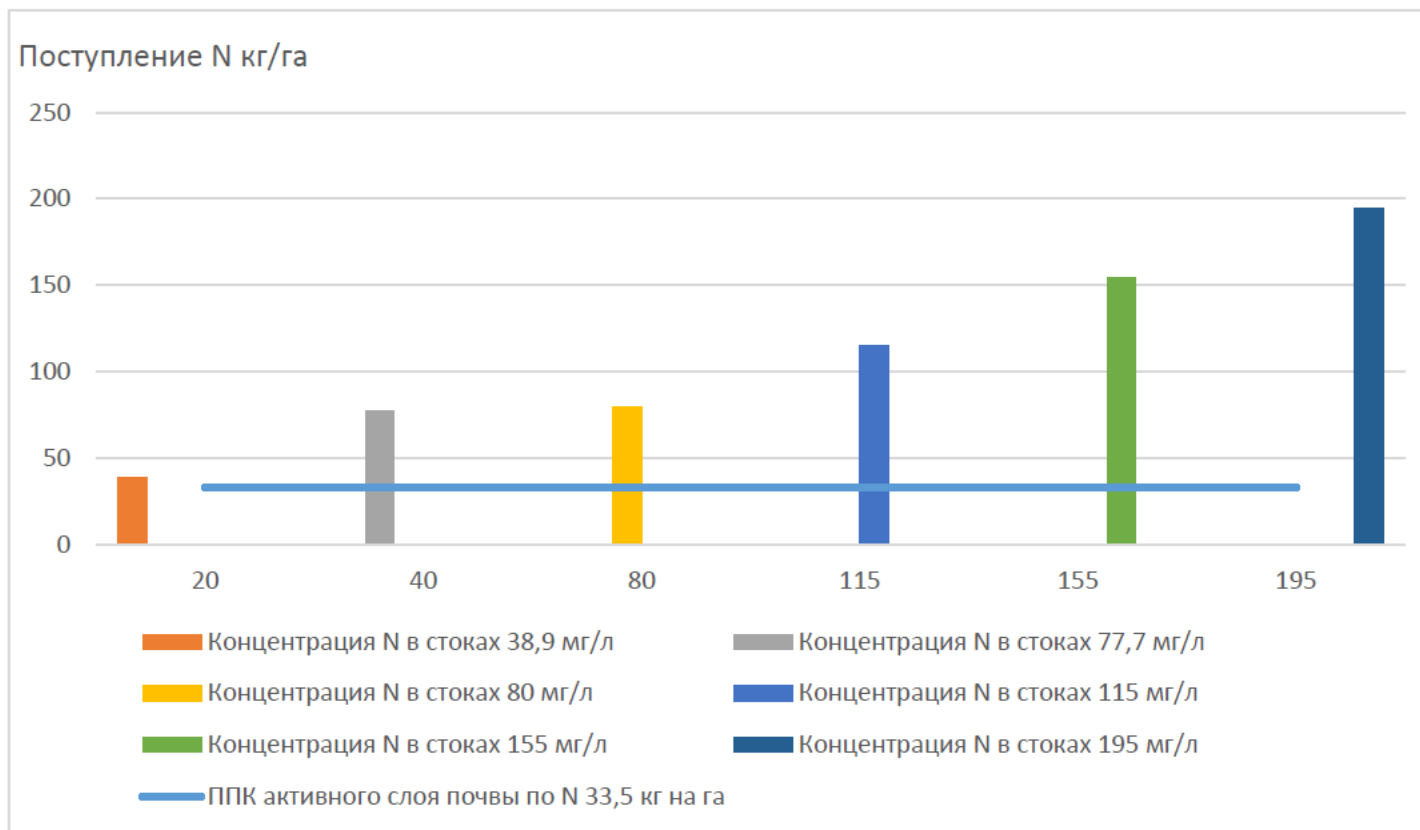


Рисунок 40. Сорбционная способность почвы компании «Бежецк – Агро» по чистому азоту, в зависимости от его концентрации в животноводческих стоках по варианту 1.

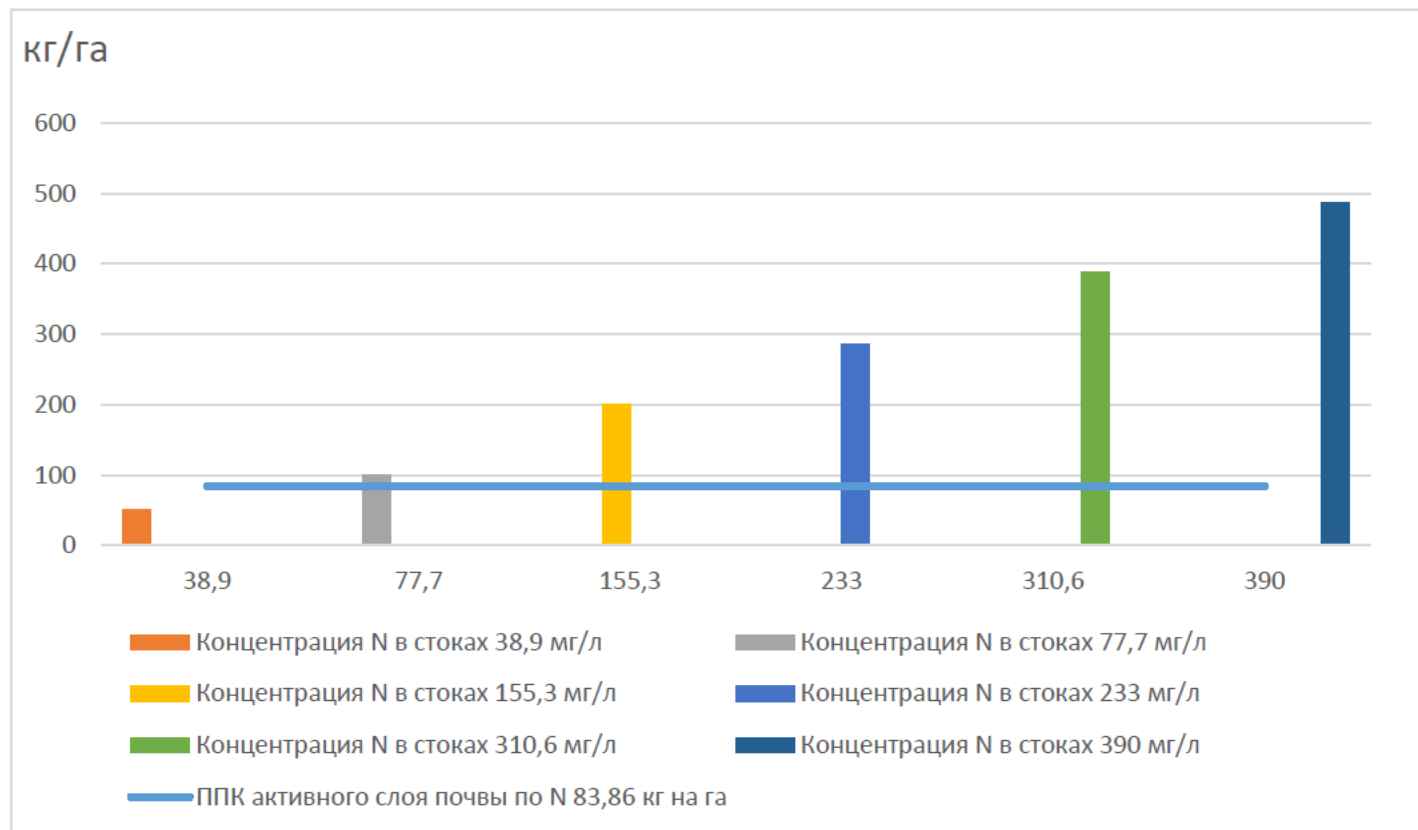


Рисунок 41. Сорбционная способность почвы компании «Бежецк – Агро» по чистому азоту, в зависимости от его концентрации в животноводческих стоках по варианту 3.

Утилизационную способность почвы определим по зависимости:

$$K_{ам} = \frac{K_{п} \cdot 1000}{V_{п}}, \text{ мг/л} \quad (17)$$

где: - $K_{ам}$ концентрация NH_4 в стоках животноводческих комплексов мг/л.

Данное уравнение позволяет определить допустимую концентрацию NH_4 в стоках животноводческого комплекса, подлежащих утилизации, исходя из конкретных физико-химических свойств почв, для их экологически безопасной утилизации

4.2 Методика расчета утилизационной способности сельскохозяйственных полей с детоксикацией стоков электрическими полями

Внесение стоков животноводческих комплексов на сельскохозяйственные поля, прежде всего, производится с целью их утилизации, с предотвращением или минимизацией экологического ущерба окружающей среде. Основной проблемой является то, что для данных мероприятий, при промышленном выращивании животных требуются значительные площади, а также большие финансовые и материальные затраты на обработку и внесение стоков, которые напрямую зависят от размера сельскохозяйственных угодий, где производится утилизации ППЖ.

Были произведены расчеты, с использованием разработанной математической модели, на примере проектируемого свиноводческого комплекса, на 12 тыс. голов по откорму свиней, предприятия «Бежецк – Агро», для утилизации годового объема сточных вод, который, по проектным данным, составляет 40 тыс. м³ в год, по нескольким сценариям:

1. Утилизация, 1 вариант внесения с запашкой в почвенный слой на глубину 0,15 м, без обработки стоков свиноводческих комплексов электрическими полями;

1.1 Внесение продуктов ППЖ в почву по первому варианту, с использованием электролизной установки;

2. Распределение стоков комплекса, второй вариант внесения по поверхности почвы сельскохозяйственных полей, без их обработки электрическими полями;

2.1 Внесение сточных вод по технологии второго варианта внесения, с применением электролизной установки.

Изначально сточные воды могут содержать в себе до 500 мг/л NH_4 , в процессе хранения в лагуне происходят потери азота с ее поверхности в виде аммиака, которые по литературным данным могут достигать 33% [Потери азота]. Таким образом, при расчетах, к моменту внесения ППЖ концентрация аммония в них принята 300 мг/л, без обработки электрическими полями. При использовании электролизной установки начальное содержание аммония также задавалось 300 мг/л.

При определении утилизационной способности сельскохозяйственных полей, была применена разработанная математическая модель, в качестве исходных данных были взяты физико-химические характеристики почв, предоставленные компанией «Бежецк-Агро», результаты расчета представлены в таблице 27. Экологически безопасная концентрация аммония в ППЖ определялась по математической модели, зависимость (17), которая составила 85 мг/л, для данных почвенных характеристик.

В результате расчетов были определены следующие площади сельскохозяйственных полей из условия предотвращения или минимизации загрязнения окружающей среды соединениями аммония, и экологически безопасные концентрации NH_4 в сточных водах животноводческого комплекса, которые должна обеспечить разработанная динамическая электролизная установка:

- При 1 сценарии, внесение методом запашки на глубину 0,15 м, необходимая площадь полей утилизации составит 280 га, при содержании NH_4 в стоках 300 мг/л;

- Сценарий 1.1 предусматривает использование разработанной динамической электролизной установки, экологически безопасная концентрация аммония в сточных водах, по результатам проведенных расчетов 85 мг/л, требуемая площадь сельскохозяйственных угодий 80 га;

- Сценарий 2, внесение поверхностным способом, без обработки электрическими полями, при концентрации NH_4 в стоках 300 мг/л, требуемая площадь сельскохозяйственных полей составит 112 га;

- Сценарий 2.1, поверхностное распределение животноводческих стоков с применением электролизной динамической установки при концентрации вносимых ППЖ 85 мг/л по аммонийному азоту, площадь полей утилизации составляет 32 га.

Эффективность работы динамической электролизной установки с одной сотой, в зависимости от расхода и размера рабочей части представлены в таблице 22. Исходя из полученных экспериментальным путем данных, применительно к проектируемому свиноводческому комплексу, выберем следующие параметры, рисунок 42:

- l_p , длина рабочей части электролизера, 1,5м;
- $Q_{\text{сек}}$, расход, 0,1 л/с;
- $Q_{\text{сут}}$, расход, 8,64 м³/сут.;
- V , скорость, 0,07 м/с;
- t , время обработки, 23 с;
- K_n , начальная концентрация NH_4 , 300 мг/л;
- K_k , конечная концентрация NH_4 , 185 мг/л, по N 143,65 мг/л.

Для снижения концентрации аммония в сточных водах с 300 мг/л до 85 мг/л при круглогодичной работе динамической электролизной установки, для 40000 м³ ППЖ, понадобится 13 сот, что потребует необходимую площадь полей утилизации, при сценарии 1.1, 80 га против 280 га, при содержании NH_4 300 мг/л, и 32 га против 112 га при концентрации аммония также 300 мг/л, по сценарию

2.1 внесения сточных вод проектируемого свиноводческого комплекса компании «Бежецк – Агро».

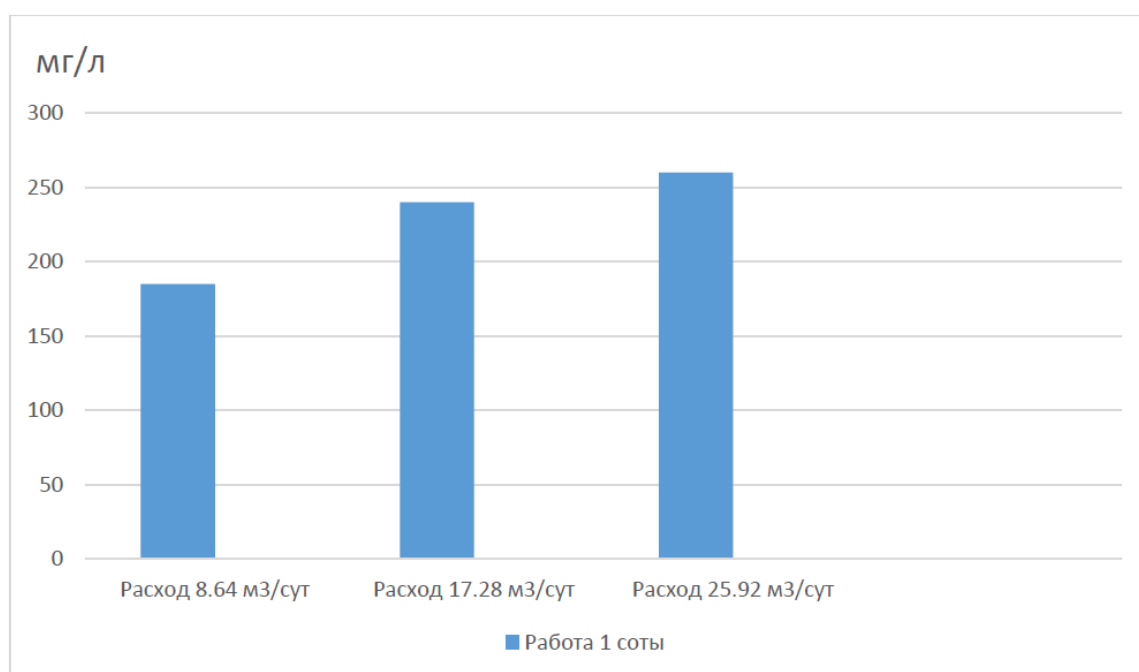


Рисунок 42. Характеристики работы одной соты динамической электролизной установки, при начальной концентрации аммония 300 мг/л, при различных суточных расходах.

Принципиальная схема промышленной динамической электролизной установки для детоксикации сточных вод животноводческих комплексов представлена на рисунке 42. Данная конструкция размещается на поверхности лагуны, что позволяет не встраивать соты в подающие магистрали, и не изменять конструкцию подачи стоков, а также обеспечивает ее мобильность и облегчает техническое обслуживание и ремонт. Количество сот, размещаемых на понтоне, зависит от конкретных характеристик лагуны, и требуемых значений концентрации аммонийных соединений в стоках, исходя из обеспечения их экологически безопасной утилизации.

Следует отметить, что при хранении стоков в лагунах с их поверхности испаряется большое количество аммиака, который загрязняет атмосферу, и собрать его на открытом пространстве невозможно. Разработанное техническое

устройство позволяет сконцентрировать NH_3 в конкретном месте и отобрать его с помощью скрубберов, минимизировать загрязнения воздушного пространства в месте размещения лагун.

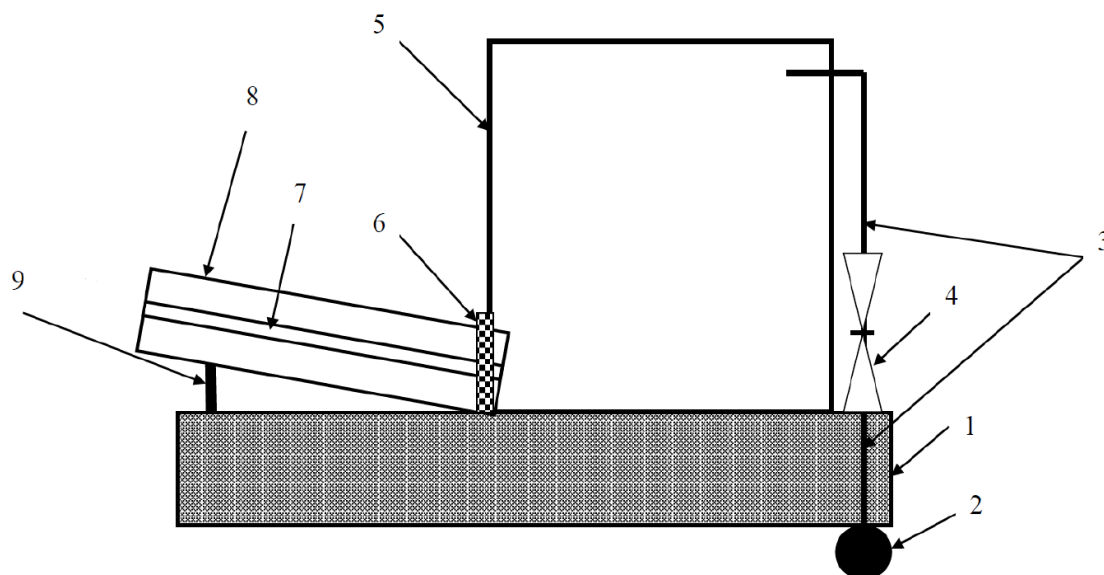


Рисунок 42. Принципиальная схема динамической электролизной установки: 1 – понтон; 2 – насосная установка; 3 – напорная линия; 4 – шиберная задвижка; 5 – открытая компенсационная емкость; 6 – эластичная соединительная муфта; 7 – графитовый анод; 8 – катод из алюминия; 9 – регулируемая опора.

Данный подход, к утилизации ППЖ, помимо обеспечения сохранности окружающей среды, жизни и здоровья людей, позволяет значительно снизить материальные и финансовые затраты, а также повысить качество продукции животноводства и растениеводства. При применении детоксикации стоков с использованием разработанной динамической электролизной установки, которая также оказывают обеззараживающее воздействие, строительство карантинных лагун не требуется, что снижает стоимость строительных, проектных работ и эксплуатационных затрат.

4.3 Выводы по главе 4

1. Основным фактором, при экологически безопасной утилизации животноводческих стоков, влияющим на дозы внесения азота, является поглотительная способность почвы или почвенно - поглощающий комплекс (ППК), который сорбирует соединения NH_4 .

2. Источником выноса азота, обеспечивающим экологически безопасную утилизацию сточных вод животноводческих комплексов, являются сельскохозяйственные культуры, возделываемые на полях утилизации. Азотные соединения выносятся ими в период вегетации.

3. На утилизационную способность почвы сельскохозяйственных полей большое влияние оказывает ее пористость, которая обуславливает объем сточных вод, которые размещаются в ее поровом пространстве.

4. Применение динамической электролизной установки позволяет сократить площадь полей утилизации для животноводческих стоков более чем в 3,5 раза.

5. При хранении стоков в лагунах с их поверхности испаряется большое количество аммиака, который загрязняет атмосферу, и собрать его на открытом пространстве невозможно.

6. Разработанное техническое устройство позволяет сконцентрировать NH_3 в конкретном месте и отобрать его с помощью скрубберов, и минимизировать загрязнения воздушного пространства в месте размещения лагун.

5. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЕТОКСИКАЦИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

5.1 Сравнительный расчет экономической эффективности утилизации сточных вод животноводческих комплексов с их детоксикацией электрическими полями

Для оценки экономических затрат по внесению животноводческих стоков на сельскохозяйственные поля шланговыми системами, при различных сценариях утилизации, определим усилие на крюке трактора К-701, эксплуатирующего на предприятии «Бежецк – Агро».

Для оценки тягового сопротивления чизельного плуга при заправки животноводческих стоков, сценарий 1 и 2, определим вредное сопротивление (P_1) для условий сельхоз предприятия «Бежецк – Агро», по следующей зависимости:

$$P_1 = 9,8 \cdot f, \text{кН} \quad (18)$$

где

- f – коэффициент пропорциональности, зависящий от типа почв и агрофона, 0,5.

Полезное сопротивление представляется в виде двух составляющих: сопротивления P_2 , возникающего при деформации пласта, и сопротивления P_3 , возникающего при отбрасывании пласта и сообщении ему кинетической энергии.

Сопротивление P_2 пропорционально площади поперечного сечения пласта, определим по уравнению:

$$P_2 = K_1 \cdot a \cdot b \cdot n_k \cdot k, \text{кН} \quad (19)$$

где:

K_1 – коэффициент, характеризующий сопротивление пласта различных почв деформации, равен 30000 Н/м²;

a – глубина запашки, м для сценариев №1,2 $a=0,15$ м ;

b – ширина захвата одного корпуса, $b = 0,31$ м;

n_k – количество корпусов $n_k = 6$ шт.

Сопротивление P_3 пропорционально площади поперечного сечения отбрасываемых пластов и квадрату скорости движения агрегата [115]:

$$P_3 = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot k \cdot v^2 \text{ ,кН} \quad (20)$$

где:

ε – коэффициент, характеризующий форму рабочей поверхности корпуса плуга и свойства почв, Н $\text{с}^2/\text{м}^4$;

v – скорость движения агрегата, м/с.

Общее тяговое сопротивление плуга составит:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 9,8 \cdot f \cdot M + K_1 \cdot a \cdot b \cdot n_k + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot k \cdot v^2 \text{ ,кН} \quad (21)$$

Мощность трактора $N_{кр}$ с чизельным плугом для внесения стоков на глубину 0,15 м, по сценарию 1 и 2, определим по уравнению::

$$N_{кр} = P_{(1,2)} \cdot V_{тр} \text{ ,кН} \quad (22)$$

где:

$P_{(1,2)}$ – тяговое усилие трактора, $P_{(1)} = 46,1$ кН; $P_{(2)} = 27,3$ кН.;

$V_{тр}$ – скорость трактора с орудием $V_{тр} = 1,4$ м/с.

Действительная скорость V_T (м/с) трактора с орудием, при внутрипочвенном внесении сточных вод составит:

$$V_T = \frac{\omega_d \cdot r_k}{\tau_{тр}} \text{ м/с} \quad (23)$$

где:

ω_d – угловая скорость вала, с^{-1} ; $\omega_d = \pi \cdot n / 30$, где n = обороты двигателя, об/мин.

r_k – кинематический радиус колеса, м;

$\tau_{тр}$ – передаточное значение трансмиссии.

Действительную скорость V_T (м/с) определим через номинальную частоту вращения $\omega_d \cdot c^{-1}$ коленчатого вала трактора

Для определения крюкового расхода топлива расходуемым двигателем примем отношение часового расхода топлива к крюковой мощности двигателя как:

$$g_{кр} = \frac{Q_{тч}}{N_{кр}} \quad , \text{ г/кВт*ч} \quad (24)$$

где:

$Q_{тч}$ – часовой расход топлива, $Q_{тч1} = 36,3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$; $Q_{тч2} = 25,5 \text{ кг/ч}$;

$N_{кр}$ – крюковая мощность трактора, $N_{кр1} = 46 \text{ кВт}$.

Результаты расчета представлены в таблице 27, из которых видно, что крюковой расход топлива пропорционален крюковой нагрузке. Полученные результаты приведены в таблице. [116,117,118,119]

Таблица 27 Зависимость загрузки двигателя трактора от крюковой нагрузки.

№ сценария	Глубина внесения сточных вод, м.	Усилие на крюк трактора от сопротивления орудия, кН/м ²	Крюковая нагрузка трактора $P_{кр}$ кВт	Крюковой расход топлива $g_{кр}$, кг кВт/ч	Скорость движения трактора с орудием, м/с
1	0,15	22,34	27,3	0,679	1,38
2	0	0	19,1	0,270	1,38

Одним из важнейших показателей является производительность трактора, в которой отражается степень механизации и эффективность использования техники.

Производительность (W_q , га) за час сменного времени определяется по формуле:

$$W_q = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \text{ га/ч} \quad (25)$$

где:

B_p – ширина захвата орудия, $B_p = 4,415 \text{ м}$;

V_p - рабочая скорость, $V_p = 5 \text{ км/ч}$;

τ – коэффициент использования времени, $\tau = 0,81$.

Сменная производительность системы определяется по формуле:

$$W_c = W_q \cdot t_c \quad \text{га/смен} \quad (26)$$

где:

t_c — время смены, $t_c = 8$ ч.,

Расход топлива трактора с орудием за рабочую смену $g_{см}$ составит:

$$g_{см} = g_{кр} \cdot t_c \quad \text{кг/смен} \quad (27)$$

Стоимость дизельного топлива за смену определим по зависимости:

$$C_T = g_{см} \cdot c_{дт} \quad (28)$$

где:

$c_{дт}$ — стоимость дизельного топлива, руб/л., $c_{дт} = 70$ руб/л. (По ценам на 05.05.2025 г. АЗС Роснефть в г. Тверь)

Полученные результаты расчета производительности внесения сточных вод, по расходу и стоимости топлива за рабочую смену представлены в сводной таблице 28.

Таблица 28 Расчетные данные топливных затрат по внесения сточных вод шланговыми системами восьмичасовую рабочую смену.

№ сценария	Глубина внесения сточных вод, м.	Производительность (W_q , га /ч)	Производительность за восьмичасовую смену (W_c , га/смен)	Расхода топлива трактора с орудием за рабочую смену $g_{см}$, л.	Стоимость топлива за один литр, руб.	Стоимость топлива за восьмичасовую смену, руб.
1	0,15	1,78	14,24	290	70	20000
2	0	1,781	14,24	203,8	70	14000

Годовой объем животноводческих стоков, на проектируемом свиноводческом комплексе «Бежецк — Агро», подлежащих утилизации составляет 40000 тыс. м³.

5.2 Расчет эксплуатационных затрат динамической электролизной установки

Для оценки экономической эффективности проведем расчеты динамической электролизной установки. Исходные данные установки: напряжение 12 В, сила тока 5 А., мощность 0,06 кВт ч.

Стоимость 1 кВт ч электроэнергии без НДС по Тверской области на май 2025 года, тариф для средних промышленных предприятий по данным АО «Тверьэнергосбыт» составляет 7,68988 рублей.

Суточное потребление электроэнергии одной соты составляет:

$$P_{\text{ВТ}}^{\text{с}} = P_{\text{ВТ}}^{\text{ч}} \cdot 24, \text{ кВт ч} \quad (29)$$

где:

$P_{\text{ВТ}}^{\text{с}}$ – потребляемая мощность одной соты в сутки, Вт,

$P_{\text{ВТ}}^{\text{ч}}$ – потребляемая мощность одной соты в час, Вт,

Стоимость суточного энергопотребления:

$$C_{\text{сут}} = P_{\text{ВТ}}^{\text{с}} \cdot c, \quad (30)$$

где: $C_{\text{сут}}$ – стоимость электроэнергии за одни сутки, руб

c – стоимость 1 кВт ч электроэнергии,

В таблице 29 представлены результаты расчета затрат энергопотребления динамической электролизной установки для детоксикации стоков сельхозпредприятия «Бежецк – Агро»

Таблица 29 Результаты расчета затрат энергопотребления динамической электролизной установки для детоксикации животноводческих стоков

Стоимость электроэнергии за 1кВт, руб.	Потребляемая электроэнергия в сутки кВт ч	Потребляемая электроэнергия в месяц кВт ч	Потребляемая электроэнергия в год кВт ч	Стоимость электроэнергии электролизной установки за 1 год
7,68988	18,72	561,6	6739,2	51823,63

Расчетные данные оценки экономических затрат по внесению животноводческих стоков на примере хозяйства «Бежецк – Агро» при разных сценариях утилизации представлены в таблице 30.

Таблица 30 Оценка экономических затрат по внесению животноводческих стоков шланговыми системами при разных сценариях.

№ п/п	Концентрация NH ₄ в стоках, мл/г	Площадь внесения, га	Производительность трактора W _ч , га/ч	Производительность трактора за смену W _с га/смен	Кол-во смен	Усилие на крюк трактора, кН/м ²	Крюковая нагрузка Р _{кр} , кВт	Крюковой расход топлива g _{кр} , кг кВт/ч	Скорость движения трактора с орудием, м/с	Кол-во затрачиваемого топлива, л.	Затраты на топливо в руб.	Затраты на работу электролиза стоков, руб. в год.
1	Сценарий №1											
2	300	280	1,78	14,24	19,6	22,34	27,3	0,679	1,38	5684	397880	-
3	Сценарий №1.1											
4	300	80	1,78	14,24	5,6	22,34	27,3	0,679	1,38	1624	113680	51823,63
5	Сценарий № 2											
6	300	112	1,78	14,24	7,8	0	19,1	0,270	1,38	1589,64	111274,8	-
7	Сценарий № 2.1											
8	85	32	1,78	14,24	2,24	0	19,1	0,270	1,38	456,512	31955,84	51823,63

Примечание: данные в таблице представлены без учета амортизации по состоянию на 2025 г.

Исходя из анализа технико-экономических затрат рассмотренных в четырех сценариях внесения сточных вод животноводческих комплексов шланговыми системами можем сделать вывод, что использование чизельного плуга увеличивает эксплуатационные затраты, т.к. его применение влияет на расход топлива. Рассмотренные сценарии 1.1 и 2.1 поверхностного внесения показывает лучший результат по топливной экономичности.

Расчёт годовой экономии от снижения эксплуатационных затрат за счёт предлагаемых сценариев 1.1 и 2.1 рассчитывается по формуле:

$$\mathfrak{E} = \frac{3_{1,2}}{3_{1.1,2.1}} \quad (31)$$

Таблица 31 Результаты расчёта годовой экономии от снижения эксплуатационных затрат

Варианты сценариев	Затраты, руб.	Экономия, в руб.
Сценарий 1	397880	-
Сценарий 1.1	165503,63	232376,37
Сценарий 2	111274,8	-
Сценарий 2.1	83779,47	27495,33

* Примечание: приведенные затраты по сценариям 1.1,2.1 являются суммами затрат на дизельное топливо и электроэнергию при электролизе.

Из анализа таблицы 31 можно сделать вывод, что сценарии 1.1 и 2.1 экономически выгодны, так как экономия эксплуатационных затрат по сценарию 1.1 составила 232376,37 руб., по сравнению со сценарием 1, а экономия эксплуатационных затрат по сценарию 2.1 - 27495,33 руб. по сравнению со сценарием 2.

5.3 Экологический ущерб от загрязнения поверхностных и грунтовых вод животноводческими стоками

По данным Росстата, в конце 2024 года в РФ численность поголовья свиней составляло 29 млн голов. Существующие методы утилизации животноводческих стоков до конца не устраняют негативное воздействие сточных вод животноводческих комплексов на окружающую среду.

В Российской Федерации охрана окружающей среды находится в ведомстве государственного экологического надзора, министерства природных ресурсов и экологии.

При выявлении нарушений на сельскохозяйственном предприятии вступает в силу КоАП РФ глава 8 Административные правонарушения в области охраны окружающей среды [120,121,122], природопользования и обращение с животными. В случае выявления загрязнения окружающей среды ППЖ вступает в силу КоАП РФ 8.2 несоблюдение требований в области охраны окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления.

В юридической практике был прецедент в Московской области Луховицком районе зафиксирован факт загрязнения сточными водами свиноводческого комплекса принадлежащего ООО «СПФО» притока реки Меча.

По результатам проверки ООО «СПФО» привлечено к административной ответственности по ст. 8.2 КоАП РФ (несоблюдение экологических и санитарно-эпидемиологических требований при сборе, накоплении, использовании, обезвреживании, транспортировании, размещении и ином обращении с отходами производства и потребления, веществами, разрушающими озоновый слой, или иными опасными веществами) и ч.4 ст. 8.13 КоАП РФ (нарушение требований к охране водных объектов, которое может повлечь их загрязнение, засорение и (или) истощение).

Вследствие попадания сточных вод свиноводческого комплекса в водоисточник произошел 100% падеж рыбы, а именно серебристого карася в количестве 6656 штук. Помимо массовой гибели рыбы, ущерб нанесен другим водным биологическим ресурсам и среде их обитания, а именно: кормовой базе, включая фито зоопланктон, макробентосу (моллюски) и мягкому бентосу. Сумма ущерба составила 9,3 млн.руб. В следствие умышленных действий загрязнения акватории безымянного ручья неочищенными сточными водами произошло существенное изменение природных свойств водного объекта. По оценке специалистов, восстановление водных биоресурсов и среды их обитания до естественного уровня займет от 4 до 6 лет.

Юридическое лицо ООО «СПФО» должно провести рекультивацию и очистку водного объекта притока реки Меча на площади 18000 м².

По расценкам рекультивации и очистки водных объектов от загрязнения стоимости комплексной очистки 200 м² стоит 350 тыс. рублей, стоимость компенсации за причинённый ущерб приведена в таблице.

Таблица 32 Затраты на возмещения экологического ущерба понесенного свинокомплексом ООО «СПФО» от сброса жидких навозных стоков в реку Меча.

Судебные взыскания, млн. руб	Площадь зараженной реки, м ²	Стоимость рекультивации одного уч. 200 м ² , руб.	Стоимость всей рекультивации в млн. руб.	Понесенные убытки свинокомплексом, млн. руб.
9,3	18000	350000	31,5	40,8

Таким образом можно сделать заключение, что применение разработанной динамической электролизной установки позволяет предотвратить ущерб окружающей среде, и значительно снизить экономические и материальные затраты на утилизацию сточных вод животноводческих комплексов.

5.4 Выводы по главе 5

1. Исходя из анализа технико-экономических затрат, рассмотренных в четырех сценариях внесения сточных вод животноводческих комплексов шланговыми системами, можем сделать вывод, что использование чизельного плуга увеличивает эксплуатационные затраты, т.к. влияет на расход топлива. Рассмотренные сценарии 1.1 и 2.1 поверхностного внесения показывает лучший результат по топливной экономичности и соответственно снижению финансовых затрат на топливо.

2. В результате расчета экономии эксплуатационных затрат по сценарию 1.1 составила 232376,37 руб., по сравнению со сценарием 1. Так же экономия эксплуатационных затрат по сценарию 2.1 составила 27495,33 руб. по сравнению со сценарием 2.

3. Применение разработанной динамической электролизной установки позволяет предотвратить ущерб окружающей среде, и значительно снизить экономические и материальные затраты на утилизацию сточных вод животноводческих комплексов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих технологий обеззараживания и детоксикации животноводческих стоков показал, что среди них наиболее эффективным и применяемым является обработки побочных продуктов животноводства химическими реагентами, такими как формальдегиды и хлорсодержащие вещества. Недостатком данного способа является то, что в стоках остаются реагенты, которые необходимо удалять, и в своем начальном виде полученный продукт опасен для дальнейшей утилизации. Способ обработки сточных вод животноводческих комплексов электрическими полями дает двойной эффект, позволяет снизить концентрацию в них соединений NH_4 и уничтожить болезнетворные микроорганизмы, при этом токсичность сточных вод снижается, и не требуется дополнительной их очистки.

2. Экспериментальные исследования показали, что наиболее оптимальным является использование следующего сочетания материалов в установке для электролиза, анод - из графита, катод - из алюминия, при этом на эффективность электролиза NH_4 влияние оказывает катод. Наибольший эффект, по снижению концентрации аммония в электролите достигается при его движении в динамической электролизной установки, в отличие от статической. Эффективность процесса электролиза в неподвижной среде электролита ограничена скоростью диффузии между раствором в приэлектродном пространстве и основным слоем электролита. При движении электролита происходит перемешивание раствора, и производительность электрохимического процесса возрастает.

4. Разработанная динамическая электролизная установка позволяет снизить концентрацию аммония в стоках животноводческих комплексов до требуемых значений, которые определяются по физико-химическим свойствам почвы конкретного хозяйства, что обеспечивает их экологически безопасную утилизацию, с предотвращением ущерба окружающей среде.

Для снижения концентрации аммония в сточных водах с 300 мг/л до требуемых 85 мг/л, для почв хозяйства компании «Агро-Бежецк», при круглогодичной работе динамической электролизной установки, и объеме 40000 м³ ППЖ, понадобится 13 сот. Необходимая площадь полей утилизации, составит 32 га против 112 га.

5. Применение разработанного технического устройства для электролиза сточных вод животноводческих комплексов, позволяет значительно снизить экономические и материальные затраты на их утилизацию, и предотвратить экологический ущерб окружающей среде. В результате расчета экономия эксплуатационных затрат по предлагаемой технологии составила 232376,37 руб. Предотвращение экологического ущерба окружающей среде может составить более 40 млн. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимическая характеристика почв СССР. Почвенно-агрохимическое районирование. - М.: 1976, с. 290 -345.
2. Айдаров И. П., Голованов А. И., Никольский Ю. Н. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель, - М.: 1990.-59 с.
3. Алпатьев А. М. Характеристика и географическое распространение засух /А. М. Алпатьев, В. М. Иванова // Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л.: Гидрометеиздат, 1958. С. 31- 45.
4. Барышова Н. А. Формирование химических веществ в основных геосистемах центральной лесостепи. – в кн. : Геосистема мониторинг. Строение и функционирование геосистем. – М. : АН СССР Институт географии, 1986, с. 1957-166.
5. Бацанов И. И., Лукьянинков И. И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. - М. : Агропромиздат, 2010 - 160 с.
6. Афанасьева Т. В., Василенко В. И., Терешина Т. В., Шерemet Б. В. / Почвы СССР //- М.: Мысль, 1979, с. 43 – 77.
7. Ахметьева Н. П. Загрязнение грунтовых вод удобрениями.- М.: Наука, 1991.- 159 с.
8. Баланс азота и трансформация азотных удобрений в почвах. – Пущено, 1986. -159 с.
9. Бардин М. Ю. Антициклоническая квазистационарная циркуляция и ее влияние на аномалии и экстремумы температуры воздуха западных областях России / М. Ю. Бардин // Метрология и гидрология. 2007.№ 2 С. 5-17.
10. Голубев И.Г., Шванская И.А., Коноваленко Л.Ю., Лоциклинг отходов в АПК: справочник. — М.: ФГБНУ Р 45 «Росинформагротех», 2011. – 296 с.

11. Легонькова О.А. Экологическая безопасность: биотехнологические аспекты утилизации пищевых отходов сырья. Хранение переработка сельхоз-сырья – 2008. – № 8. – С. 18-22.
12. Пальгунов, Н.В. Промышленные сточные воды / Н.В. Пальгунов. – М.: Стройиздат, 2000г. – 415с.
13. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник / Ю. В. Воронов [и др.] – изд. 5-е, доп. и перераб. – М.: Академия, 2016. – 702 с.
14. Батлук, А.В Основы экологии и охрана окружающей среды / А.В. Батлук. – М.: Афиша, 2014. – 335 с.
15. Росстат - Официальная статистика / Росстат поголовья свиней в РФ 2024 г [Электронный ресурс]:
<https://rosstat.gov.ru/search?q=поголовье+свиней+2024>
16. Седлухо, Ю.П. Проблемы очистки сточных вод и нормирование их сброса в городскую канализацию и водные объекты / Ю.П. Седлухо //Вода: науч.-технич. журнал для специалистов Министерства жилищно-коммунального хозяйства. – 2010. – № 4. – С. 16 – 19.
17. Яромский, В. Н. Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий / В. Н. Яромский. – Минск: Издательский центр БГУ, 2009. – 171 с.
18. Васильев С. М., Домашенко Ю. Е., Ляшков М. А., Матвиенко А. О., Митяева Л. А., Глущенко Ю. Ю. Анализ источников формирования сточных вод на агропредприятиях, их качественных и количественных показателей (научный аналитический обзор) ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», тг. Новочеркасск, Российская Федерация 2017-82 с.
19. Белоусова, Н. И. Анализ экологического состояния отраслей АПК РФ и проблемы экологизации в мясной промышленности / Н. И. Белоусова, Т. А. Мануйлова, Н. Ф. Панков // Все о мясе. – 2006. – № 4.– С.44–48. 2 Сатыбалдиева, Д. К. Очистка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий.

20. Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности / С. М. Шифрин [и др.]. – М.: Лег. и пищ. промышленность, 1981. – 272 с.
21. Мазуряк, О. Н. Очистка сточных вод молокозаводов / О. Н. Мазуряк // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2016. – Т. 1. – С. 432–440.
22. Дмитриева В.И., Никитин В.А., Поленина В.А. Использование стоков животноводческих комплексов. –М.: Агропромиздат, 2007. -64 с.
23. Бацанов И.И., Лукьяненко И.И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах . –М.: Агропромиздат, 2010. -160 с.
24. Методические рекомендации по проектированию систем удаления и переработки навозных стоков на свинокомплексах промышленного типа / М-во сельского хоз-ва Российской Федерации; [подгот.: Н. Т. Сорокин и др.]. – Москва: Минсельхоз России, 2009. – 103 с. – ISBN 978-5-7367-0727-0. – EDN QLAXTZ.
25. Сохранность азота как количественный показатель экологической устойчивости фермы КРС / А. Ю. Брюханов, В. А. Спесивцев, А. В. Спесивцев, В. А. Ружьев // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 3. – С. 93-104. – DOI 10.28983/asj.y2025i3pp93-104. – EDN NPJNUB.
26. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2 .1.5.1315-03. - М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 154 с.
27. Чеснокова С. М. Основы токсикологии и экотоксикологии : учеб. пособие / С. М. Чеснокова, О. В. Савельев ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 132 с. и
28. Ведомственные нормы технологического проектирования мелиоративные системы и сооружения /Оросительные системы с

использованием сточных вод животноводческих стоков // (взамен ВСН 33-2.2.01-85, ВОН 33-2.2.02-80) ВНТП 01-98 Издание официальное Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации Москва 1998 Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации Москва 1998.

29. Опасность сочетанного загрязнения кормов экотоксикантами техногенного и природного происхождения / В.И.Егоров, Г. Г. Галяутдинова, Э.И.Семенов [и др.] // Zpravyvě deckeideje – 2013: materialy IX mezinarodni vědeckoprakticka conference. – Dil 21. Zemědělství. Zvěrolekařství. – Praha: Publishing House .Education and Science. – P. 101-104.

30. Жестков Н. Н. Токсико-экологический контроль азотсодержащих токсических веществ в объектах окружающей среды / Н.Н. Жестков, Д.В. Алеев, Л.В.Кравчук // Матер. III-го Междунар. Конгресса ветеринарных фармако-логов и токсикологов. – СПб., 2014. – С. 96-98.

31. Сагдеева Зухра Халимовна /Ветеринарно-санитарное обоснование применения модифицированного сорбента при контаминации кормов этотаксинами// 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Казань – 2024.

32. Догадина, М. А., Ларионов М.В. Экологическая токсикология: учебное пособие для студентов ВУЗов / М. А. Догадина, М. В. Ларионов –2-е изд., пер. и доп. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2019. – 283с.

33. Соколова С. А. С 594 Экологическая химия: Учебное пособие. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2008. Учебное пособие соответствует программе курса "Экологическая химия" для студентов специальностей: 110401-"Зоотехния", 080401 - "Товароведение и экспертиза товаров".

34. Комитет ветеринарии Новгородской области /Белая книга по соблюдению обязательных требований при содержании свиней // Новгород 2020 г., 66 с.

35. Строгий Б. Н./ Обоснование параметров процесса разделения жидкого свиного навоза на фракции установкой с многократным механическим отжимом осадка// Специальность 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства (по техническим наукам) автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Зерноград 2009.

36. Машиностроительный завод "ПОТОК/ Решения по отраслям //Методические рекомендации проектирования по утилизации навозных стоков [Электронный ресурс] <https://mzpotok.ru/normativnye-dokumenty/metodicheskie-rekomendatsii-po-proektirovaniyu-sistem-udaleniya-i-pererabotki-navoznykh-stokov-na-sv/>

37. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Интенсивное разведение свиней» Москва Бюро НДТ 2017г. с. 298.

38. Современное оборудование для утилизации навозных стоков на животноводческих фермах и комплексах: лабораторный практикум Д.Ф. Кольга и др.- Минск БГАТУ, 2011-60с.

39. Лопата, Ф. Ф. Ветеринарно-санитарная оценка органических отходов животноводства / Ф. Ф. Лопата // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 2(44). – С. 72-75. – EDN IJERAB.

40. Нормы технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета// Дата введения 1999-10-01 Разработаны Научно-проектным Центром "Гипронисельхоз" (Минсельхоза России), Гипрониптицепром, ВНИИМЖ, ВИЭСХ, ВИУА, ВНИПТИОУ, ВНИИВСГЭ, ВИГИС, СНИИСГ, ВИМ, ГУП НИИСИЗ "Прогресс".

41. Сафиуллин Р.Т., Новикова П.В. Санитарно-паразитологическая и экономическая оценка методов обеззараживания стоков и навоза на свинокомплексах // Российский паразитологический журнал, 2016. № 37. С. 385-402.

42. Рассолов С.Н., Багно О.А., Беспоместных К.В. Биологический способ утилизации свиного навоза // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2015. № 11. С. 220-223.
43. Тремасов М.Я., Иванов А.А. Новые технологии в утилизации органических отходов и реабилитации почвы // Ветеринарный врач, 2008. № 1. С. 2-4.
44. Якунчев М.А., Кадималиев Д.А. Биотехнология: утилизация навоза без проблем // Животноводство России, 2014. № 1. С. 22.
45. Нормов Д.А. Реализация математической модели электроозонной очистки навоза / Д.А. Нормов, В.А. Драгин, А.А. Азарян, Р.Б. Гольдман, Н.Ф. Григорьев / Сельский механизатор. М.: ООО «Нива», 2019 – №3. С. 34-35.
46. ЮВЛ / Ультрафиолетовые лампы для животноводства// [Электронный ресурс] <https://uvl.ru/obezzarazhivanie-vody-v-prudah-2/>
47. Технические средства для экологически безопасной утилизации животноводческих стоков / О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, Н. Н. Пуляев, С. И. Харитонов // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей, Москва, 17–18 января 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 80-87. – EDN LJCPWQ.
48. Водная техника / Электрохимическая очистка сточных вод// полезные статьи [Электронный ресурс] <https://wt-filter.ru/blog/elektrokhim-ochistka-stochnykh-vod/>
49. Агробаза / Техника для внесения удобрений // Машины для внесения жидких удобрений [Электронный ресурс] https://www.agrobase.ru/catalog/category/machinerycategory_633063805029687500?ysclid=mbdbji9feu727654206,
50. Союз Белагро // Внесение удобрений / Внесение органических удобрений/ Разбрызгиватели жидких удобрений [Электронный ресурс] <https://souzbelagro.ru/razbrasyvateli-zhidkih-udobrenij-fimaks-10-000>

51. Самсонова, Н.Е. Ресурсосберегающее использование удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии: учебное пособие / Н.Е. Самсонова – Смоленск: ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2014. – 56 с.
52. Форум / Сельскохозяйственная техника / Почвенная обработка / Обсуждение конструкции разных орудий... стр.123/ [Электронный ресурс] <https://fermer.ru/forum/9946pochvoobrabotka-337636?page=122>
53. Сибкрасполимер / Каталог. Шланговые рукава / [Электронный ресурс]: https://zolotosnab.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=415&Itemid=168,
54. Методика обеспечения экологически безопасной утилизации животноводческих стоков на сельскохозяйственных полях орошения / О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, Н. Н. Пуляев [и др.]. – Москва : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – 164 с. – ISBN 978-5-00227-323-2..
55. Агрокомплект/ Каталог ассортимента от компании Агрокомплект в Санкт-Петербурге/ Сельскохозяйственная техника/ Глуборыхлитель многофункциональный CZ [Электронный ресурс] https://www.agrokmppspb.ru/goods/84625347-glubokorykhritel_mnogofunktsionalny_gz
56. Технологии внесения навоза /Схема шлангового внесения жидких стоков [Электронный ресурс] <https://gogov.ru/articles/inflation-rf>
57. Прохорова А.М. Большая Советская Энциклопедия / А.М. Прохорова. - М.:].
58. Горохов А.А. Общая химия: Курс лекций / А.А. Горохов. - 2-е изд. перераб. И доп. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. - 113 с.]:
59. Проектирование технологического процесса переработки отходов с разработкой устройства для формования / Е. В. Пухов, И. В. Титова, В. К. Астанин, В. Л. Сидоренков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2020. – № 12. – С. 11-13.
60. Применение электроосажденного Fe-Ni-P покрытия для восстановления деталей сельскохозяйственных машин / В. К. Астанин, Е. В.

Пухов, Ю. А. Стекольников, В. В. Емцев // Труды ГОСНИТИ. – 2018. – Т. 132. – С. 196-200. – EDN YNKKIX.

61. Сахар в норме /Электролиз солей аммония/ [Электронный ресурс] <https://sol.mygadanie.ru/elektroliz-soley-ammoniya-reaktsiya>].

62. Open Access Article This Open Access Article is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 3.0 Unported Licence. DOI: 10.1039/C9RA07525A (Paper) RSC Adv., 2019, 9, 38345-38354. Performance of graphite felt as a cathode... \https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/ra/c9ra07525a

63. Neftegaz.Ru / Техническая библиотека //технологии <https://neftegaz.ru/tech-library/tekhnologii/141905-elektroliz/> [Электронный ресурс]

64. Гранит / Камни и металлы // Химия // Процессы протекающие на катоде водных растворах [Электронный ресурс] <https://granit.dartaygi.ru/himiya/kakiye-protsessy-protekayut-na-grafitovom-anode-pri-elektrolize-vodnykh-rastvorov>

65. Ганчар В.И., Згардан И.М., Дикусар А.И. Анодное растворение железа в процессе электролитного нагрева. // Электронная обработка материалов. № 4. 1994. С. 56–61.

66. Belkin P.N., Ganchar V.I., Davidov A.D., Dikusar A.I., Pasinkovskii E.A. Anodic Heating in Aqueous Solutions of Electrolytes and its Use for Treating Metal Surfaces // Surface Engineering and Appl. Electrochem.1997. № 2. 1–15.

67. Белихов А.Б., Михайленко М.А. Исследование старения растворов электролита для анодного нагрева // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А.Некрасова. 2004. № 2.С. 16–19.

68. Белкин П.Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов. М.: Мир, 2005.

69. Дьяков И. Г., Шадрин С.Ю., Белкин П.Н. Особенности анодного нагрева при свободном движении электролита // Электронная обработка материалов. 2004. № 4. С. 9–14.

70. Васильев В.П. Аналитическая химия. В 2 кн. Кн.1. Титриметрические и гравиметрические методы анализа. М.: Дрофа, 2002.
71. Глазков, С. В. Очистка природных вод с помощью электрохимически генерированных гидроксидов железа и алюминия / С. В. Глазков, Г. Н. Лукашева // Сервис в России и за рубежом. – 2011. – № 1(20). – С. 43-49.
72. Лукашева Г.Н., Буткевич Д.М. Анализ результатов сравнительных испытаний коагулянтов при очистке природных вод // Технологии нефти и газа. 2008. № 4(57). С. 16–20.
73. Лысенко, А. П. Сырьё для лейкосапфиров [Текст] / А. П. Лысенко, Ю. Г. Серёдкин, Г. С. Зенькович // Металлургия цветных металлов. Проблемы и перспективы : сб. тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / Моск. ин-т стали и сплавов. – М., 2009. – С. 320–321.
74. Лысенко, А. П. Электролитический способ получения Al_2O_3 чистотой 99,99–99,999 % [Текст] / А. П. Лысенко, Ю. Г. Серёдкин, Г. С. Зенькович // Металлургия цветных металлов. Проблемы и перспективы : сб. тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / Моск. ин-т стали и сплавов. – М., 2009. – С. 322–323.
75. Лысенко, А. П. Механизм электролитического получения оксида алюминия, пригодного для производства монокристаллов корунда [Текст] / А. П. Лысенко, Ю. Г. Серёдкин // Технология металлов. – 2009. – № 12. – С. 7–11.
76. Яковлев С.В., Красноборода И.Г., Рогов В. М. Технологии электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, 1987. 312 с.
77. Двоскин Г.А. О влиянии постоянного электрического тока на процесс электрохимической коагуляции // Научные труды Ленинградского горного института. 1975. Вып. 7. С. 85—87.
78. Distribution of Chromium Contamination and microbial activity in soil aggregates / T.K. Tokunaga, J. Wan, T.C. Hazen [et al.] // J. Environ. Qual. – 2003. – Vol. 32. – P. 541–549.

79. Kok-Hui Goha. Application of layered double hydroxides for removal of oxyanions: A review / Kok-Hui Goha, Teik-Thye Lima, Zhili Dong // *Water research*. – 2008. – W 42. – G. 1343–1368.
80. Evans D.G., Duan X. Preparation of layered double hydroxides and their applications as additives in polymers, as precursors to magnetic materials and in biology and medicine // *Chem. Commun.* – 2006. – W 5. – G. 485–496.
81. Иванищев В.В. Новые аспекты в изучении адаптации растений к воздействию металлов // *Тульский экол. бюллетень*. Тула: Гриф и К, 2007. С. 274-277.
82. Rout G., Sahoo S. Role of iron in plant growth and metabolism // *Reviews in Agricultural Science*. 2015. V. 3. P. 1-24. doi: 10.7831/ras.3.1. Князев Д. А., С. Н. Смарыгин. Неорганическая химия. М.: Юрайт, 2012.
83. Rice plants take up iron as an Fe³⁺- phytosiderophore and as Fe / Ishimaru Y., Suzuki M., Tsukamoto T. et al. // *Plant J*. 2006. V. 45. P. 335-346.
84. Hemalatha K., Venkatesan S. Impact of iron toxicity on certain enzymes and biochemical parameters of tea // *Asian J. Biochem*. 2011. V. 6. P. 384-394.
85. Albano J.P., Miller W.B. Marigold cultivars vary in susceptibility to iron // *J. Am. Soc. Hort. Sci*. 1993. V. 118. P. 534-543.
86. Low pH causes iron and manganese toxicity / Biernbaum J.A., Carlson W.H., Shoemaker C.A. [et al.] // *Greenhouse Grower*. 1988. V. 6. P. 92-93.
87. Bienfait H.F., Van Der M. Phytoferritin and its role in iron metabolism / In: *Metals and Micronutrients: Uptake and Utilization by plants* (Robb D.A., Pierpoint W.S., eds.). New York: Academic Press. 1983. P. 111-123.
88. Identification of novel cis-acting elements, IDE1 and IDE2, of the barley IDS2 gene promoter conferring iron deficiency-inducible, root-specific expression in heterogeneous tobacco plants / T. Kobayashi, Y. Nakayama, R.N. Itai [et al.] // *Plant J*. 2003. V. 36. P. 780-793.
89. Lindsay W.L., Schwab A.P. The chemistry of iron in soils and its availability to plants // *J. Plant Nutr*. 1982. V. 7. P. 821-840.

90. Chen Y., Barak P. Iron nutrition of plants in calcareous soils // Adv. Agron. 1982. V. 35. P. 217-240.
91. Выбор условий электрохимического синтеза бисульфата / С.П. Апостолов [и др.] / известия вузов. Химия и химическая технология.-1997.- Т.40, вып.1- 113-117.
92. Синтез и Физико-химические свойства соединений внедрения в системе графит- HNO_3 / В. В. Авдеев [и др.] // Неорганические материалы. – 1999.-Т.35, вып.4.- С. 435-439.
93. Сорокина Н. Е. Анодное окисление графита в 10-98%-ных растворах HNO_3 /Н. Е. Сорокина, Н. В. Максимова, В. В. Авдеев // Неорганические материалы. – 2001.-№4. –С 1-7.
94. Яковлев А. В. Терморасширенный графит: синтез, свойства и перспективы применения / А.В. Яковлев, С. Л. Забудько, А.И. Финаенов, Е. В. Яковлев // Журнал прикладная химия. -2006.- Т.79. №11 – С. -66-71.
95. Уббелоде А. Р. Графит и его кристаллическое соединения / А. Р. Уббелоде, Ф. А. Льюис.- М.: Мир,1965.-256 с.- ISBN.
96. Фудзи Р. Интеркалированные соединения графита / Р. Фудзи // Осака коге гидзюцу сикэндзе. – 1978. V. 353,- Р. 1-66.
97. Патент № 2245395 С2 Российская Федерация, МПК C04B 35/52, C25C 3/08, C25C 7/02. графитовый катод для электролиза алюминия : № 2001124341/02 : заявл. 01.02.2000 : опубл. 27.01.2005 / Ж. М. Дрейфюс.
98. Vladimirovich, E. A., Nazirovich, D. O., Alexandrovich, F. D., Sergeevich, G. A., Nikolayevich, P. N., et al. (2025). Experimental Simulation Setup for Reducing the Concentration of Nitrogen Compounds in Livestock Farm Effluents. Ann Civ Eng Manag, 2(1), 01-09.
99. Evgrafov, A. Experimental studies on the effect of electric field on ammonium nitrogen compounds in livestock wastewater / A. Evgrafov, D. Filimonov, N. Perevozchikova // E3S Web of Conferences : XI International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, Termez, Uzbekistan, 31 октября – 02 2024 года. –

Termez, Uzbekistan: EDP Sciences, 2025. – P. 5009. – DOI 10.1051/e3sconf/202561305009. – EDN SIYONQ.

100. Mores R, Treichel H, Zakrzewski CA et al (2016) Remove of phosphorous and turbidity of swine wastewater using electrocoagulation under continuous flow. *Sep Purif Technol* 171:112-117.

101. Результаты экспериментальных исследований влияния электрических полей на содержание аммония в животноводческих стоках / О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, Н. Н. Пуляев, Д. А. Филимонов // *Агроинженерия*. – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 4-9. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-5-4-9. – EDN DVLOZY.

102. Динамическая электролизная установка для снижения токсичности животноводческих стоков / О. Н. Дидманидзе, А.В. Евграфов, А.С. Гузалов, Д.А. Филимонов // *Техника и оборудование для села*. – 2025. – № 6(336). – С. 36-37. – DOI 10.33267/2072-9642-2025-6-2-7. – EDN UKRERY.

103. Wang F, Wei J, Zou X et al (2019) Enhanced electrochemical phosphate recovery from livestock wastewater by adjusting pH with plant ash. *J Environ Manage* 250:109473.

104. Chen R-F, Liu T, Rong H-W et al (2021a) Effect of organic substances on nutrients recovery by struvite electrochemical precipitation from synthetic anaerobically treated swine wastewater. *Membranes* 11:594.

105. Kobya, M., Can, O. T., & Bayramoglu, M. (2003). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of hazardous materials*, 100(1- 3), 163-178.

106. Chen G (2004) Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Sep Purif Technol* 38:11-41.

107. Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59(3), 355-367.

108. Sahu O, Mazumdar B, Chaudhari PK (2014) Treatment of wastewater by electrocoagulation: a review. *Environ Sci Pollut Res* 21:23972413.

109. Ghahremani, H., Bagheri, S., Hassani, S. M., & Khoshchehreh, M. R. (2012). Treatment of dairy industry wastewater using an electrocoagulation process. *Advances in Environmental Biology*, 6(7), 1897-1901.
110. Benaissa, F., Kermet-Said, H., & Moulai-Mostefa, N. (2016). Optimization and kinetic modeling of electrocoagulation treatment of dairy wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 57(13), 5988-5994.
111. Huang, K. L., Wei, K. C., Chen, M. H., & Ma, C. Y. (2018). Removal of organic and ammonium nitrogen pollutants in swine wastewater using electrochemical advanced oxidation. *International Journal of Electrochemical Science*, 13(12), 11418-11431.
112. Jiménez, C., Sáez, C., Martínez, F., Cañizares, P., & Rodrigo, M. A. (2012). Electrochemical dosing of iron and aluminum in continuous processes: a key step to explain electro-coagulation processes. *Separation and purification technology*, 98, 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.07.005>
113. Marriaga-Cabral, N., & Machuca-Martínez, F. (2014). Fundamentals of electrocoagulation. *Evaluation of electrochemical reactors as a new way to environmental protection*, 661, 1-16.
114. Tak, B. Y., Tak, B. S., Kim, Y. J., Park, Y. J., Yoon, Y. H., & Min, G. H. (2015). Optimization of color and COD removal from livestock wastewater by electrocoagulation process: application of Box–Behnken design (BBD). *Journal of industrial and engineering chemistry*, 28, 307-315.
115. Попов, Л. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка в агропромышленном комплексе: Учеб. пособие (лаб. практикум) по дисциплине “Эксплуатация машинно-тракторного парка” для студ. направления 560800 “Агроинженерия” по спец. 311300 “Механизация сельского хозяйства”, 311400 “Электрификация и автоматизация сельского хозяйства” всех форм обучения / Л. А. Попов; Сыктывкарский лесной инт. – Сыктывкар, 2004. – 152 с.
116. Кутьков Г.М. Теория трактора и автомобиля : Учебное пособие.- М. Колос, 1996, 287с.

117. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов Альбом-справочник. М.: Россельхозиздат, 1979. 240с.

118. Анилочев В.Я., Водолажченко В.Т. Конструкция и расчет сельскохозяйственных тракторов. Справочное пособие.- М. Машиностроение,1976. 456 с.

119. Богатырев А.В., Карабельников А.Н., Чумаков В.Л. Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы. Часть1. Двигатели.- М.: МГАУ, 2000.80 с.

120. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001№195-ФЗ (ред. 24.06.2025) (с изм. и доп. в силу с 05.07.2025) КоАП РФ Статья 8.13. Нарушение охраны водных объектов.

121. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001№195-ФЗ (ред. 24.06.2025) (с изм. и доп. в силу с 05.07.2025) КоАП РФ КоАП РФ Статья 8.2.1. Несоблюдение требований в области охраны окружающей среды при обращении с веществами, разрушающими озоновый слой.

122. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001№195-ФЗ (ред. 24.06.2025) (с изм. и доп. в силу с 05.07.2025) КоАП РФ КоАП РФ КоАП РФ Статья 8.2. Несоблюдение требований в области охраны окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления

ПРИЛОЖЕНИЯ

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор

ООО Бежецк-Агро

С.В. Пичугин

2025 г.

Акт испытаний динамической электролизной установки для снижения токсичности животноводческих стоков.

Настоящий акт составлен представителями ООО Бежецк-Агро в лице главного инженера Конева Николая Евгеньевича с одной стороны, и представителями Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» в лице ассистента кафедры тракторы и автомобили Филимонова Дмитрия Александровича с другой стороны.

Настоящий акт подтверждает, что на базе ООО Бежецк-Агро были проведены испытания в период 22-25 мая 2025 года. Для проведения исследований на предприятия была собрана динамическая электролизная установка по снижению токсичности животноводческих стоков. Животноводческие стоки с начальной концентрацией NH_3NH_4 410 мг/литр и рН 5.54 загружался в динамическую электролизную установку и пропускаться через рабочую часть с расходами 0,20 и 0,5 л/сек. После обработки определялись конечная концентрация аммонии и водородный показатель рН. Обработка стоков электрическими полями при его передвижении по рабочей части динамической электролизной установки привело к снижению содержания аммонийного азота и изменению водородного показателя. Наблюдалось следующие снижение концентраций: при расходе 0,20 л/сек составило 58 мг/литр ; 0,50 л/сек – 153 мг/литр. Так же зафиксировано изменение водородного показателя животноводческих стоков, которое зависело от расхода, установленного в установке, значение которого на начало эксперимента составило 5,54 и изменялось следующим образом: при расходе 0,20 л/сек составило 8,8 рН, и 0,50 л/сек – 7 рН.

Главный инженер

Н.Е. Конев

Форма № 94 ИЗ, ПМ, ПО-2016

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993

Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПРИЕМЕ И РЕГИСТРАЦИИ ЗАЯВКИ

14.03.2025	015842	2025106028
<i>Дата поступления</i>	<i>Входящий №</i>	<i>Регистрационный №</i>

ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ ВОЗВРАЩЕНО оригинал документа заявки на выдачу патента (ФИПС) ФИПС	(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № (заполняется Роспатентом)	ВХОДЯЩИЙ № (заполняется Заявителем)
(85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу		
АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ (указывается адрес, фамилия, имя, отчество (при наличии) или полное (сокращенное (при наличии) наименование юридического лица) 127434, г. Москва, улица Тимирязевская, дом 49, РГАУ - МСХА имени К.А.Тимирязева, Управление научной и инновационной деятельности	АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ (заполняется при подаче заявки на выдачу патента на секретное изобретение)	
ТЕЛЕФОН (при наличии): 8 499 976 07 48 доб. 3 ФАКС (при наличии): Адрес электронной почты (при наличии):	КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СВЯЗИ С ЗАЯВИТЕЛЕМ (ПАТЕНТОБЛАДАТЕЛЕМ) (для предоставления претензий, для публикации)	
ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента на изобретение		
(34) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ Устройство для снижения токсичности жидкой фракции животноводческих стоков		
(71) ЗАЯВИТЕЛЬ (указывается фамилия, имя, отчество (при наличии) физического лица или полное наименование юридического лица (согласно учредительным документам), адрес места жительства или адрес в пределах места нахождения, название страны и почтовый индекс) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А.Тимирязева) 127434, г. Москва, улица Тимирязевская, дом 49	ИДЕНТИФИКАТОРЫ ЗАЯВИТЕЛЯ ОГРН 1037739630697 КПП (при наличии) 771301001/ ИНН (при наличии) 7713080682 СНИЛС (при наличии): ДОКУМЕНТ, удостоверяющий личность (вид, серия и номер) КОД СТРАНЫ (если он установлен) RU	
[X] Изобретение создано за счет средств федерального бюджета Заявитель является: ☐ государственным заказчиком ☐ муниципальным заказчиком работ (укажите полное наименование работ) ☒ исполнителем по: ☐ государственному контракту ☐ муниципальному контракту ☐ соглашению о предоставлении субсидии ☒ гранту ☐ государственному заданию ☐ муниципальному заданию Заказчик работ РИФ (укажите полное наименование)		

Общее количество документов в листах	17	Лицо, зарегистрировавшее документы
Из них: - количество листов комплекта изображений изделия (для промышленного образца)	0	Совцо Ю.Д.
Количество платежных документов	1	
Сведения о состоянии делопроизводства по заявкам размещаются в Открытых реестрах на сайте ФИПС по адресу: www.fips.ru/registers-web		