

The background of the cover is a high-speed photograph of water splashing, creating a dynamic, blue-toned scene with numerous bubbles and droplets. The water appears to be moving from the top and bottom edges towards the center, framing the text.

А.Раджабов, М.Ибрагимов, А.С.Бердышев

**Обеззараживание и доочистка сточных вод
животноводческих комплексов и ферм
электроозонированием**

Монография

Тошкент – 2019

Монография рассмотрена и допущена к публикации на заседании научного совета Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства протокол № 5 от 26 декабря 2019г.

УДК 621.311:631.862

А.Раджабов, М.Ибрагимов, А.С.Бердышев

Обеззараживание и доочистка сточных вод животноводческих комплексов и ферм электроозонированием.

В монографии рассмотрены способы доочистки и обеззараживания стоков животноводческих комплексов и ферм. Для решения данной проблемы предлагается использовать электроозонирование. Рассмотрены технологические основы процесса озонирования жидкого свиного навоза. Исследованы энергетические характеристики электрических генераторов озона и предложены способы его улучшения. Рассмотрена совместная обработка жидкой фракции электрическим полем и озоном. Исследована двухступенчатая обработка озоном жидкого навоза. Монография может представлять интерес для научных работников и докторантов занимающимися вопросами экологии. Также может быть использована при разработке проектов различных очистных сооружений, а также в учебном процессе при обучении магистрантов.

Рецензенты: д.т.н., Тоиров О.З.,
к.т.н., Рахматов А

Оглавление

	ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава I.	Способы очистки и обеззараживания стоков животноводческих комплексов и ферм.....	6
1.1.	Технологические схемы переработки навоза животноводческих комплексов и ферм.....	6
1.2.	Биологические, химические и физические способы доочистки и обеззараживания.....	13
1.3.	Электротехнологические методы в очистке и обеззараживании животноводческих стоков.....	20
1.4.	Обоснование возможности применения озонирования и задачи исследования.....	22
Глава II.	Технологические основы процесса озонирования жидкого навоза.....	24
2.1.	Предварительные замечания.....	24
2.2.	Характеристика сточной массы.....	25
2.3.	Способы получения озона. лабораторная озонаторная установка.....	27
2.4.	Выбор критерия качества обработки озонированием животноводческих стоков.....	35
2.5.	Исследование процесса озонирования жидкой фракции навоза.....	41
Глава III.	Исследование энергетических характеристик электрического генератора озона.....	51
3.1.	Задача исследования энергетических характеристик озонаторов.....	51
3.2.	Барьерный разряд и его основные характеристики.....	51
3.3.	Исследование совместной работы генератора озона с источником питания.....	60
3.4.	Улучшение энергетических характеристик электрических генераторов озона.....	66
Глава IV	Повышение эффективности процесса озонирования жидкого навоза.....	74
4.1.	Предварительные замечания.....	74
4.2.	Совместная обработка жидкой фракции электрическим полем и озоном.....	75
4.3.	Исследование двухступенчатой обработки озоном жидкого навоза.....	85
	ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.....	92
	ЛИТЕРАТУРА.....	94

Введение

В Указе Президента ПФ-4947 от 7 февраля 2017г. «Стратегия действий по 5 приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан» в разделе 3.3. Модернизация и ускоренное развитие сельского хозяйства отмечается: «Углубить системные изменения и поэтапное развитие сельского хозяйства, укрепить производственную безопасность и расширить производство сельскохозяйственной продукции. [1]

В последние годы в Узбекистане уделяется большое внимание интенсивному развитию животноводства и птицеводства. В своём выступлении 16 октября 2019 г на совещании руководящих работников сельского хозяйства Президент Ш.М. Мирзиёев отметил, что к 2021 году планируется построить 270 животноводческих комплексов и 260 молочных предприятий. Создание крупных животноводческих комплексов на промышленной основе выдвигает новые задачи в области водоснабжения механизации, электрификации и автоматизации технологических процессов. Применение гидравлического смыва навоза облегчает процесс уборки, повышает производительность труда и улучшает санитарно-гигиенические условия в коровнике.

Для утилизации жидкого навоза при животноводческих комплексах строят очистные сооружения. Однако, даже применение двухступенчатой биологической очистки не даёт удовлетворительных результатов, особенно в период эпидемиологической болезни животных. Применение электроозонирования, на последней стадии обработки сточных вод, позволяет обеззаразить и доочистить эти стоки до уровня соответствующего санитарно-бактериологическим нормам.

Создание крупных животноводческих комплексов на промышленной основе выдвигает новые задачи в области водоснабжения, создания микроклимата, кормления и уборки навоза. Наиболее совершенными способами уборки навоза в промышленном свиноводстве являются гидросмыв или гидросплав. Применение гидравлического способа облегчает

процесс уборки навоза, повышает производительность труда, снижает количество обслуживающего персонала и позволяет содержать свинарник в хороших санитарно-гигиенических условиях. Однако при этом убираемый навоз сильно разжижается, резко увеличивается его объем, который достигает для крупных комплексов до 3-4 тыс. м³ в сутки с влажностью 90-95%

Этот навоз представляет собой, с одной стороны, ценное органическое удобрение, содержащее азот, фосфор, кальций и калий, и с другой стороны, огромную массу органических и бактериальных загрязнений, которые могут заразить животноводческие помещения, близлежащие поля, источники водоснабжения, а через них людей и животных. Кроме того, наличие острого специфического запаха приводит к загрязнению окружающего воздушного бассейна.

Для очистки и рациональной утилизации свиноводческих стоков, при комплексах строят очистные сооружения, которые включают в себя этапы разделения фракции, отстаивания и биологической очистки. Однако даже применение двухступенчатой биологической очистки не дает удовлетворительных результатов по химическим и бактериологическим показателям качества очистки. Возникает необходимость дополнительного обеззараживания и доочистки. В настоящее время для этой цели широко используются различные методы (хлорирование, использование земледельческих полей орошения и т.д.). Однако каждому из этих способов присущи определенные недостатки.

При сбросе на поля стоков обработанных методом хлорирования, остаточный хлор оказывает отрицательное действие на рост растений. Использование земледельческих полей орошения требует значительных земельных территорий и не даёт достаточного эффекта обеззараживания.

Учитывая это, возникает необходимость совершенствования технологии и технических средств, позволяющих решать комплексную задачу доочистки и обеззараживания животноводческих стоков. Решению поставленной задачи посвящается настоящая работа.

ГЛАВА I. СПОСОБЫ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ФЕРМ

I.I. Технологические схемы переработки навоза ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ комплексов и ферм.

При применении гидросмыва, получившего к настоящему времени, широкое распространение на свиноводческих комплексах и фермах, для удаления навоза, в зависимости от способа содержания животных, ухода за ними, ритмичности работы систем водоснабжения и навозо-удаления количество сточных вод может меняться превышать нормативные в несколько раз.

В таблице I дается примерный объем стоков в зависимости от поголовья и способа уборки навоза на промышленных комплексах [2].

Таблица 1

Количество животных на комплексе. Тыс.голов	Выход экскрементов тыс.м ³ /год	Выход стоков с комплекса тыс.м ³ /год	
		При самосплаве	При гидросмыве
12	36,0	52,4	101,0
24	70,5	96,8	195,5
54	114,0	181,0	332,5
108	239,0	321,0	940,0

Из этой таблицы видно, что годовой объем стоков на крупных комплексах достигает 10^6 м³. Эти стоки богаты различными питательными для растений элементами, состав которых в зависимости от вида кормов приведен в таблице 2 [3].

Таблица 2

Вид кормов	Состав экскрементов %				
	Вода	Органическое вещество	Общий азот	Фосфор	Калий
Корма заводского приготовления	88,0	9,2	0,72	0,47	0,21
Корма, приготовленные в хозяйстве	90,7	7,5	0,50	0,21	0,59

Из приведенных в таблице 2 данных следует, что жидкий животный навоз можно использовать для повышения плодородия почвы. Однако, практическое применение его ограничивается из-за высокой органической и бактериальной загрязненности. В 1 литре стоков содержится до 80-150 мг аммиака, до 1000 мг хлоридов, а общее количество микробов достигает нескольких сотен миллионов в 1 мл при коли-тит-ре порядка 0,000001 [5]. Эти стоки изобилуют патогенными микроорганизмами и яйцами гельминтов. Причем, сроки выживаемости этих микроорганизмов в жидком навозе увеличиваются почти в 3 раза по сравнению с временем их существования в твердой массе [10]. Для рациональной утилизации жидкого свиного навоза в сельско-хозяйственном производстве необходимо очистить и обеззаразить его до санитарно-эпидемиологических норм, предусмотренных соответствующими правилами.

Существуют различные технологические схемы по переработке, очистке и обеззараживанию навозных стоков. Во всех этих схемах можно выделить 3 общих этапа: 1 – разделение стоков на фракции; 2 – удаление твердой фракции и биологическая обработка жидкой фракции; 3 – обеззараживание жидкой фракции. Каждый из этих этапов может выполняться различными способами, о чем наглядно свидетельствует схема 1 (рис.1).

Необходимость разделения всего жидкого навоза на фракции объясняется тем, что отдельные фракции легче обеззаразить и транспортировать. Основная часть питательных элементов остается в твердой фракции, которая имеет меньший объем по сравнению с неразделенным жидким навозом.

После разделения твердая фракция поступает в бурты для длительного хранения (1-2 месяца). При длительном хранении твердой фракции происходят биологические процессы внутреннего самовозгорания до температуры 60-70°, что способствует ее обеззараживанию [4].



Рис.1 Схема переработки, очистки, обеззараживания и использования **ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ** стоков.

Жидкая фракция после разделения во всех технологических схемах обязательно выдерживается в отстойниках в течение нескольких часов. Полученный осадок направляет в места использования твердой фракции, а жидкая фракция поступает на двухступенчатую биологическую обработку. В процессе биологической очистки за счет активного ила происходит разрушение органических веществ и их минерализация. На входе и выходе из каждой ступени биологической очистки обычно осуществляется отстой обрабатываемой жидкости. Но даже применение 2-х ступенчатой биологической очистки дает лишь достаточно удовлетворительные результаты по химическим и неудовлетворительные по санитарно-бактериологическим показателям качества обработки. Возникает необходимость доочистки и обеззараживания. В настоящее время наиболее широко используется множество методов обеззараживания: хлором, огневые,

паровые и длительной выдержкой. После обеззараживания жидкой фракции производится ее спуск в водоемы, на поля сельскохозяйственного орошения или подача на рециркуляцию. В зависимости от количества стоков, климатических и территориальных условий (наличие полей орошения) существующие очистные сооружения отличаются друг от друга, но сохраняют при этом 3 общих этапа очистки.

Рассмотрим несколько типовых систем очистки, существующих на свиноводческих комплексах.

На свиноводческих комплексах на 108 тыс. голов откорма в год в совхозах «Илиногорск» Горьковского области и «Кузнецовский» Московский области функционируют очистные сооружения с полной системой очистки. На рис.2 показана технологическая схема очистки стоков свинокомплексов.

Суточная подача навозных стоков с одного комплекса в систему очистных сооружений составляет 2300-2500 м³ с влажностью 92,-98,5%. Из животноводческих помещений стоки поступают через приемный резервуар 1 на виброфильтры 2, где происходит разделение на фракции. После разделения жидкая фракция поступает в первичный отстойник 3, а твердая фракция подается в бункер-дозатор, где под собственным весом обезвоживается до влажности 78-80%. После чего ее вывозят на поля. Из первичного отстойника 3 жидкая фракция поступает в аэротенки 4 с механической аэрацией и далее на вторичные отстойники 5. Осадок из первичного или вторичного отстойников полагается на иловые площадки 6, а часть ила возвращается в аэротенк 4, для поддержания необходимого количества активного ила. Ил представляет собой концентрацию определенных бактерий, которые разрушают органические вещества в стоках и минерализуют их. После первой ступени биологической очистки жидкая фракция поступает на 2-ую ступень, которая включает в себя первичный 8 и вторичные 10 отстойники, а также аэротенки с пневматической аэрацией. Пройдя 2-х ступенчатую биологическую очистку, жидкая фракция поступает

в узел хлорирования, где хлорируется общей дозой свыше 1,5 мг/л. Хлорированная жидкость собирается в резервуаре чистой воды 17, откуда сбрасывается в водоемы. Однако даже после 2-й ступени биологической очистки качество стоков не соответствует нормативам на сброс [12,13,14]. Так, фактическое содержание взвешанных веществ составляет 120-340 мг/л; предусматривалось 30 мг/л; БПК₅ 50-100 мг/л; по проекту 15-20 мг/л; общее микробное число достигает 1 млн/мл; коли-титр повышается до 10⁻² [6].

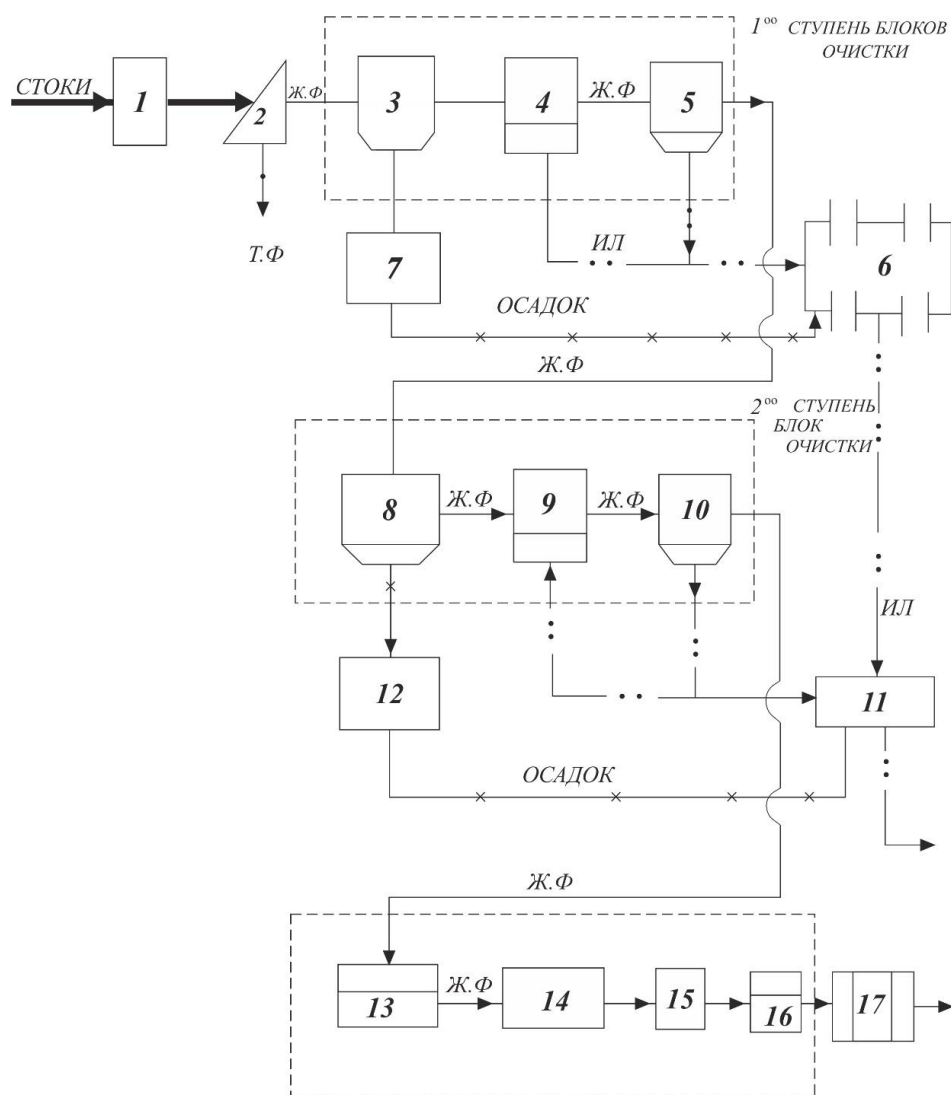


Рис. 2 Технологическая схема очистки на Ильиногорском свинокомплексе

1 - приемный резервуар; 2 - выброфилтры; 3,8 - первичные отстойники; 4,9 - аэротенки; 5,10 - вторичные отстойники; 6 - иловые площадки; 7,11,12 -

промежуточные емкости; 13,16 - контактные резервуары; 14 - резервуар технической воды; 15 - песчаные фильтры; 17 - резервуар чистой воды.

Переработка навоза на свинокомплексе «Лузинский» Омской области производится по следующей технологии [8]. Весь жидкой навоз из свинокомплекса подается насосной станцией на первичные отстойники 1, где после определенного отстоя жидкость с верхних слоев подается в аэротенки 3, а оставшийся навоз поступает на центрифугу 2. После разделения твердая фракция вывозится на хранение и укладывается в бурты, а жидкая - направляется в аэротенки. Из аэротенков она поступает во вторичные отстойники 4, а затем - в промежуточный резервуар 5. Из промежуточного резервуара жидкая фракция поступает на пастеризацию, выполняемую в два этапа;

1. Первоначальный нагрев до 60°C за счет тепла выпускаемого потоком пастеризованных стоков и вторичный нагрев в пароводяном теплообменнике до температуры 80°C .
2. Охлаждение нагретых стоков до 25°C .

Пастеризованная жидкость накапливается в специальных сборниках, откуда подается па гидросмыв или в аварийную емкость.

Годовой выход экспериментов с комплекса составляет 222 тыс. тонн, при этом объем стоков достигает 1140 тыс. тонн в год [9].

Во ВНИИМХ предложена следующая технологическая схема по обработке, обеззараживанию и утилизации жидкого навоза для свиноводческих комплексов на 24 тыс. голов откорма в год [3]. Весь смытый жидкий навоз ($365\text{ м}^3/\text{сутки}$) поступает на центрифугу, которая разделяет его на твердую и жидкую фракции. Твердая фракция (28 м^3) отстаивается в течение 12 часов в отстойнике и одновременно подвергается химической коагуляции, Отстой ($84\text{ м}^3/\text{сутки}$) используется как органическое удобрение, а осветленная жидкость $/253\text{ м}^3/\text{сутки}$ / идет на дальнейшую обработку, из которой $65\text{ м}^3/\text{сутки}$ поступает для выращивания биомассы хлореллы, которая является ценной стимулирующей кормовой добавкой к пище животных. Оставшаяся

часть жидкости /188 м³/сутки / подается на биофильтры для биологической очистки от органических загрязнителей.

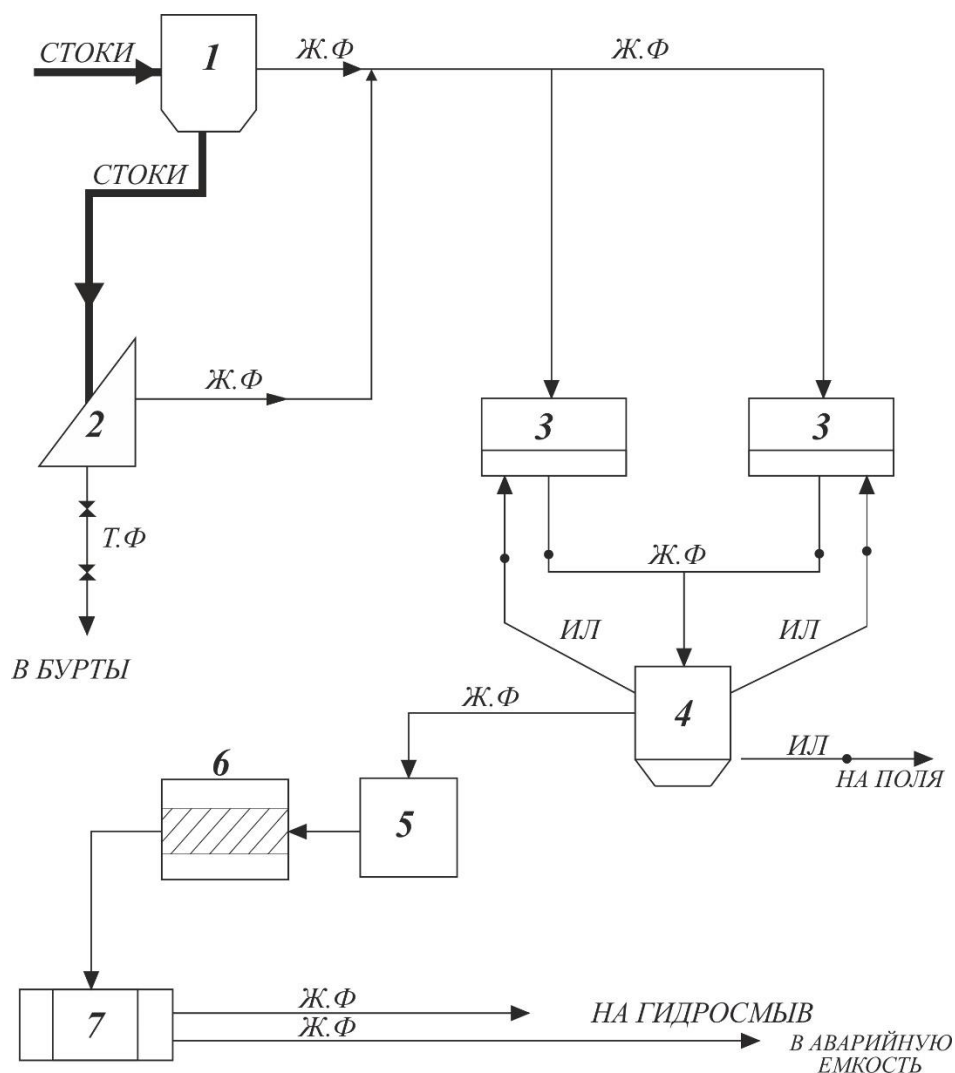


Рис.3 Схема очистки жидкого свиного навоза на Лузинском свинокомплексе

1-первичный отстойник; 2-центрифуга; 3-аэротенки; 4-вторичный отстойник; 5-промежуточная емкость; 6-пастеризаторы; 7-сборник жидкой фракции.

После биофильтра часть жидкости (100 м³/сутки) подается в систему рыбоводческих прудов, где используется в качестве дополнительного корма для рыб. Оставшаяся часть (88 м³/сутки) подается в теплично-парниковые хозяйства что сокращает расход удобрений до 8-10%.

Несмотря на разнообразие существующие технологических линий очистки жидкого навоза, они пока не полностью решают вопросы пе-

реработки, очистки и обеззараживания. Поэтому возникают задачи, связанные с повышением эффективности и экономичности очистки. Наибольший научный и практический интерес представляет совершенствование последнего этапа технологического процесса очистки и обеззараживания. Это связано с тем, что 2-х ступенчатая биологическая очистка дает малоудовлетворительные результаты по очистке и ПОЧТИ неудовлетворительные по обеззараживанию. В настоящее время предложены различные методы для решения этой задачи.

1.2. Биологические, химические и физические способы доочистки и обеззараживания

Существующие способы доочистки и обеззараживания можно объединить в 3 больше группы: биологическая, химическая и физическая (рис.4). Каждая группа включает в себя способы, имеющие общие или близкие механизмы действия па обрабатываемую жидкую массу.



Рис.4.Классификация способов обеззараживания и доочистки

Биологическая группа - общий принцип очистки заключается в действии живых организмов (микроорганизмы, мухи) или растительных организмов (хлорелла, суспедесмум) на органические и бактериологические загрязнители. Органические вещества при биологической очистке разлагаются, а бактерии частично уничтожаются.

Обеззараживание способом метанового сбраживания используется в основном для подстилочного навоза. В специальную камеру, представляющую собой цилиндрический бак объемом 0,25 м³, заливают воду, загружают свежий навоз, тщательно перемешивают содержимое, затем бак закрывают крышкой. Бак находится в открытом резервуаре, заполненном водой, которая нагревается с помощью электродного устройства до температуры термофильного брожения $t=52-55^{\circ}\text{C}$. В этом режиме под действием термофильных микроорганизмов начинается интенсивное разложение органических веществ и одновременное обеззараживание от патогенных микроорганизмов. При этом выделяется газ - метан, который используют в качестве дополнительного топлива. Этот способ отличается большой продолжительностью процесса обеззараживания - 25-40 дней и высоким расходом энергии на подогрев воды [5].

Гомогенизация - это процесс периодического (1 раз в 7-10 дней) перемешивания навоза в специальных емкостях (гомогенизаторах). Перемешивание может осуществляться механическим или гидравлическим способами. При гомогенизации происходит измельчение и частичное растворение органических веществ, что способствует отчуждению болезнетворных бактерий от органики, являющейся защитной средой для них. Соответственно повышается эффективность действия обеззараживающих средств (дезинфектантов). Так, например, применение гомогенизации при ящуре и болезни Ауески позволяет вносить в 10-15 раз меньше дезинфектанта, чем без гомогенизации [6], Недостатками метода является необходимость длительного выдерживания, отсутствие

эффективного обеззараживания потребность в больших дозах дезинфектанта и недостаточная степень очистки.

На полях орошения сточные воды одновременно очищаются, обеззараживаются и используются для полива сельскохозяйственных культур. На фильтрационных полях только очищаются, но не утилизируются. Обычно на поля орошения или фильтрации стоки подают после 2-й ступени биологической очистки, так как они сильно загрязнены органическими и бактериологическими загрязнителями.

На очищаемую навозную жидкость действуют микроорганизмы и простейшие организмы, находящиеся в почве. Кроме того, стоки подвергаются воздействию со стороны своих окисляющих микроорганизмов, воздуха, солнца и растений. Основные биохимические процессы окисляющих происходит в верхнем слое почвы толщиной до 40 м, содержащем огромное количество микроорганизмов.

При почвенно-биологической очистке, несмотря на существенное снижение содержания взвешенных веществ (93,5%), азота аммонийного (95,6%) и хлоридов (72,9%) в стоках остался бактерии кишечной палочки [7]. Необходимо отметить, что систематическое использование полей орошения приводит к их засоренности и снижению эффективности. Кроме того, не все свинокомплексы и фермы могут иметь такие поля.

Способ обеззараживания длительным выдерживанием заключается в том, что навозные стоки подаются в специальные навозохранилища и хранят там 6-7 месяцев (стоки КРС) или 12-14 месяцев (свиные стоки). За этот период патогенные микроорганизмы почти полностью погибают [5].

Недостатками этого способа являются: необходимость строительства огромных навозохранилищ - до 12 тыс.м³, большой срок выдержки, способ применим лишь к небольшим фермам и комплексам. Биологическая очистка (аэробная) может осуществляться в аэротенках или в биофильтрах. Наиболее распространен первый способ очистки, Суть его заключается в том, что определенный объем сточной жидкости подвергается воздействию аэробных

бактерий, имеющих в громадном количестве в активном иле. Одновременно в этот резервуар подается воздух при непрерывном перемешивании активного ила. Все это способствует интенсивному окислению органических загрязнителей в сточной воде. Обработанную жидкость подают в отстойник. Из отстойника часть активного ила возвращается в аэротенки для поддержания постоянства его концентрации а оставшаяся часть транспортируется на поля. Этот способ является обязательным во всех технологических схемах, но не может быть конечным этапом» так как дает слабый эффект обеззараживания.

Недостатками биологической обработки являются больше капитальные затраты на строительстве аэротенков, многоступенчатость процесса, необходимость значительных территорий для сооружения аэротенков, длительность обработки и слабый обеззараживающий эффект.

Способ интенсивного окисления основан на нагреве всего объема жидкого навоза до температуры 50-60° и одновременном, непрерывной вдувании в него воздуха. Время полного обеззараживания достигает 4 суток. Большой объем нагреваемой массы требует значительных энергетических затрат и поэтому этот способ пригоден лишь для небольших ферм.

Метод обеззараживания при помощи мух используется при уборке навоза механическим способом [10]. На влажный навоз мухи откладывают яйца в огромном количестве. С помощью этого метода в течение 6-7 дней из 1 тонны свиного навоза получают в среднем 150-170 кг биомассы предкуколок комнатной мухи для кормовых целей и 400-500 кг биоперегноя для удобрения полей.

Жидкую фракцию после биологической обработки подают в рыбо-водческие пруды. Под действием планктона, хлореллы и других водорослей идет процесс доочистки и обеззараживания жидкого навоза. По мере поступления новых стоков часть обработанной жидкости переливается в другой пруд, где завершается процесс минерализации органических веществ. В последнем пруду разводят рыб и кормом для них являются хлопавшиеся

органические загрязнители жидкой фракции навоза. Способ очищается длительностью процесса и требует наличия больших земельных территорий.

При химической обеззараживании общим является использование химических реагентов.

Наиболее распространенный способ обеззараживания - хлорирование*
Сущность его заключается во введении жидкого или газообразного хлора в обрабатываемую массу с последующей (не менее 30 мин.) выдержкой. Для обеззараживания *жидкой* фракции навоза, прошедшей биологическую обработку, необходима доза активного хлора 10-20 мг/л обрабатываемой жидкости, с временем контакта не менее 2-х часов. Однако, обработка хлором стоков незначительно повышает коли-титр с 10^{-3} до 10^{-2} , а общее микробное число снижается с 2,7 млн/мл до 1,6 млн/мл [6].

При хлорировании стоков и подаче их на сельскохозяйственные поля остаточный хлор оказывает отрицательное действие на рост растений. Кроме того, сооружение азоратенкой, транспортировка и хранение хлора требует значительных средств.

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии провел исследования по возможности применения различных химических реагентов: формальдегида, негашённая известь, тиазона, аммиака и др.. При введении 3,42 г/л формальдегида, обеззараживание жидкого навоза, обсемененного коли-паратифозными бактериями, наступало через 7 дней. Применение 3% параформа с 1% кальцинированной содой способствовало уничтожению болезнетворных бактерий через 24 часа, а использование 6% погашенной извести - через 16 часов.

Формальдегид в качестве дезинфектанта предлагать использовать и в "Ветеринарно-санитарных и гигиенических требованиях к устройствам технологических линий удаления, обработки, обеззараживания и утилизации навоза, получаемого на животноводческих комплексах и ферм" [12]. Реализация этих способов обеззараживании требует относительно высоких расходов реагентов.

Обеззараживание при получении кормовых дрожжей (биохимическое обеззараживание) заключается в том, что жидкой навоз нагревают до температуры 125-130° и поддерживают при этой температуре в течение 2-3 часов в присутствии серной кислоты. Концентрация серной кислоты в навозном стоке составляет 0,7-0,9 % от общего объема обрабатываемой массы [10]. В процессе нагрева сточная масса обеззараживается и гидролизуется, после чего ее подают в отстойник. Отслоенную и осветленную жидкость (сусло) используют для выращивания кордовых дрожжей, а осадок (*шлам*) поступает на удобрение.

Недостатков способа можно считать большой расход энергии и относительно высокую потребность в кислоте.

Общим принципом для физической группы способов обеззараживания является воздействие физических факторов на обрабатываемую массу.

Термический (огневой) способ внутрижидкостного годная разработан и исследован в ВИЭСХ [29]. Суть этого способа заключается во вдувании струи горящего топлива или газа в массу обрабатываемого жидкого навоза.

Установлено, что этот способ обладает высокой ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ по отношению к патогенным микроорганизмам и яйцам гельминтов. Вместе с тем он отличается слабым эффектом очистки. Так, например, снижение ХПК происходит на 13%, а БПК - на 15%. Видимо, имеет смысл применять этот метод отдельно для илового осадка и для жидкой фракции после биологической обработки.

Пароструйный метод основан на 2-х ступенчатом нагреве обрабатываемых стоков. На первой ступени за счет инъекции пара жидкая масса нагревается до температуры 80-90° и на второй ступени - до температуры 130°. Для поддержания устойчивого режима работы установки пароструйного обеззараживания требуется двухступенчатый нагрев, в этом случае, как и при термическом обеззараживании, имеется высокий эффект обеззараживания при слабой очистке.

Недостатками метода являются большие эксплуатационные затраты и слабый эффект очистки.

Проведены исследования по обеззараживанию свиноводческих стоков γ - лучами. Источником излучения служат Co^{60} и Cs^{137} . Доза облучения зависит от степени загрязненности жидкого навоза. При этом достигается полный эффект обеззараживания. Однако, источники γ - излучений дороги, кроме того, их использование сопряжено с опасностью радиоактивного заражения окружающей среды и людей при нарушениях нормального режима работы установок.

В последнее время ведутся разработки по использованию ускоренных электронов для очистки и обеззараживания животноводческих стоков [32]. Этот способ по сравнению с радиационным имеет более низкие капитальные и эксплуатационные затраты. В качестве источников быстрых электронов используют ускорители У-10 и ЭЛТ— 1,5. В результате использования быстрых электронов получено 100% обеззараживание и дегельминтизация. Однако, этот способ имеет недостаток, связанный с малой проникающей способностью электронов в жидкости.

Анализ способов доочистки и обеззараживания показывает, что несмотря на их достоинства, каждый имеет определенные недостатки. Так, например, биологические методы отличаются длительностью срока обработки (аэрация, выдерживание в навозохранилищах, рыбоводческие пруды и др.) или требуют больших земельных территорий (поля орошения). Химическим способам (хлорирование, негашенная известь и др.) свойственно отрицательное действие остаточных реагентов на рост растений при подаче обработанных стоков на сельскохозяйственные поля. Существующим физическим методам обеззараживания присущи относительно высокие эксплуатационные затраты.

Большой интерес в снижении затрат на обработку и повышении их эффективности представляют электротехнологические методы,

отличительной особенностью которых является возможность интенсификации и контроля процесса.

1.3. Электротехнологические методы доочистки и обеззараживания свиноводческой стоков

Общим для этих методов является непосредственное или косвенное воздействие электрической энергии на обрабатываемую массу.

Классификация электротехнологических способов показала на рис. 5.

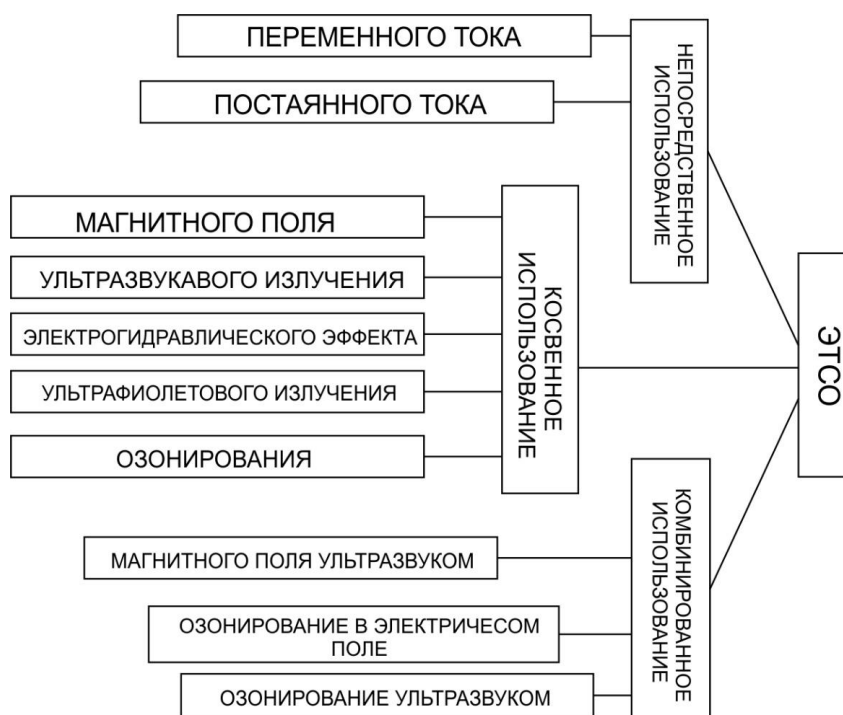


Рис.5. Классификация электротехнологических способов обеззараживание жидкого навоза

Воздействие переменного тока на жидкий навоз к настоящему времени полностью не изучено. Попытки использования переменного тока промышленной частоты для обработки жидкого навоза не дали положительного результата очистки [34]. Возможность использования переменного тока для обеззараживания жидкого навоза отмечается также в [5].

В НИИТИМЭСХ Северо-Запада были проведены исследования по очистке жидкой фракции свиного навоза с помощью постоянного тока (электрокоагуляция). Под действием постоянного электрического поля и в результате взаимодействия ионов материалов электродов со взвешенными веществами начинается бурный процесс осаждения частиц и осветления жидкости. Одновременно идет процесс поднятия частиц пузырьками выделяющегося из раствора газа (электрофлотация). В результате обработки ХПК снижается на 5%, а прозрачность достигает 17,5 см [18].

Представляет интерес применение способа электрофлотации для целей доочистки стоков мясокомбинатов. Установлена целесообразность использования электрофлотация или ускорителя процесса отстоя жидкой фракции свиного навоза [7].

Обработка постоянным электрическим током применяется также для одновременного решения задач разделения жидкого навоза на фракции и обеззараживания. Однако, несмотря на достаточную эффективность, способ отличается высокой энергоемкостью ($82-85 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$) и длительностью процесса (около 14 суток).

Исследования по применению электрогидравлического эффекта проводились в ВИЭСХ. Установлено, что *при* обработке личинки гельминтов гибнут, а у яиц никакого изменения структуры или других нарушений не происходит. По бактериологическому воздействию данные не приводятся. К недостаткам обработки с использованием электрогидравлического эффекта можно отнести малый срок службы электродов, низкую производительность и большой расход электроэнергии.

Применение магнитного поля интенсифицирует процесс коагуляции органических загрязнителей, в сточных водах.

Наибольшим бактериальным эффектом обладают ультрафиолетовые излучения - лучи с длиной волны от 200 до 295 нм [43]. Величина бактерицидной дозы зависит от исходного состояния обрабатываемой жидкости, ее органической и бактериологической загрязненности. Ультра-

фиолетовым излучением жидкость необходимо обрабатывать в тонком слое, что значительно снижает производительность установки.

Для достижения эффекта обеззараживания и экономичности необходимо, чтобы исходная жидкость имела коли-индекс не выше 2000. а у жидкой фракции навоза даже после биологической обработки коли-индекс в десятки раз выше, чем рекомендуемая начальная концентрация.

Ультразвук оказывает определенное угнетающее действие на вегетативные клетки микробов, но применение его для обеззараживания ограничивается крайне малыми зонами воздействия. Кроме того, ультразвук неодинаково воздействует на различные микробы и применение его может быть эффективными лишь при невысокой их концентрации [45]. О возможности использования ультразвука совместно с магнитным полем говорится в. По мнению авторов "при совместном действии ультразвука с магнитным полем на молекулярные ассоциации жидкости, возникнут электрические разрывающие силы меняющие структуру растворов, что приведет к образованию осадка".

1.4. Обоснование возможности применения озонирования и задачи исследования.

Из обзора и анализа существующих методов обеззараживания следует, что большинству их присуще односторонность воздействия, т.е. достигая эффекта обеззараживания они не решают задачи доочистки и дезодорации. Применение озонирования позволяет осуществить комплексное решение этих задач [9].

Положительными свойствами способа озонирования являются:

- А. высокий эффект окисления различных загрязнителей;
- Б. при озонировании в жидкость не вносится ничего постороннего;
- В. избыток озона превращается в кислород и улучшат свойства обрабатываемой жидкости;
- Г. при озонировании уничтожаются все неприятные запахи и осветляется жидкость;

Д. озон по сравнению с хлором обладает большим обеззараживающим действием против возбудителей вирусных заболеваний и споровых форм;

Е. исходным сырьем служит атмосферный воздух.

Учитывая это, представляет интерес исследование возможности применения озона для обработки животноводческих стоков.

Озон, преимущественно получают с помощью электрических генераторов, в основе работы которых *лежат* явления электрического разряда в газах. Поэтому на энергетические показатели процесса озонирования и, следовательно, на его экономическую целесообразность оказывают существенное влияние показатели работы электрического генератора озона. К настоящему времени широко исследованы задачи повышения производительности озонаторов с использованием высоких частот, улучшением степени осушки подаваемого воздуха, а также изменением напряжения и расхода воздуха [13].

Вместе с этим, недостаточно изучены вопросы повышения производительности генераторов озона совершенствованием структуры разряда. Кроме того, применительно к обработке жидкого навоза остаются нерешенными вопросы повышения эффективности озонирования и рационального использования озона.

Целью настоящей работы является улучшение качества доочистки и обеззараживания жидкого свиного навоза. Для достижения поставленной цели решаются задачи:

- Изучение санитарно-гигиенических свойств жидкой фракции свиного навоза и обоснование применения озонирования для ее доочистки и обеззараживания.

- Исследования энергетических характеристик электрического генератора озона и процесса озонирования.

- Исследования и разработка способов повышения эффективности процесса озонирования.

Глава II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ ЖИДКОЙ ФРАКЦИИ СВИНОГО НАВОЗА

2.1. Предварительные замечания

Для успешного выполнения доочистки и обеззараживания жидкой фракции свиного навоза озонированием необходимо предварительно изучить его характеристики, установить эффективность озонирования и выявить место озонирования в технологической линии очистки. Исходное состояние стоков и качество обработки обычно оценивается комплексом показателей. Это химические (ХПКЛ, БПК и др.) и бактериологические (коли-титр, общее количество микробов). Необходимо выявить наиболее существенные показатели, характеризующие жидкую фракцию свиного навоза, и применить их для оценки степени доочистки и обеззараживания при обработке озонированием.

Озонирование стоков производится с помощью установки, основными элементами которой являются: блок подготовки воздуха, электрический генератор озона и камера смешения озона с жидкой фракцией навоза. Одним из основных элементов установки является электрический генератор озона. Он состоит из трубчатых металлических электродов, которые заземляются и служат электродами низкого напряжения. Внутри металлических трубок при определенном зазоре коаксиально устанавливаются стеклянные цилиндрические трубки. Диэлектрические трубки покрываются изнутри металлизированным распылом и представляют собой электроды высокого напряжения. В воздушной промежутке между электродами возникает тихий /барьерный/ разряд и образуется озон. Представляет интерес определение энергетических характеристик генератора озона (вольт-амперная характеристика, зависимость выхода озона от подводимого напряжения и расхода воздуха и т.д.).

Зная критерии оценки качества обработки и характеристики генератора озона, необходимо выявить эффективность озонирования и наиболее

целесообразное место озонирования в технологической лишь очистки. Учитывая, что на процесс озонирования ВЛИЯЕТ исходное состояние стоков и параметры технологического режима, требуется установить степень их влияния на качество доочистки и обеззараживания жидкого навоза.

2.2. Характеристика сточной массы

Жидкий свиной навоз представляет собой массу, имеющую определенное содержание жидкой и твердой фракции которая загрязнена различными патогенными микроорганизмами.

Одним из основных физических показателей свиных стоков является влажность, которую можно определить по следующей формуле:

$$V_n = \frac{V_z + 100Z}{1+Z} \quad (2.1)$$

Где V_n , V_z – относительные влажности навоза и экскрементов;

Z – коэффициент, зависящий от системы удаления навоза.

Влажность свиных экскрементов достигает 88-90%, а при смыве их водой она увеличивается до 98%. С понятием влажности связана плотность животноводческих стоков. Так для стоков с влажностью 91-98% плотность составляет 1,08-1,01 г/см³, а плотность сухого вещества - 1,28-1,32 г/см³ [3.5].

Большое значение в определении физических свойств жидкого навоза имеет фракционный состав. Так, в бесподстилочном навозе влажностью 89-91% имеется 25-30% твердых частиц, размер которых превышает 25-30 мк, и 8-30% тонковолокнистых включений длиной более 100 мк.

Температура стоков оказывает существенное влияние на химико-биологические процессы, протекающие в навозных стоках. Среднегодовое колебание ее составляет 6-20°. В зимнее время, когда температура свиных стоков минимальная, бактериальная загрязненность снижается до 2⁻¹⁰ раз и одновременно замедляется процесс разрушения органических веществ. Так, например, если для образования аммиака летом необходимо 1-2 недели, то зимой требуется около двух месяцев. В летнее время, когда наибольшая

температура навоза достигает 20°, бактериальное загрязнение максимальное, а количество аммиака наибольшее.

При обработке стоков кроме вышеуказанных показателей определяют также запах, цветность, прозрачность, рН, осадок, взвешенные вещества, БПК, окисляемость (перманганатная) и ХПК. Необходимо также знать о величинах общего микробного загрязнения и коли-титре.

В жидком свином навозе рН колеблется около нейтральной, с небольшим преобладанием щелочности (рН = 6,8-8,0).

В свиных стоках определенное количество органических веществ находится во взвешенном и коллоидном состоянии. Количество этих веществ, задержанных на фильтре, называется взвешенными веществами. Для жидкого свиного навоза исходные взвешенные вещества достигают до 12,4 г/л [19].

Окисляемость и ХПК характеризуют загрязненность сточных вод органическими и неорганическими веществами. ХПК (химическое потребление кислорода) является наиболее полным показателем загрязнения стоков и определяется количеством бихромата калия, необходимого для окисления примесей. Оно выражается в миллиграммах кислорода (эквивалентное количеству расходуемого бихромата кадмия), необходимого для окисления загрязнителей в 1 л стоков.

Для ускоренного анализа применяется метод перманганатной окисляемости, который основан на выявлении количества перманганата калия, затрачиваемого на окисление нестойких примесей и считается приближенной характеристикой стоков. Имеет одинаковую размерность с ХПК.

БПК (биохимическое потребление кислорода) – показывает количество кислорода, идущего на биохимическое окисление органических загрязнителей, содержащихся в 1 л сточных вод. Процесс биохимического окисления обуславливается деятельностью аэробных микроорганизмов, разрушающих доступные им органические вещества в течение

определенного времени. В зависимости от этого периода времени различают БПК - пятидневное, БПК - двадцатидневное и БПК - полное (БПК₅, БПК₂₀, БПК_{полн}).

Для свиного навоза исходная ХПК колеблется от 2000 до 100000 мг О₂/л, БПК₅ составляет около 0,42 ХПК, а БПК_{полн} = 0,85 ХПК.

К основным бактериологическим показателям, характеризующим свиные стоки, относится коли-титр. Коли-титр - минимальный объем воды в литрах, в котором содержится одна кишечная палочка. Обратной величиной коли-титра является коли-индекс, который показывает количество кишечных палочек в 1 л жидкого навоза. Хотя сама кишечная палочка безвредна для человека, но ее наличие свидетельствует о присутствии в сточной воде опасных патогенных микроорганизмов. Установлено, что при обеззараживании жидкостей кишечная палочка наиболее устойчива к внешним воздействиям и поэтому уменьшения ее количества отражает факт уничтожения патогенных микробов.

Не менее важным критерием качества стоков считается общее микробное число, которое показывает общее количество микроорганизмов в 1 миллилитре. Общее микробное число в жидком навозе достигает нескольких сотен миллионов в 1 мл, а коли-титр бывает менее 0,000001 [5].

В свиноводческих стоках имеются также яйца и личинки гельминтов, которые также представляют большую опасность для окружающей среды.

2.3. Способы получения озона. Лабораторная озонаторная установка

К настоящему времени имеется полная информация о всех физико-химических свойствах озона [9,21,37,38].

При обычной температуре озон - это газ светло-голубого цвета с острым специфическим запахом, токсичен. Допустимая санитарная норма озона в рабочем помещении - 0,0001 мг О₃/л воздуха [37]. Специфичный острый запах озона чувствуется уже при более низких концентрациях.

Молекулярный вес озона - 48. Этот газ может иметь 3 состояния: газообразное, жидкое и твердое. Наибольший практический интерес с точки зрения использования в народном хозяйстве представляет газообразный озон. Удельный вес этого газа при 0°C и давлении $10,13 \cdot 10^4$ Па - 2,144 кг/м³, а теплопроводность его составляет $13,83 \cdot 10^5$ Дж/сек·см⁵ /при 25°C/.

Наличие атомарного кислорода придает ему сильные окислительные свойства. Окислительно-восстановительный потенциал у озона 2,07 э—В.

Распад озона в жидкости зависит от ее кислотности и степени загрязнения. В кислом растворе (рН<7) озон гораздо устойчивее, чем в щелочном (рН>7). Причем, с ростом щелочности скорость распада пропорционально растет [58,59]. На скорость распада озона в водной среде также влияют температура воды и концентрация озона в озоно-воздушной смеси. С увеличением температуры воды и концентрации озона время распада озона уменьшается. Распад ускоряется и при повышении загрязненности воды. Так, например, доля уменьшения концентрации озона с 500 мг на литр воды до 250 мг/л потребовалось в дважды дистиллированной воде несколько часов, а в грунтовой - 20 мин. и в поверхностной воде - около 10 мин.

Существует также понятие растворимости озона в жидкости. Установлено, что с увеличением температуры жидкости растворимость озона снижается. Повышение концентрации озона в воде приводит к ее насыщению. Необходимо отметить, что чем чище вода от различных загрязнителей, тем быстрее наступает ее насыщение.

Озон обладает сильным бактерицидным действием. Так, например озонирование вода в Восточной водопроводной, станции дозами 2-2,5 мг/л дает эффект обеззараживании по общему микробному числу в 100% , по коли-индексу – 99% [23], Бактерицидная доза зависит от исходного состояния обрабатываемой жидкости. Чем грязнее исходная жидкая масса, тем больше тратится озона.

Способы получения озона можно объединить в 3 большие группы по принципу получения: химический, радиационный и электротехнологический. (рис.6)

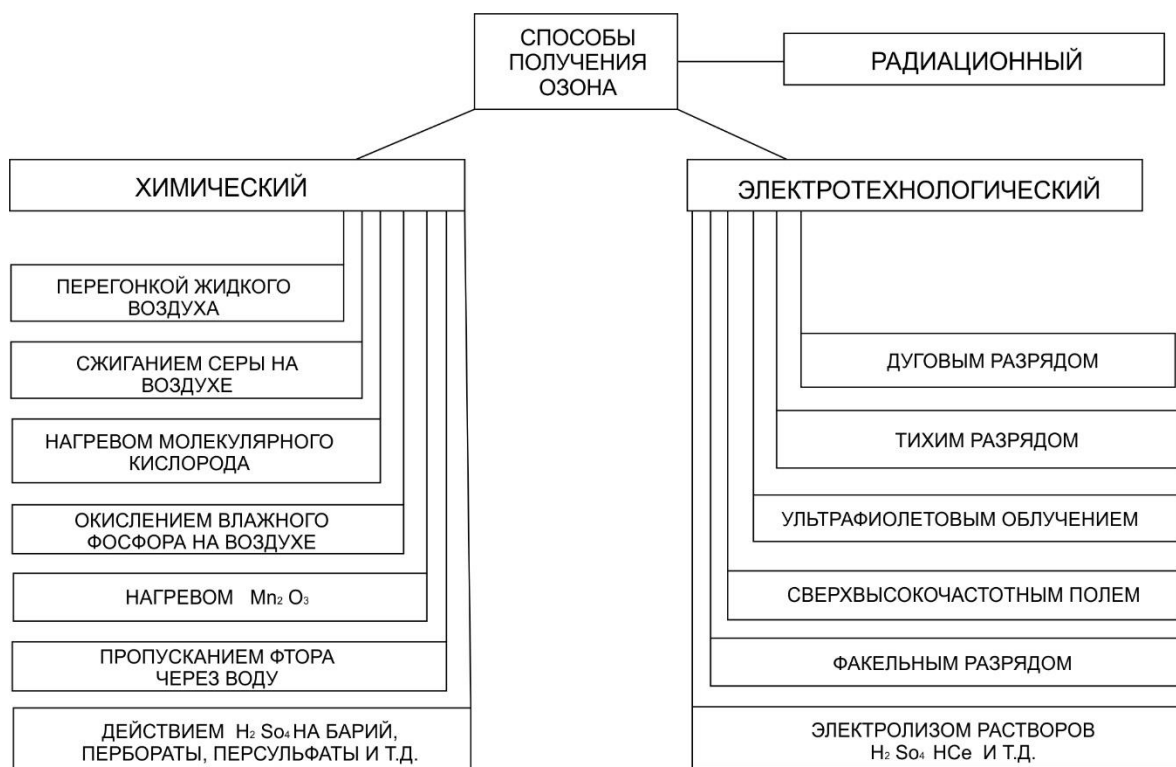


Рис.6 Способы получения озона

Химические способы получения озона в основном используются в лабораторных исследованиях и характеризуются небольшой концентрацией озона,

Радиационный способ заключается в том, что при бомбардировке быстрыми электронами стоков наблюдается побочный эффект образования озона из воздуха, имеющегося в струе обрабатываемой жидкости.

Рассмотрим электротехнологические способы получения озона.

Наиболее простой способ - использование дугового разряда. Однако, большие температуры в разрядной зоне мгновенно разрушают образовавшуюся молекулу озона, в результате в околоразрядной атмосфере получается чрезмерно малая концентрация озона.

Разновидностью коронного разряда является факельный разряд, которые отличается прерывистостью короны. Опыты Р.Л. Андриановой и др. показывают, что при этом образуется озон с концентрацией 1-2 мг/л [37,38].

При этом способе влажность воздуха незначительно влияет на выход озона, но его практическое применение ограничивается безмерно большим удельным расходом электроэнергии (1 кВт·ч на получение 30-40 г озона) и невысокой концентрацией синтезируемого газа.

Использование электролизного и фотохимического способов для получения озона в больших количествах связано с большими энергетическими затратами. На 1 кг образуемого газа при фотохимическом способе тратится 550 кВт·ч электроэнергии, а при электролизном - 140-250 кВт·ч. Кроме того, в озонаторах ультрафиолетового облучения концентрация озона на выходе чрезмерно мала (не более 0,1% в единице объема воздуха). К недостаткам электролизного метода можно отнести и трудность регулирования процесса.

О возможности образования озона при пропускании струи кислорода через сверхвысокочастотное поле (СВЧ) говорится в [66]. Подробные данные по этому способу в литературе отсутствуют. Наибольшее распространение нашло получение озона с помощью тихого (барьерного) электрического разряда. Существуют различные конструкции озонаторов, работающих на принципе тихого разряда [14,15].

Рассмотрим некоторые конструкции озонаторов с их краткой технической характеристикой.

В России озонаторы выпускались Курганским заводом «Химмаш». Большое участие в разработке, исследований и внедрении новых типов озонаторов принимает Дзержинский филиал НИИХИММАШ.

Выпускаются озонаторы типов ОП-4, ОП-6, ОП-121 и др. Среди зарубежных наиболее распространены озонаторы фирм "Трелигаз" (Франция). Основные технические характеристики генераторов озона приведены в таблице 3. В зависимости от формы электродов генератора озона бывают трубчатыми (цилиндрические) и пластинчатыми.

В связи с трудностью приобретения и неясностью целесообразности озонирования свиноводческих стоков, нами на базе выпускаемых

промышленностью элементов была создана озонаторная установка, включающая в себя два однотрубных генератора озона с питающим трансформатором (рис.7), блок очистки и осушения воздуха, воздушный редуктор (рис.8), контактные колонки, контрольно-измерительную аппаратуру (рис.8).

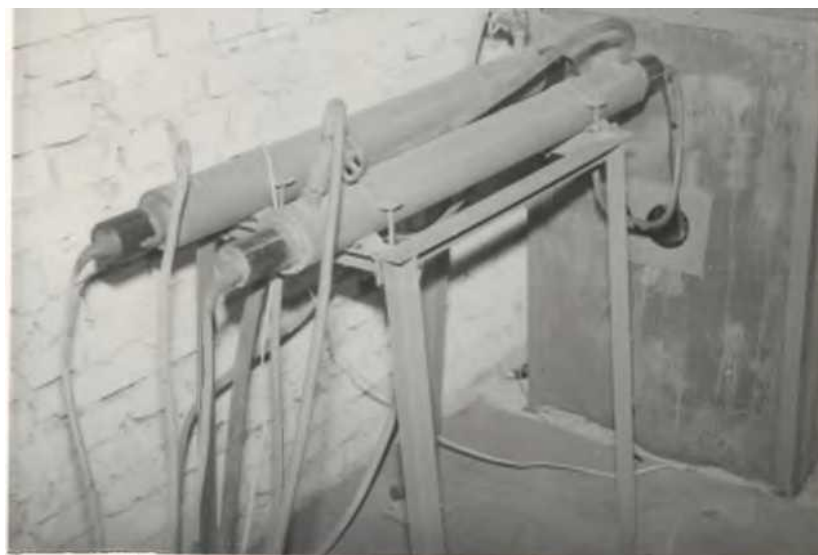


Рис.7 Генераторы озона

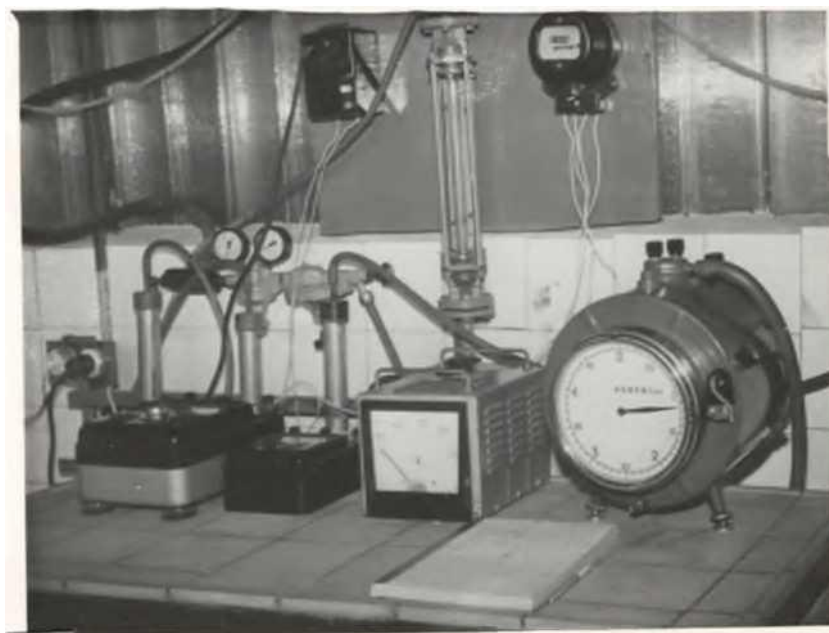


Рис.8 Контрольно-измерительная и вспомогательная аппаратура

Таблица 3

Основные технические характеристики генераторов озона

Типы генераторов	Производительность по озону, кг/ч	Концентрация озона в смеси кг/м ³	Рабочее напряжение кВ	Частота тока, Гц	Мощность кВт
ОП-4	1,0	20	10	50	18
ОП-6	2,0	20	10	50	37
ОП-121	1,7	20	20	50	22
ОПЧ-1	3,7	30	11	400	90
ПГО-8	8,0	20	20	50	110
ПГО-16	16,0	30	15	1000	253
ОПТ-315	до 4,5	30	15	50	100
ОПТ-510	до 6,5	30	15	50	140
Моноблок -76	2,016	18	20	1000	25
Шаузи-7500	8,3	20	20	50	160
Сео-П	28,0	30	20	1500	300

Трубчатые генераторы озона состоят из стеклянной трубки, запаянной с одного конца и металлизированной изнутри, поверх которых размещена цилиндрическая оболочка из нержавеющей стали. На оболочке смонтирована водяная рубашка. Повышающий трансформатор имеет номинальное напряжение на первичной обмотке - 110 В, а на вторичное - 22000 В и мощность 600 Ва. Воздух подавался из общей системы с давлением $60,76 \cdot 10^4$ Па через воздушный редуктор, снижающий давление до $2,026 \cdot 10^4$ - $15,195 \cdot 10^4$ Па. Для смешивания озono-воздушной смеси с жидкой фракцией использовались контактные колонки периодической и непрерывной обработки. Расход воздуха измерялся ротаметром РС-5 и газовым счетчиком ГСБ-400. Напряжение и ток на первичной стороне трансформатора контролировались вольтметром на 150 В и амперметром на 5 А. Напряжение на вторичной обмотке контролировалось киловольтметром С-96, а величина тока определялась миллиамперметром, подключенным во вторичную цепь после генератора озона. Блок очистки и осушки воздуха включает в себя три последовательно соединенных резиновыми шлангами цилиндрических

колонки. В первой и второй колонках находится селикагель, а третья заполнена стекловатой с марлей. Селикагель способствует осушке воздуха, а стекловата с марлей удерживает различные примеси в воздухе, поступающем в озонатор. По мере эксплуатации селикагель насыщается влагой, поэтому он периодически просушивался при температуре порядка 105-120°C.

Используемые в экспериментальной установке генераторы озона имели следующие геометрические параметры: длина стеклянной и металлических трубок равна соответственно 1,134 м и 1,018 м, внутренний и внешний радиус стеклянной трубки - $16,77 \cdot 10^{-3}$ м и $19,24 \cdot 10^{-3}$ м, внутренний радиус металлической трубки - $20,8 \cdot 10^{-3}$ м. Этим габаритам генератора соответствуют емкости барьера около $6,5 \cdot 10^3$ pF и промежутка немногим более 10^3 pF. Общая емкость при этом составляет около $0,9 \cdot 10^3$ pF.

На рис. 10 показана вольт-амперная характеристика генератора озона, имеющая предразрядный (0А) и разрядный (АД) участки. В точке А происходит пробой воздушного промежутка. Образование озона является СЛОЖНЫМ процессом, при котором наряду с электрическими протекают тепловые и химические явления.

Основным фактором в электросинтезе озона считается соотношение мощности разряда pF/V к расходу подаваемого в озонатор газа [51]. Эта величина показывает количество энергии, которая тратится на единицу объема газа, проходящего через разрядное пространство, для получения необходимой концентрации озона. Установлена аналитическая зависимость между удельной мощностью pF/V и концентрацией озона на выходе из генератора [44]:



Рис.9 Барботажная колонка

$$x = x_{ст} \left[1 - \exp\left(-k_1 \frac{P_p}{V}\right) \right] \quad (2-2)$$

где x -концентрация озона. г/м³;

$x_{ст}$ -стационарная концентрация озона, достигаемая при больших значениях удельной мощности;

k_1 -константа скорости разложения озона.

В свою очередь $x_{ст}$ равна:

$$x_{ст} = \frac{K_0}{K_1}$$

Где k_0 -константа скорости образования озона.

Как видно из формулы (2-2), концентрация озона растет с увеличением мощности разряда и уменьшается с увеличением скорости воздуха.

Учитывая, что мощность разряда в конечном итоге определяется величиной подводимого к генератору напряжения, для практических исследований и характеристики генератора озона достаточно определить

зависимость выхода озона от подводимого напряжения и расхода воздуха (рис.11).

Были исследованы режимы с расходом воздуха от 6 до 30 л/мин при напряжениях 10.5-17.0 кВ. Величина $U_{max} = 17$ кВ установлена из электрической прочности внутреннего электрода, Максимальный выход озона $[O_3] = 6.0$ мг/л имеет место при $U=17$ кВ, $V=6$ л/мин.

Концентрация озона определялась способом подометрического титрования.

2.4. Выбор критерия качества обработки озонированием свиноводческих стоков

Исследования по определению возможности применения озона для доочистки и обеззараживания жидкого свиного навоза были проведены на экспериментальных очистных сооружениях ВНИИМЖ со свиными стоками фермерского хозяйства «Октябрь» Подольского района Московской области [40]

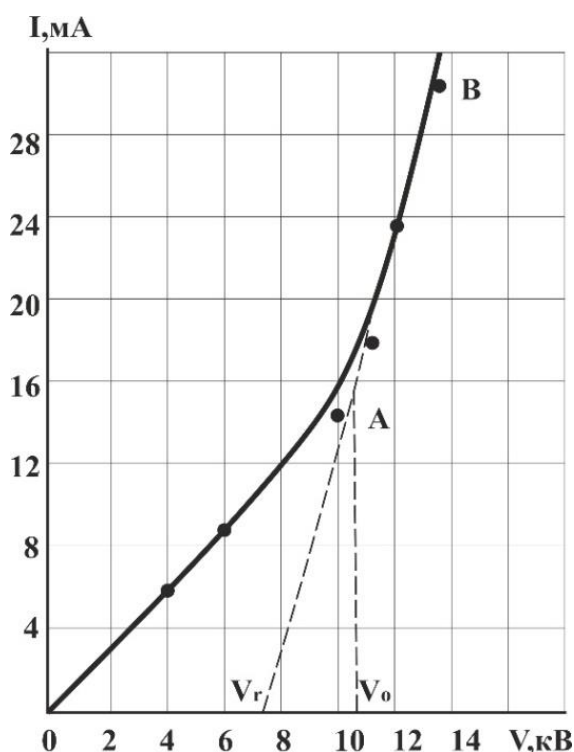


Рис. 10 Вольт-амперная характеристика генератора озона

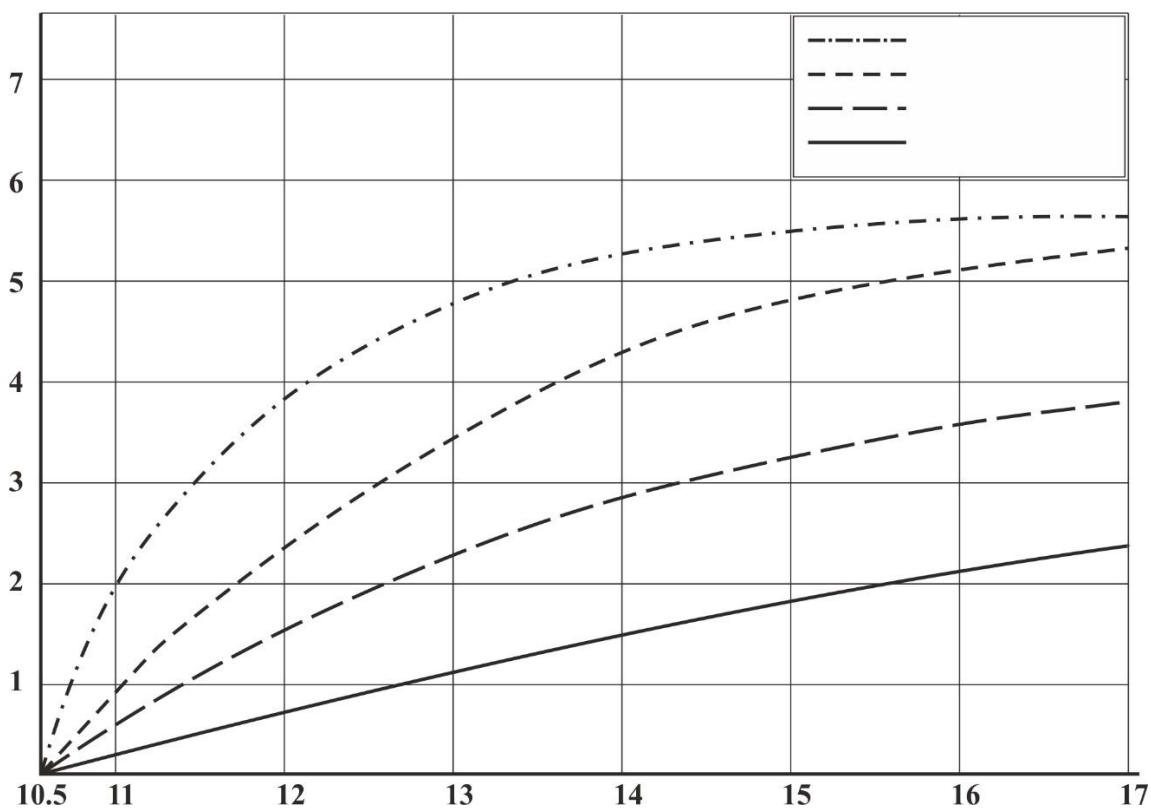


Рис.11 Зависимость выхода озона от подводимого напряжения и расхода воздуха

Озон получали с помощью лабораторного генератора и подавали в емкость с обрабатываемой жидкостью под давлением $0,606 \cdot 10^5$ Па.

На рис 12 представлена принципиальная технологическая схема озонирования свиноводческих стоков. Воздух, отсасываемый компрессором 2 проходит фильтр I и подается через осушительные колонки 3 в генератор озона 4. Из генератора озono-воздушная смесь подается в барботажную камеру 6, куда одновременно противотоком направляется жидкая фракция свиного навоза. Непрореагировавший озон разлагается в дегазаторе 7 и выбрасывается в атмосферу.

Известны различные способы смешения озона с обрабатываемой массой: инжекция, эмульсация, барботаж, распыление жидкости и другие. Исследования, проверенные Монастырской-Вайнер, показали, что способ барботажа отличается меньшими затратами электроэнергии и надежностью конструкции [38]. Поэтому нами в экспериментальной установке

использовалась барботажная камера. Изменяя подачу озона и сточной массы, можно регулировать время контакта.

На первом этапе исследований изучалась эффективность обработки озоном сточной массы после различных этапов ее очистки: исходная масса из свинофермы, перед подачей на центрифугу, после центрифугирования, после 2-х часового отстаивания и после биологической обработки. Опыты проводились при одинаковых дозах озона - 204 г/м^3 . Результаты озонирования сточной массы после различных этапов ее обработки представлены в таблице (4). Из этой таблицы видно, что обработка свиных стоков озоном улучшает их физико-химические и санитарно-бактериологические показатели, однако, наилучший эффект очистки достигается при озонировании жидкой фракции навоза, прошедшей, биологическую обработку. В этот, случае показатель БПК снижается с 89 до 24 мг/л, прозрачность обрабатываемых стоков увеличилась с 14 до 26 см, а общее количество микробов уменьшилось с 20000 до 101 в 1 мл обрабатываемых стоков. При этом коли-титр вырос с 0,6 до 11,1.

Сравнение относительного изменения качества очистки по БПК₅- на всех этапах очистки показывает, что снижение БПК₅ составляет для обработки перед центрифугированием - 41,01%, после центрифуги - 40,8% при озонировании с предшествующим 2-х часовым отстоем - 61,% и после биофильтров - 73,0%.

Таким образом, наибольшее изменение по БПК₅ получается в случае озонирования стоков после биологической, обработки и достигает 73%. Необходимость применения озона после биологической обработка объясняется также тем, что в свиных стоках существуют трудноокисляемые органические соединения, которые биохимическим путем трудно разрушить. В периоды наименьшей загрязненности биологически очищенных стоков, для получения подобных качественных изменений, доза озона составила 155 г/м^3 . При этом БПК₅ снизилось с 56 мг $\text{O}_2/\text{л}$ до 20 мг $\text{O}_2/\text{л}$, а коли-титр увеличился с I до 16.

Таблица 4

Результата озонирования жидкого навоза после разных этапов очистки

	Перед подачей на центрифугу	После центрифуги	После часового отстаивания	После биологической обработки
ХПК, мг O ₂ /л				
Исходная масса	3200	960	640	320
После озонирование	2880	480	360	180
БПК, мг O ₂ /л				
Исходная масса	2755	2451	151	89
После озонирование	1625	1451	58	24
Прозрачность, см				
Исходная масса	2,5	2,5	4,6	14,0
После озонирование	2,5	12,0	16,0	26,0
Общее микробное число в 1 мл				
Исходная масса	Спл.рост	1400000	210000	20000
После озонирование	200000	106000	25000	101
Коли-титр				
Исходная масса	0,0036	0,001	0,01	0,60
После озонирование	0,0430	0,430	1,00	11,10

Одновременно на предварительная этапе исследования изучалось влияние времени контакта озона на процессы очистки и обеззараживания жидкой фракции, прошедшей предварительную биологическую обработку. Результаты исследования приведены в таблице 5 и на рис. 13

Таблица 5

Влияние времени озонирования сточной массы на некоторые физико-химические и микробиологические показатели (концентрация озона 4,8 мг/л)

Показатели	Исходная масса	Длительность обработки, мин					
		5	10	15	20	30	45
Окисляемость, мг/л	34	23	22	21	18	18	18
БПК ₅ , мг O ₂ /л	97	27	18	17	14	12	11
Взвешенные вещества, мг/л	810	600	376	126	92	78	76
Общее микробное число в 1 мл	Сплош. рост	Сплош. рост	10600	300	54	9	0
Коли-титр	0,04	0,4	1,5	4,3	11,0	11,0	37,0

Как следует из опытов, в начальный период большая часть озона тратится на окисление органических загрязнителей (доочистка), содержащихся в жидком навозе. Так, например, при 5-ти минутной обработке озоном БПК₅ уменьшается с 97 до 27, при незначительном возрастании коли-титра - с 0,04 до 0,4. Дальнейшее увеличение времени контакта приводит к интенсификации процесса обеззараживания стоков с продолжающимся окислением органических веществ. Но при этом скорость окисления незначительна по сравнению с обеззараживанием. При 15-ти минутной обработке коли-титр за последние 10 мин резко возрастает с 0,4 до 11, а –БПК 5 при этом уменьшается лишь с 27 до 17. Дальнейшее увеличение времени озонирования приводят к относительной стабилизации процессов доочистки и обеззараживания.

Из таблицы 6 видно, что после биологической обработки эффективное время обработки находится в интервале 10-15 мин. Столь широкий разброс по времени объясняется неоднородностью и непостоянством состава жидкой фракции навоза. В периоды наибольшего загрязнения стоков требуется большая продолжительность озонирования.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что процесс озонирования жидкой фракции свиного навоза идет в 2 этапа:

1. очистка от органических загрязнителей и частичное обеззараживание;

2. интенсивное обеззараживание и доокисление органические веществ.

При озонировании свиных стоков возможны различные показатели, характеризующие качество обработки стоков. Это физико-химические: ХПК, БПК, рН, прозрачность, количество азота, нитратов, нитритов и т.д., а также бактериологические: коли-титр и общее микробное число.

Наиболее определяющими химический показателями являются ХПК, БПК, рН и взвешенные вещества.

Из данных таблицы 5 следует, что величины ХПК после озонирования изменяются меньше (43,7%) чем БПК (73%) и прозрачность (85,7%). Это объясняется, по нашему мнению, тем, что при озонировании сточных вод свиноводческих фермы и комплексов получают соединения, для которых применение метода ХПК не пригодно вследствие специфики необходимы специальные методы анализа свиных стоков, обработанных озоном.

Использование БПК в качестве критерия оценки качества обработки ограничивается длительностью анализа (от 5 до 20 дней).

По результатам наших исследований можно сделать вывод о том, что рН при озонировании изменяется незначительно и в данном случае она не может служить критерием оценки качества обработки жидкого свиного навоза.

Наиболее простыми в анализе являются содержание взвешенных веществ, которое также считается одним из важных химических показателей. Целесообразность применения взвешенных веществ в качестве химического параметра обработки объясняется большой органической загрязненностью свиноводческих стоков. Расчеты показывают, что между взвешенными веществами и БПК, а также между взвешенными веществами и прозрачностью существует тесная корреляционная взаимосвязь. Степень

тесноты взаимосвязи характеризуется коэффициентами корреляции, которые составляет соответственно 0,91 и 0,97.

При озонировании коли-титр резко возрастает (около 1700%), однако дискретность и относительно большое время анализа /до 3-х дней/ не позволяют использовать его в качестве определяющего параметра.

Учитывая вышесказанные трудности, в качестве показателя, характеризующего микробное состояние жидкой фракции СВИНОГО навоза при обработке озоном, взято общее микробное число. Определение общего количества микробов дает весьма точную картину эффективности применяемой системы обработки стоков, особенно в динамике процесса обработки.

Для достоверности полученных выводов об эффективности обработки периодически, через определенное количество опытов, производился полный химико-бактериологический анализ озонируемой жидкой массы.

2.5. Исследование процесса озонирований жидкой фракции навоза

Экспериментальные исследования проводились по методике математического планирования эксперимента, что позволяет получить всю необходимую информацию о процессе при минимуме экспериментов. Была поставлена задача построить математическую модель процесса, связывающую параметры внешних воздействий и объекта с показателями качества обработки, а также определить их оптимальные соотношения. Обработке подвергались стоки с характерными для существующих линий очистки санитарно-бактериологическими показателями.

Для создания математической модели процесса доочистки и обеззараживания стоков озонированием, необходимо установить факторы с учетом требований, предъявляемых к ним, и задаться интервалом их варьирования.

Согласно [22,42] при выборе факторов, к ним предъявляются следующие требования:

1. Факторы должны быть управляемыми, то есть внутри области определения фактора ему можно предавать любой уровень и поддерживать его постоянный требуемое время.
2. Факторы должны непосредственно воздействовать на объект, то есть должно быть однозначными.
3. Точность замера значений факторов должна быть выше точности замера величины параметра оптимизации.
4. Факторы должны быть совместными. Это значит, что внутри области определения факторов возможна любая комбинация их значений, независимо друг от друга.

Основываясь на предварительных исследованиях и литературных источниках были взяты параметры: время обработки озоном (*мин*); температура стоков (*градус*); расход воздуха подаваемого на генератор озона (*л/мин*); напряжение подаваемое за генератор озона (*кВ*); доза озона, приходящаяся на 1 м³ обрабатываемой массы (*г/м³*); прозрачность жидкой фракции (*см*); исходная концентрация взвешенных веществ (*мг/л*); исходная общая микробная заражённость (количество в 1 мл); *pH* среды высота столба обрабатываемой жидкости (*м*); ХПК и БПК сточной массы (*мг O₂/л*); коли-индекс сточный массы (*шт/л*) коли-титр.

Проанализируем возможность и целесообразность применения всех этих параметров в качестве факторов.

Использование дозы озона в качестве фактора не представляется возможным, так как она зависит от концентрации и длительности обработки, а длительность обработки является одним из параметров, характеризующих сам процесс доочистки и обеззараживания. Это обстоятельство не соответствует требованиям 4, предъявляемого к факторам.

Применение взвешенных веществ, общего микробного числа, ХПК и БПК и коли-индекса ограничивается требованием 1, предъявляемым к факторам. Практически трудно искусственно задаваться любыми значениями этих величин и поддерживать их постоянными определенное время.

В жидком свиной навозе рН колеблется в интервале 7,38-8,4. Подобный интервал не сказывается на эффективности процесса озонирования.

Изменение высоты столба озонируемой жидкости влияет только на процент прореагировавшего озона, но не на качество доочистки и обеззараживания.

Оставшиеся факторы можно классифицировать следующим образом
- факторы, характеризующие состояние стоков (температура прозрачность).

- факторы объединяющие параметры внешнего воздействия (напряжение, подаваемое к генератору озона, расход воздуха, длительность обработки).

Предельные значения факторов устанавливаются по следующим соображениям.

Температура жидкого свиного навоза падает в зимнее время до 6°, а летом достигает 22°C. В процессе исследования необходимые уровни температуры достигались подогревом или охлаждением обрабатываемой массы.

Прозрачность можно использовать для экспресс-анализа исходного состояний жидкой фракции свиного навоза. Повышение прозрачности после биологической очистки свидетельствует об уменьшении органической загрязненности стоков. В свою очередь, уменьшение количества органических веществ в свиных стоках приводит к снижению бактериальной загрязненности, так как органические вещества, имеющиеся в жидкой фракции, является защитной средой для них. Прозрачность исходных стоков колеблется от 2,5 до 14 см. В используемых в экспериментальной установке генераторах озона при напряжении 10500 В наступает разряд, а при напряжении 17500 В - пробой диэлектрика, С учетом некоторого запаса, пределы варьирования напряжения приняты от 10 кВ до 17 кВ.

Уменьшение расхода воздуха повышает концентрацию озона на выходе из генератора, но при этом снижается эффективность смешения озон-

воздушной среды с обрабатываемой массой. В эксперимент так расход воздуха менялся от 5,4 до 50 л/мин. Производительность генераторов озона определяется отношением P_p/V (2-2). Принимая во внимание однозначную зависимость между подводимым напряжением и мощностью разряда, берем в качестве фактора отношение U/V , которое по аналогии с выражением удельной мощности назовем удельным напряжением. Удельное напряжение изменяется в интервале 2,0-3,15 кВ*мин/л.

На основе предварительных исследований длительность обработки (контакта) возьмем от 5 до 25 мин.

Для построения матрицы планирования экспериментов необходимо перевести натуральные значения факторов в кодовые (безразмерные), которые связаны между собой формулой:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\varepsilon} \quad (2-3)$$

где x_i -кодовое значение i -го фактора

X_i -натуральное значение i -го фактора

X_{i0} -кодовое значение i -го фактора на нулевом уровне;

ε -интервал варьирования данного фактора.

Для каждого фактора произведем кодирование, задавшись предварительно нулевым уровнем и интервалом варьирования. Полученные результаты занесем в таблицу 6.

Таблица 6

Интервал варьирования и уровни факторов	Время обработки, мин. X_1	Удельное напряжение кВ·мин/л X_2	Температура стоков градус X_3	Прозрачность, см, X_4
Нулевой уровень $x_{i0}=0$	10	1.6	12	8
Интервал варьирования	2	0.2	2	2
Нижний уровень $x_i=-1$	8	1.4	10	6
Верхний уровень $x_{i0}=+1$	12	1.8	14	10

Для проведения полного факторного эксперимента необходимо, с условием 5-тикратной повторности выполнить опытов:

$$m * N = m * 2^k = 5 * 2^4 = 80$$

где: m-число повторностей опытов;

N-количество опытов без повторностей;

2-количество уровней факторов (верхний и нижний);

k-количество факторов.

При этом задаемся уравнением вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4$$

(2-4)

Применение метода дробного факторного эксперимента (ДФЭ) позволяет минимизировать число опытов. Дробный факторный эксперимент это часть (дробная реплика) полного факторного эксперимента. Для данного случая имеем ДФЭ 2^4-1 , что соответствует полному факторному эксперименту /ПФЭ/ 2^3 .

Выбираем генерирующее соотношение $x_4=x_1x_2x_3$ Для него находим определяющий контраст $I = x_1x_2x_3x_4$ и соотношения, определяющие совместные оценки коэффициентов регрессии.

$$x_1 = x_2x_3x_4; \quad x_3 = x_1x_2x_4;$$

$$x_2 = x_1x_3x_4; \quad x_4 = x_1x_2x_3;$$

$$x_1x_2 = x_3x_4; \quad x_2x_3 = x_1x_4;$$

$$x_1x_3 = x_2x_4;$$

Полученные результате эксперимента значения коэффициентов моделей

$$y_I = b_0^I + b_1^I x_1 + b_2^I x_2 + b_3^I x_3 + b_4^I x_4 + b_{12}^I x_1 x_2 + b_{13}^I x_1 x_3 + b_{23}^I x_2 x_3 \quad (2.5)$$

$$y_{II} = b_0^{II} + b_1^{II} x_1 + b_2^{II} x_2 + b_3^{II} x_3 + b_4^{II} x_4 + b_{12}^{II} x_1 x_2 + b_{13}^{II} x_1 x_3 + b_{23}^{II} x_2 x_3 \quad (2.6)$$

Где y_i, y_i – соответственно взвешенные вещества и общее микробное число будут оценками фактических линейных эффектов и парных взаимодействии.

$$\begin{aligned} b_1 &\rightarrow \beta_1 + \beta_{234}; & b_2 &\rightarrow \beta_2 + \beta_{134}; \\ b_3 &\rightarrow \beta_3 + \beta_{124}; & b_4 &\rightarrow \beta_4 + \beta_{123}; \\ b_{12} &\rightarrow \beta_{12} + \beta_{34}; & b_{13} &\rightarrow \beta_{13} + \beta_{24}; \\ b_{23} &\rightarrow \beta_{23} + \beta_{14}; \end{aligned}$$

Как видим, здесь оценки коэффициентов линейных эффектов взаимосвязаны с оценками коэффициентов эффектов наибольшего взаимодействия (в данном случае тройного взаимодействия). Это позволяет, считая минимальными коэффициенты тройного взаимодействия получить наиболее возможную точную оценку линейных коэффициентов.

С учетом порядка чередования опытов строим матрицу планирование 2^{4-1} , где вместо тройного взаимодействия x_1, x_2, x_3 , берем фактор X_4

Однако, прежде чем построить матрицу эксперимента, необходимо рандомизировать опыты, т.е. исключить влияние систематических ошибок, которые могут возникнуть в результате изменения качества биологической очистки предшествующей озонированию/, погрешностей приборов, ошибок экспериментатора.

Смысл рандомизация заключается в придании случайности чередованию опытов, для чего используется таблица случайных чисел [78]

Полученный случайный порядок проведения опытов заносим в матрицу эксперимента. (табл.7.)

Для усреднения результатов экспериментов использовалась методика определения грубых ошибок [80]

Для определения коэффициентов уравнений /2-5/ и /2-6/ используем формулы:

$$b_0 = \frac{\sum_1^n y_u}{n} \quad (2.7)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum^n x_{ci}x_{ju}y_u}{n} \quad (2.8)$$

$$b_i = \frac{\sum^n x_{ci}y_u}{n} \quad (2.9)$$

Значимость коэффициентов регрессия оценивается по критерию Стьюдента. При выполнении условия :

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0.01;fy)} \frac{S_y}{\sqrt{nm}} \quad (2.10)$$

коэффициенты считаются значимыми [82].

Где $t_{(0.01;fy)}$ – табличные значения критерия Стьюдента, определено по П.3 [81]

$f_{(y)}$ – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости.

$$S_{(y)} = \sqrt{\frac{\sum^n f_i S_i^2}{\sum^n f_i}} \quad \text{- Среднее квадратичное отклонение.}$$

Установлено, что для уравнения /2-5/ значимы все коэффициенты, кроме b_3^I ; b_{12}^I и b_{13}^I . В уравнении /2-6/ незначимы коэффициенты b_3^{II} ; b_{12}^{II} ; b_{13}^{II} и b_{23}^{II} .

Адекватность моделей /2-5 и 2-6/ проверена по критерию Фишера [22]:

$$F = \frac{S_{ag}^2}{S_{(y)}^2} \leq F_{(0.01;f_{ag};f(y))}$$

Величина дисперсии адекватности определяется из выражения

$$S_{ag}^2 = \frac{\sum^n (y - \hat{y})^2}{F_{ag}}$$

Где F_{ag} - число степеней свободы дисперсии адекватности;

y -значения, определенные по модели.

В результате расчетов подтверждена адекватность обеих моделей.

Таблица 7

Общий план – матрица эксперимента

№	Рандомизация					X	X	X	X	X	X ₁ X	X ₁ X	X ₂ X	y _I	y _{II}
	ОПЫТОВ					0	1	2	3	4	2	3	3		
1	3	8	5	3	3	+	-	-	-	-	+	+	+	404.	4690
	2			4	5									0	0
2	1	1	7	1	2	+	+	-	-	+	-	-	+	201.	1711
	3	6		4	6									0	0
3	4	2	2	3	1	+	-	+	-	+	-	+	-	201.	1848

		5	1	8	7									6	0
4	3	2	3	2	6	+	+	+	-	-	+	-	-	325.	2740
		4	0	9										2	0
5	2	2	1	2	1	+	-	-	+	+	+	-	-	256.	2185
	3	7	0	2	1									0	0
6	4	3	2	3	3	+	+	-	+	-	-	+	-	334.	3311
	0	9		6	9									8	2
7	1	1	1	1	3	+	-	+	+	-	-	-	+	397.	3641
	5	9	2		7									0	2
8	1	9	3	2	2	+	+	+	+	+	+	+	+	149.	1314
	8		1	0	8									6	8

По результатам экспериментальных исследований получены следующие модели:

$$Y_I = 283.65 - 52.6x_1 - 18.37x_2 - 81.6x_4 + 34x_2x_3 \quad /2-11/$$

$$Y_{II} = 26801.5 - 4109x_1 - 2941.5x_2 - 9154.5x_4 \quad /2-12/$$

Однако для оптимизация процесса необходимо иметь один параметр, учитывая специфику обрабатываемой массы, предпочтем второй – y_2 /общее количество микробов/.

Для нахождения оптимальных условий можно в данном случае применить метод крутого восхождения. Используя уравнение /2-12/, осуществим движения по градиенту. Результаты исследования сведены в таблицу 8. Крутое восхождение представляет собой движение по градиенту функции y_2

$$Grad y_{ii} = b_{1i} + b_{2j} + \dots + b_{kz} \quad /2-13/$$

При этом, изменяя факторы пропорционально коэффициентам уравнения регрессии y_2 стремимся по кратчайшему пути к оптимуму. В таблице 9 для фактора с наибольшим значением $b_i E_i$ величину k_i берем

равной единице, а душ остальных – x_i находим из соотношения $K_i = [b_i E_i] / [b_i E_i]_{\max}$

Выбирая новей интервал движения по градиенту дня фактора с $K_i = 1$, для остальных факторов величину c находим умножением этого интервала на соответствующие величины. Тая как модель адекватна, то дальнейшие эксперименты начнем с опытов, где значение одного из факторов выходит за пределы интервала варьирования. Наиболее эффективным здесь представляется X_2 /удельное напряжение/, поэтому для первого опыта при крутое восхождении берем $x_2 = 1,9$ кВ*мин/л. Значения остальных факторов определяются прибавлением к нулевому уровню шага движений. Шаговый процесс завершается при значениях функции отклика существенно ниже остальных, что соответствует в данной случае опыту № 5.

Таким образом, при обработке озонированием свиноводческих стоков, исходное среднее состояние которых характеризуется прозрачностью - 14 см в течение 15 мин, при удельной напряжении - 2,3 кВ*мин/л, соответствующем дозе озона около 200 г/м³, подучено снижение среднего количества взвешенных веществ с 430 мг/л до 38 мг/д и общего микробного числа с 350000 до 326. При этом коли-титр повышается в среднем с 0,1 до 11, а интенсивность запаха падает с 4 баллов до 1 балла. Последующая Фильтрация жидкой фракции на песчаных фильтрах повышает коли-титр в среднем до 23 и снижает количество взвешенных веществ до 20 мг/л, что этапе удовлетворяет нормативам на рециркуляцию [8].

Результаты крутого восхождения

Этапы движения по градиенту	X_1	X_2	X_3	Y_{II1}	Y_{II2}	Y_{II3}	Y_{II4}	Y_{II5}	Грубая ошибка	\bar{Y}_{II}
Нулевой уровень	10	1.6	8							

Интервал варьировани е	2	0.2	2							
Коэффициен т регрессии	410 9	294 1	9154							
	821 8	588	1830 8							
	0.44 8	0.03 8	1							
Шаг движения	0.89 6	0.06 4	2							
Округления шага	1	0.1	2							
Эксперимент ы										
Мысленный	11	1.9	10							
Мысленный	12	2.0	12							
Реализованн ый	13	2.1	14							
Мысленный	14	2.2	14							
Реализованн ый	15	2.3	14	210 0	510 0	790 0	600 0	2500 0	25000	527 5
Мысленный	16	2.4	14	200	500	300	229	400		326
Реализованн ый	17	2.5	14	101	70	170	115	3	3	114

ВЫВОДЫ:

1. Применение озонирования для доочистки и обеззараживания жидкой фракции свиного навоза дает высокий эффект. При обработке стоков, в зависимости от исходного состояния, дозой $150-200 \text{ г/м}^3$ БПК₅ снижается на 65-73%, а коли-титр возрастает в 16-18 раз.
2. Установлено, что озонирование свиноводческих стоков целесообразно после биологической очистки. При этом легко разрушаемые органические загрязнители удаляются биологическим путем, а трудноокисляемые - озонированием.
3. В результате анализа выявлено, что для контроля динамику процесса доочистки и обеззараживания жидкой фракции свиного навоза озонированием возможно оценивать такими показателями как количество взвешенных веществ и общее микробное число.
4. Получены математические модели, описывающие процессы доочистки и обеззараживания жидкой фракции навоза, применение которых позволяет наиболее рационально управлять процессом озонирования свиноводческих стоков.
5. Экспериментально установлено, что для обработки озонированием стоков свиноводческих ферм и комплексов с санитарно-бактериологическими показателям, характерными для существующих в настоящее время линий очистки, необходимая доза озона составляет $150-200 \text{ г/м}^3$ при длительности воздействия 12-15 мин. При этом последующее применение песчаных фильтров позволяет довести состояние стоков до уровня, удовлетворяющего требованиям на рециркуляцию для вторичного использования при смыве навоза.

III. ГЛАВА

3.1. Задача исследования энергетических характеристик озонаторов

Огромный вклад в развитие теории электросинтеза озона внесли ученые Ю.В. Филиппов, В.П. Вендилло, А.В. Дмитриев, Н.М. Емельянов, О.М. Книпович, В.Г. Самойлович, В.И. Пантелеев, коллектив Дзержинского филиала НИИХИММАШ и др. При рассмотрении энергетических процессов происходящих в генераторе озона основывались на их исследованиях.

Для анализа процессов, протекающих в генераторе озона, целесообразно представить его в виде схемы замещения. Существующие схемы замещения позволяют в целом характеризовать генератор озона. Однако возникают неясности при определении таких параметров цепи, как величина сопротивления промежутка и фазовый сдвиг в период разряда. Существенным допущением во всех анализах процессов является предположение о том, что озонатор питается от источника бесконечно большой мощности. На практике генераторы питаются от трансформаторов соизмеримой мощности и поэтому необходимо учитывать влияние последних на энергетику процессов электросинтеза озона.

Работа генератора озона состоит из двух постоянно чередующихся режимов - до разрядного и разрядного. Известно, что при работе трансформаторов на ёмкость, время протекания тока увеличивается пропорционально величине ЭДС самоиндукции. Учитывая, что озонатор является ёмкостной нагрузкой, представляет интерес рассмотрение возможности увеличения времени разряда и уменьшения безразрядного периода, что в конечном итоге позволяет улучшить энергетические показатели озонаторной установки. Настоящая глава посвящена рассмотрению этих вопросов.

3.2. Барьерный разряд и его основные характеристики

В основе работы электрического генератора озона лежат явления барьерного разряда. Сущность его заключается в том, что при приложении

определенного напряжения к электродам озонатора происходят поляризация диэлектрика и пробой воздушного промежутка. В результате образуется большое число макроскопических разрядов, которые в совокупности называют барьерным.

Классическая теория озонатора, как электрического аппарата дана в работе Ю.В. Филиппова. Она базируется на представлении генератора озона в виде эквивалентных электрических схем замещения. Доразрядный период представляется в виде последовательно соединенных ёмкостей диэлектрических барьеров и ёмкости воздушного промежутка. В разрядный период ёмкость воздушного зазора заменяется источником постоянной ЭДС, что объясняется постоянством напряжения промежутка в этот период [35].

Используя схемы замещения Ю.В. Филиппов определил законы изменения тока и напряжений на элементах озонатора, а также построил соответствующие графики их изменения во времени /рис. 1.4/. Здесь в начальный период /интервал $0-\omega t_0$ / с ростом величины напряжения сети растут напряжения барьера и разрядного пространства. В период разряда /интервал $\omega t_0-\omega t_1$ / при достижении V_n промежутка величины напряжения горения происходит пробой воздушного зазора и скачок тока. Далее величина тока определяется только скоростью изменения напряжения на барьерах озонатора. Напряжение на разрядном промежутке остаётся постоянным.

Это объясняется нелинейностью активного сопротивления разрядного промежутка, которое изменяется так, что напряжение горения разряда остаётся неизменным, но меняет свой знак в различных полупериодах напряжения сети.

Без разрядный период / интервал $\omega t_0-\omega t_1$ / - разряд в озонаторе прекращается с достижением максимума напряжения сети / точка ωt_1 /. Ток при этом равен нулю. Далее напряжение сети уменьшается, соответственно спадают напряжения на диэлектрических барьерах и разрядной зоне. При этом течет ток смещения и система представляет собой три последовательно включенных конденсатора. Такое представление схемы замещения сделало возможным

описать электрические процессы в озонаторе. Однако, при этом не учитывается, что источник ЭДС не отражает изменения фазового сдвига, между током и напряжением при разряде. Кроме того, в зоне разряда имеется значительное выделение тепла, что присуще только активному сопротивлению. С учетом этого, более целесообразным следует считать представление разрядной зоны в схеме замещения не источником ЭДС, а нелинейным активным сопротивлением. При исследованиях таких схем источник ЭДС обычно заменяют ёмкостью и активным сопротивлением. Ёмкостью промежутка при разряде можно пренебречь. Поэтому в разрядном периоде генератор озона представляем последовательным соединением ёмкости /барьер/ и активного сопротивления /промежуток/.

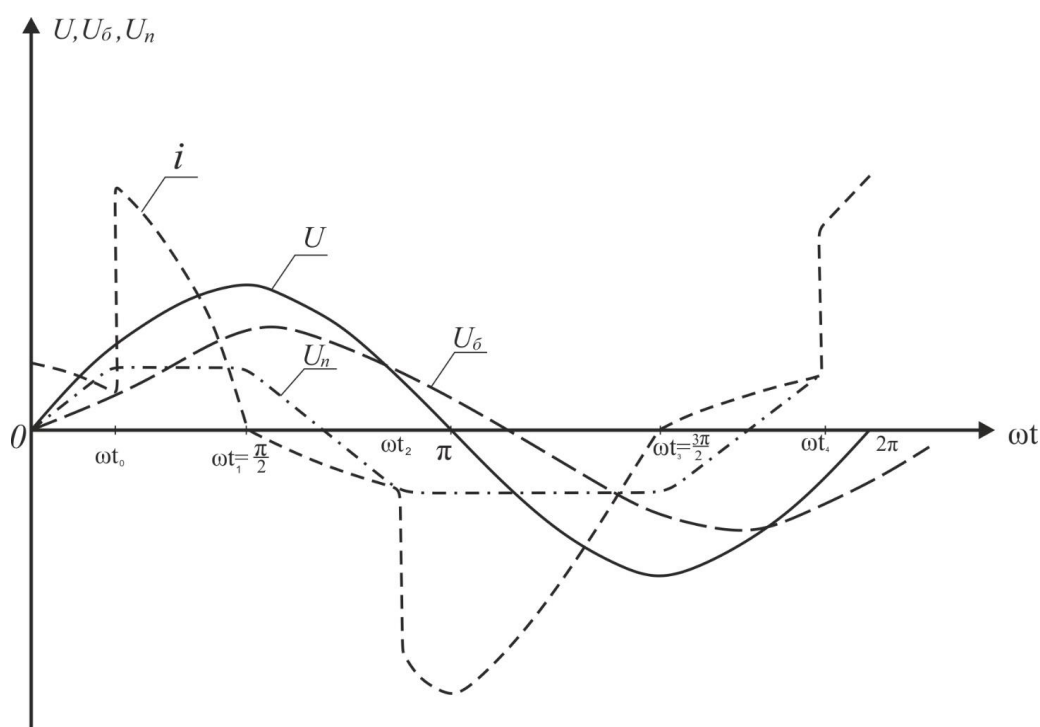


Рис. 14 График изменения тока, напряжений сети, барьера и промежутка
(по Ю.В. Филиппову)

Принимая во внимание, что в период разряда активное сопротивление промежутка изменяется незначительно, для упрощения анализа считаем её постоянной величиной.

Для представления процессов, протекающих в озонаторе, проведем поэтапное исследование периодов его работы. Безразрядный период представляем в виде двух последовательно соединенных ёмкостей C_6 и $C_{п}$. В этом случае течет только ток смещения, который имеет ёмкостный характер и опережает приложенное напряжение на угол 90^0 .

Так как подаваемое на генератор напряжение имеет синусоидальный характер $U = U_M \sin \omega t$, то ток изменяется по закону:

$$i = \frac{d(C_{общ}U)}{dt} = I_M \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (3.1)$$

Где $C_{общ}$ – общая ёмкость генератора в безразрядный период.

Мгновенные значения напряжений на барьере и промежутке изменяются по закону:

$$U_{\delta-n} = \frac{1}{C_{\delta-n}} \int i dt = U_{M\delta-n} \sin \omega t \quad (3.2)$$

Это соответствует векторной диаграмме (рис. 16) и хорошо согласуется с результатами, полученными Ю.В. Филипповым для данного периода [35].

Характер взаимного распределения токов и напряжения в зависимости от времени показан на рис. 15.

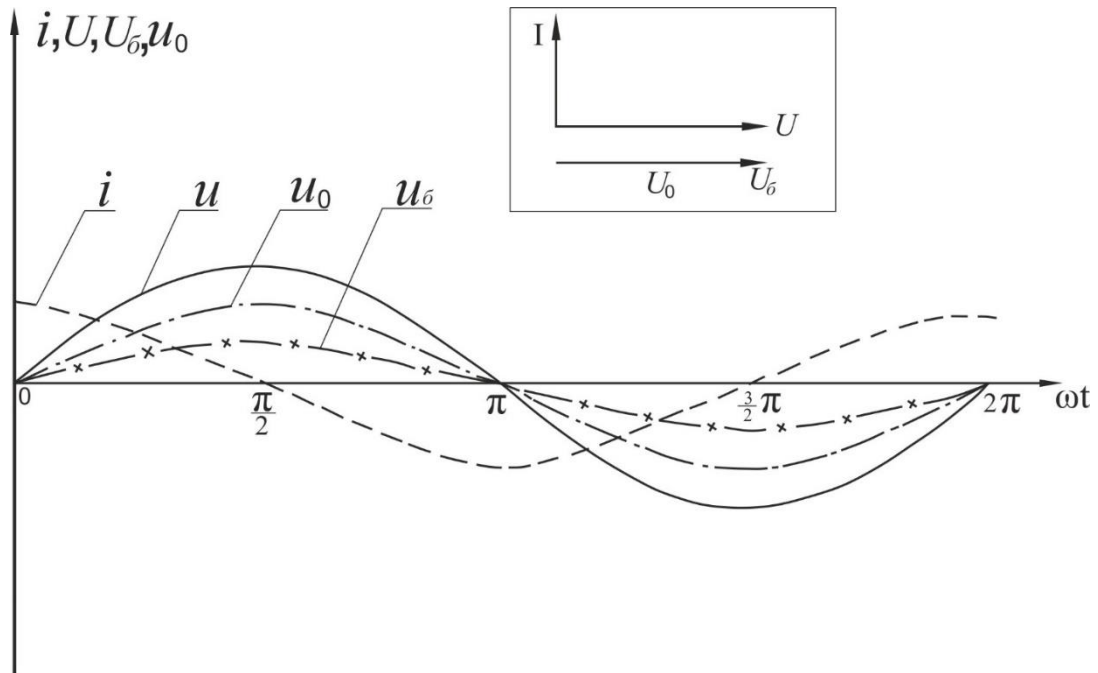


Рис.15 Взаимораспределение тока и напряжений при отсутствии разряда

u , u_6 , u_n - Совпадают по фазе и отличаются друг от друга по величине. Эти напряжения сдвинуты по отношению тока на угол 90° , который является током смещения.

Безразрядному периоду работы генератора озона соответствует график изменения мгновенной мощности, приведенный на рис.16.

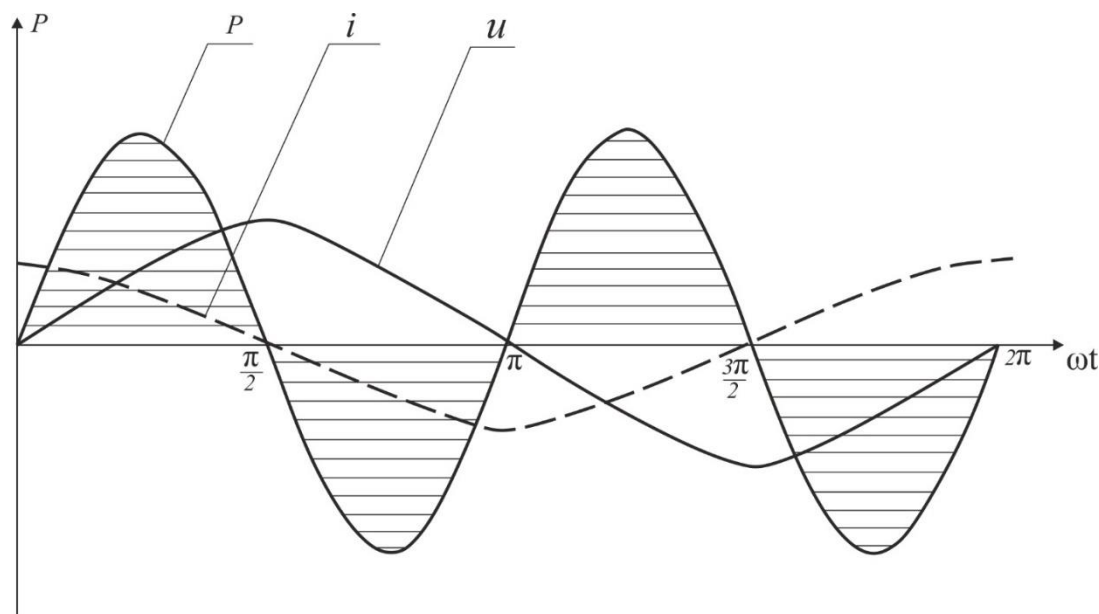


Рис.16 График изменения результирующей мощности при отсутствии разряда

Здесь при положительных значениях мощностей ёмкости потребляют электрическую энергию из сети, а при отрицательных – возвращают. Мгновенные мощности изменяются по синусоидальному закону с двойной частотой

$$P_{\delta-n} = U_{M\delta-n} I_M \sin 2\omega t \quad (3.3)$$

где $P_\delta \cdot P_n$ – соответственно мощности барьера и промежутка. Общая мощность потребляемой озонатором, равна ебляемой озонатором, равна $P=P_6+P_{n(c)}$ для разрядного периода уравнение баланса напряжений имеет вид:

$$U = U_n + \frac{1}{c_\delta} \int i dt$$

Величина тока при этом определяется по выражению:

$$i = \frac{U_M \sin(\omega t + \varphi)}{\sqrt{r_n^2 + (\frac{1}{\omega c_\delta})^2}} = I_M \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.4)$$

Величина U_{δ} в период разряда определяется по выражению:

$$U_{\delta} = \frac{1}{\omega C_{\delta}} I_M \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi\right) = V_{M\delta} \sin(\omega t - I) \quad (3.5)$$

Предполагая, что разряд протекает непрерывно, получим закон изменения падения напряжения на промежутке:

$$U_n = V_{Mn} \sin(\omega t + \alpha) \quad (3.6)$$

График напряжений и тока приведен на рис.17.

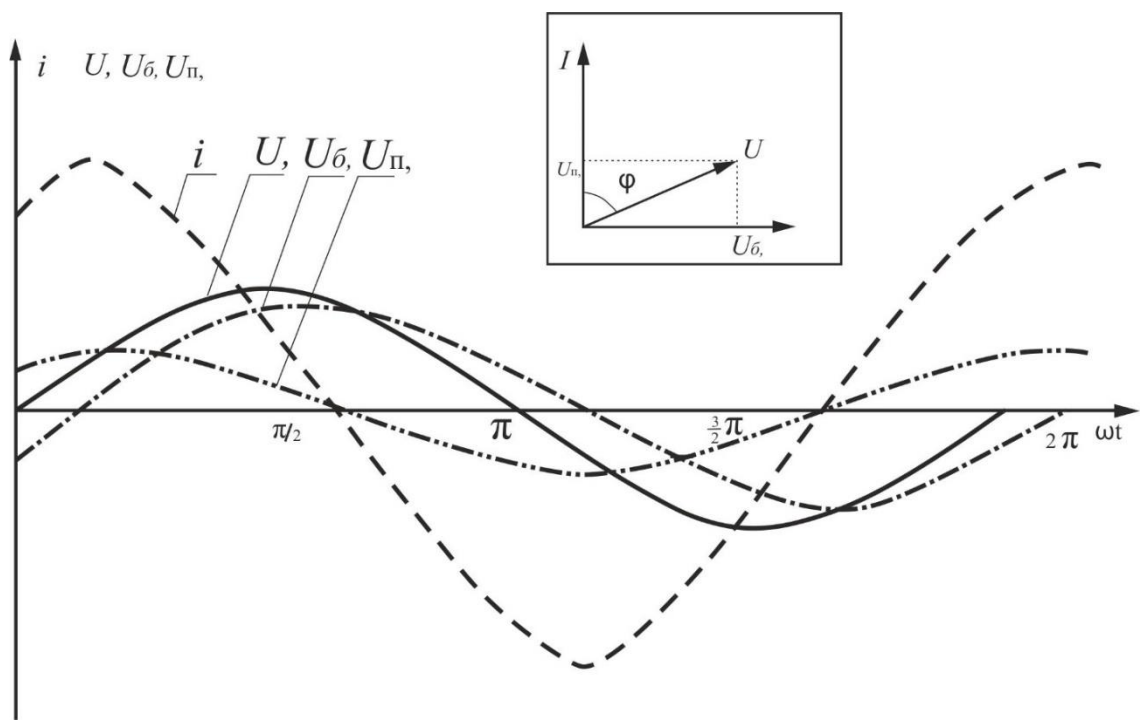


Рис.17 Взаиморасположение тока и напряжений при непрерывности разряда

Здесь активное сопротивление промежутка уменьшает сдвиг фаз между током и напряжением сети.

Общая мощность, потребляемая генератором озона при непрерывном разряде, равна

$$P - P_{\delta} + P_{n(r)} \quad (3.7)$$

Однако, из-за наличия сдвига фаз не вся мощность, указанная выше, потребляется озонатором.

Мощность, выделяемая в сопротивлении r_n

$$P_n = U_{ni} = V_{Mn} I_M \sin^2(\omega t + \varphi) \quad (3.8)$$

Для мощности, запасаемой в ёмкости барьера, имеем:

$$P_{\phi} = U_{\phi} I = V_{M\phi} I_M \sin 2 \omega t \quad (3.9)$$

В этом случае периоды потребления энергии из сети чередуются с периодами отдачи с удвоенной частотой. Общая мощность равна:

$$P = UI = VI(1 - \cos 2 \omega t) \cos \varphi + UI \sin 2 \omega t \sin \alpha \quad (3.10)$$

это U - напряжение

где $UI(1 - \cos 2 \omega t) \cos \varphi$ – активная составляющая

$UI \sin 2 \omega t \sin \varphi$ - реактивная (ёмкостная) составляющая

Анализ результирующего графика /рис.18/ показывает, что процесс потребления и распределения электроэнергии в генераторе озона имеет сложный характер.

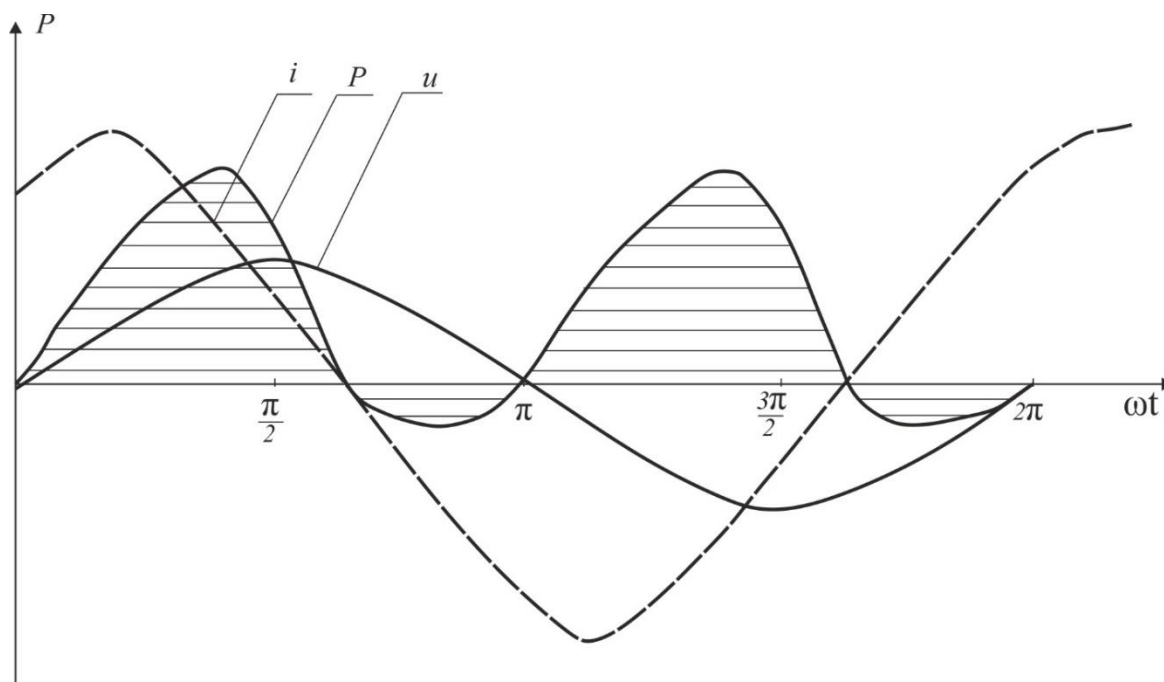


Рис. 18 График изменения мощностей при непрерывности разряда

В тех случаях, когда $|P_{\pi}| > |P_{\phi}|$ при $P_{\phi} < 0$ /интервал $\omega t_1 - \omega t_2$ / и $P_{\pi} > 0$ /интервал $\omega t_2 - \omega t_3$ / энергия потребляется из сети. А при условии $|P_{\phi}| > |P_{\pi}|$: $P_{\phi} < 0$ избыток энергии, накопленный озонатором, возвращается в сеть / интервалы $0 - \omega t_1$; $\omega t_3 - \omega t_4$.

В реальных озонаторах разрядный и безразрядный периоды чередуются, причем напряжение промежутка при разряде постоянное. Учитывая эту особенность получены результирующие графики взаимораспределения токов напряжений /рис.19/ и мощностей /рис.20/.

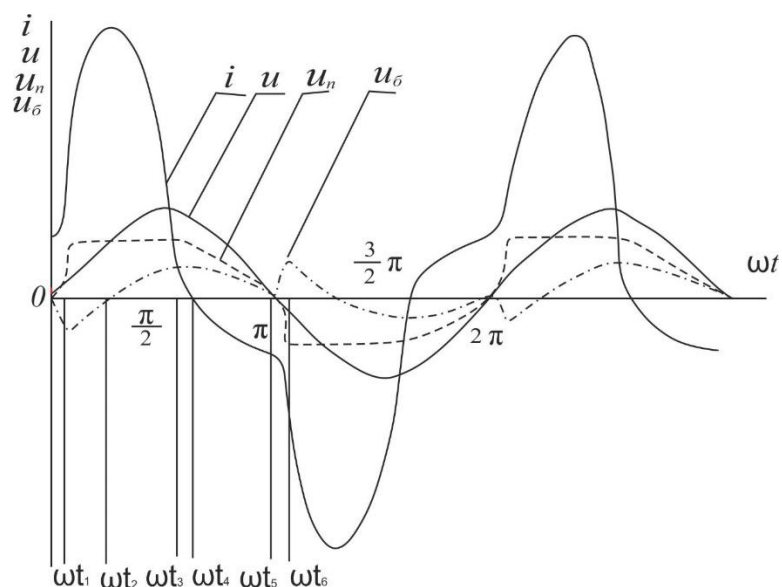


Рис.19 Динамика применения мгновенных значений тока и напряжений в генераторе озона

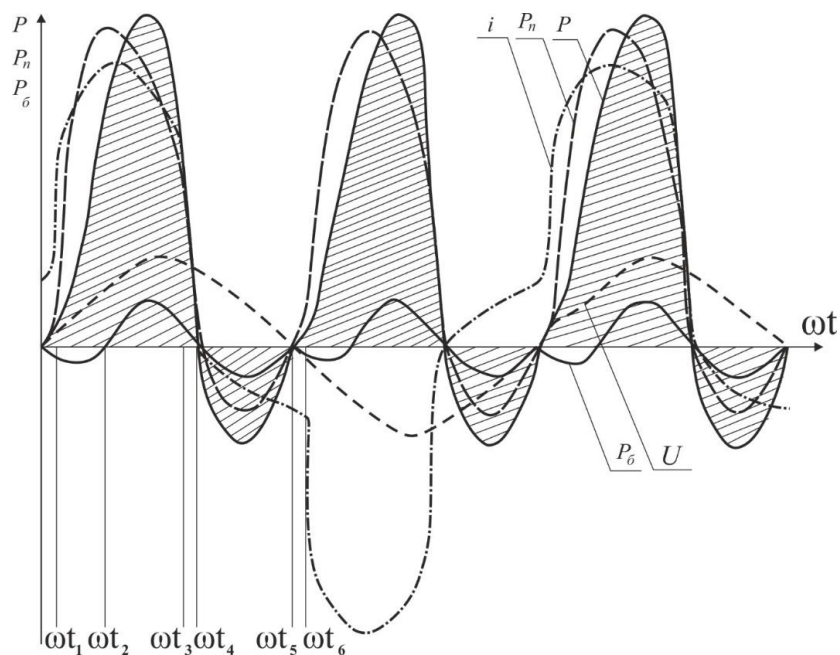


Рис.20 Динамика изменения мощностей в генераторе озона

При построении этих графиков было принято допущение, что напряжения пробоя, горения и гашения разряда равны.

Рассмотрение динамики процессов, происходящих в озонаторе проведем по интервалам. В интервале $\omega t_1 - \omega t_2$ при достижении напряжения промежутка величины напряжения горения /точка...../ начинается разряд. С учетом того, что падение напряжения на разрядном промежутке постоянно, напряжение на барьере можно выразить:

$$U_6 = U_M \sin \omega t - U_{\Pi} \quad (3.11)$$

Ток разряда описывается уравнением /3.4/. В этом интервале вследствие пробоя воздушного зазора имеет резкое увеличение потребляемой мощности разрядным промежутком $P_{\Pi} > 0$. Барьер служащий для ограничения тока разряда, возвращает в сеть / $P_6 < 0$ часть избыточной энергии, поступившей в разрядный промежуток.

В интервале $\omega t_2 - \omega t_3$ законы изменения I, U_{Π}, U_6 остаются прежними. Однако вследствие совпадения знаков I и U_6 (положительные) мощность $P_6 > 0$, поэтому диэлектрический барьер начинает аккумулировать электроэнергию. Итак, в интервале $\omega t_2 - \omega t_3$ разрядный промежуток и барьер потребляют энергию. В промежуточном интервале $\omega t_3 - \omega t_4$ в момент ωt_3 напряжение промежутка становится меньше напряжения горения и поэтому разряд должен гаснуть. Однако вследствие большой температуры в зоне разряда и соответственно большой кинетической энергии электронов, ток продолжает протекать. Назовем этот ток тепло инерционным. Теплопередача к стенкам зоны способствует быстрому уменьшению теплоинерционного тока. Влиянием движения воздуха в промежутке можно пренебречь, так как время протекания теплоинерционного тока гораздо меньше времени прохождения единицы объема воздуха через единицу длины разрядной зоны. При этом электроэнергия продолжает поступать из сети в зону и на барьер. В интервале $\omega t_4 - \omega t_5$ схема представляется двумя последовательно включенными емкостями C_{Π} и C_6 . Закон изменения тока смещения описывается формулой /3.1/ а напряжений на барьере и промежутке формулой /3.2/. Из этих уравнений следует, что U_6 и U_{Π} изменяются аналогично изменению напряжения сети. Так как $P_6 < 0$ и $P_{\Pi} < 0$, то энергия барьера и воздушного промежутка возвращается в сеть.

На практике генераторы озона работают от источников питания соизмеримой мощности, что приводит к соответствующим изменениям в энергетике процесса электросинтеза озона.

3.3 Исследование совместной работы генератора озона с источником питания.

Работа реального трансформатора характеризуется следующими системами уравнений

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 r_1 + jx_{11} \dot{I}_1 + jx_{22} \dot{I}_2 \\ -\dot{U}_2 &= \dot{I}_2 r_2 + jx_{22} \dot{I}_2 + jx_{12} \dot{I}_1 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Где X_{11} , X_{22} – полные собственные сопротивления первичной и вторичной обмоток;

X_{12} – полное взаимное сопротивление.

Записав систему уравнений /3-12/ в дифференциальной форме, имеем:

$$\begin{aligned} U_1 &= r_1 i_1 + L_{11} \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ U_2 &= -r_2 i_2 - L_{22} \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Так как падение напряжения на вторичной обмотке и ток короткого замыкания определяются долей σ от полного индуктивного сопротивления X_{22} , в схеме замещения /рис.21/ можно учитывать только индуктивные сопротивления рассеяния x_1 и x_2 /. Здесь σ – коэффициент электромагнитного рассеяния.

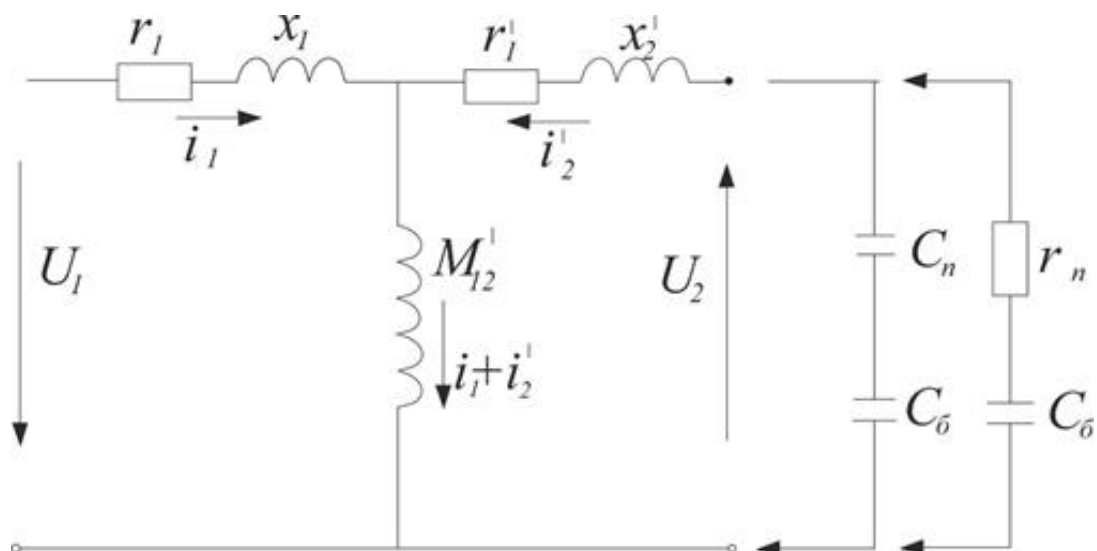


Рис.21 Схемы замещения трансформатора и генератора озона без учета магнитных потерь

Величины индуктивных сопротивлений рассеяния можно выразить

$$X_1 = \omega S_1, X_2 = \omega S_2$$

Где S_1, S_2 - соответственно индуктивности рассеяния первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Для исследования работы трансформатора с емкостной нагрузкой была использована методика А.И.Вольдека. После некоторых преобразований системы /3-13/ получены уравнения, характеризующие совместную работу трансформатора с генератором озона, (формулы /3.14/, /3.15/)

$$\begin{aligned} U_1 &= r_1 i_1 + S_1 \frac{di_1}{dt} + M_{12} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \right) \\ U'_2 &= -k^2 r_2 i'_2 + S'_2 \frac{di'_2}{dt} - M'_{12} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} U_1 &= r_1 i_1 + \frac{x_1}{\omega} \frac{di_1}{dt} + \frac{x'_{12}}{\omega} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di'_2}{dt} \right) \\ U'_2 &= -k^2 r_2 i'_2 - \frac{x'_2}{\omega} \frac{di'_2}{dt} - \frac{x'_{12}}{\omega} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di'_2}{dt} \right) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Так как рассматривается работа трансформатора с нагрузкой соизмеримой мощности, то необходимо учесть величину магнитных потерь. Обозначив ее активным сопротивлением r_M получим полное сопротивление цепи намагничивания.

$$Z_M = \sqrt{r_M^2 + X_{12}^2}$$

где $x_M = X_{12}^1 : r_M = X_{12}^1 / \Gamma_{MG}$

r_{MG} - фактическое сопротивление активных потерь равно:

$$r_{MG} = \frac{U_{12}^2}{P_{MG}} = \frac{E_1^2}{P_{MG}}$$

Где P_{MG} - потери в стали магнитопровода .

С учётом изложенного в системе (3-15) X'_{12} заменяем величиной полных потерь в магнитной системе Z_M

$$U_1 = r_1 i_1 + \frac{x_1}{\omega} \frac{di_1}{dt} + Z_M \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di'_2}{dt} \right) \quad (3-16)$$

$$U_2' = -k^2 r_2 i_2' - \frac{X_2'}{\omega} \frac{di_2'}{dt} - \frac{Z_m}{\omega} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2'}{dt} \right)$$

Системе (3-16) соответствует схема замещения, приведенная на рис. 22.

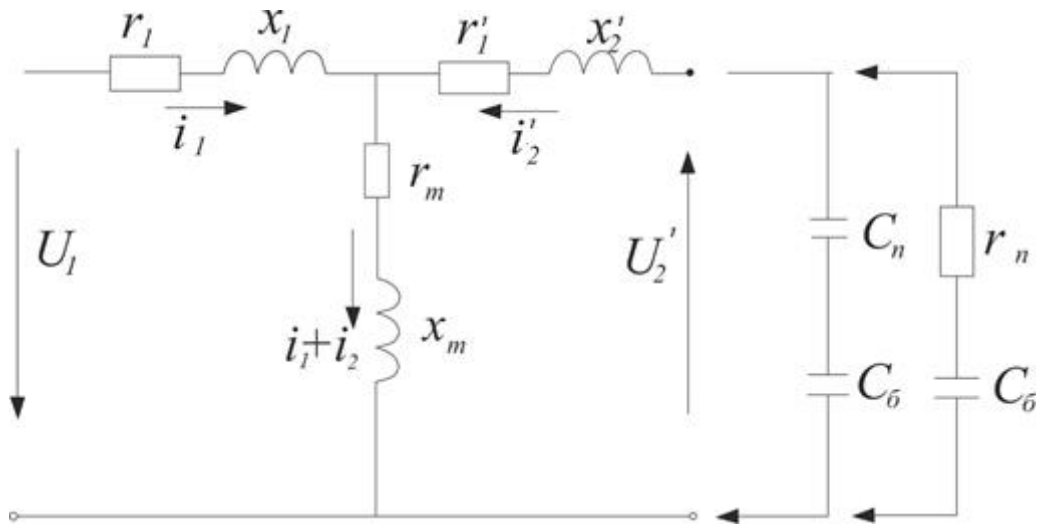


Рис.22 Схемы замещения трансформатора и генератора озона с учетом магнитных потерь

В доразрядный период напряжение на генераторе озона выражается формулой

$$U_2' = \left(1/C_{\text{общ}} \right) \int i_2' dt$$

а в разрядный
$$U_2' = \left(1/C_{\text{б}} \right) \int i_2' dt + i_2' r_{\text{п}}$$

Соответственно из /3-16/ для до разрядного периода имеем:

$$U_1 = r_1 i_1 + \frac{x_1}{\omega} \frac{di_1}{dt} + \frac{Z_m}{\omega} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2'}{dt} \right)$$

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} \int i_2' dt + i_2' r_{\text{п}} = -k^2 r_2 i_2' - \frac{x_2'}{\omega} \frac{di_2'}{dt} - \frac{Z_m}{\omega} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2'}{dt} \right) \quad (3-17)$$

Система трансформатор - озонатор в разрядном периоде описывается уравнениями:

$$U_1 = r_1 i_1 + \frac{x_1}{\omega} \frac{di_1}{dt} + \frac{Z_m}{\omega} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2'}{dt} \right)$$

(3-18)

$$\frac{1}{C_{\text{б}}} \int i_2' dt + i_2' r_{\text{п}} = -k^2 r_2 i_2' - \frac{x_2'}{\omega} \frac{di_2'}{dt} - \frac{Z_m}{\omega} \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2'}{dt} \right)$$

Для анализа несинусоидальный ток озонатора можно представить состоящим из двух синусоидальных интервалов. Поэтому решения систем /3-17/ и /3-18/ ищем в виде:

$$i_j = I_{mj} \sin(\omega t + \varphi_j) \quad (3-19)$$

Где I_{mj} φ_j - неизвестные величины

Уравнение /3-19/ можно представить

$$i_j = I_{mj} \sin \omega t * \cos \varphi_j + I_{mj} \cos \omega t \sin \varphi_j \quad (3.20)$$

Обозначив $I_{jk} = I_{jm} \cos \varphi_j$, $I_{jz} = I_{mj} \sin \varphi_j$ и подставив в формулу /3-19/ получим конкретные решения систем уравнений для первичной и вторичной обмотки трансформатора, работающего совместно с генератором озона

$$i_1 = I_{1I} \sin \omega t + I_{1II} \cos \omega t \quad (3-21)$$

$$i_2 = I'_{2I} \sin \omega t + I'_{2II} \cos \omega t \quad (3-22)$$

Для решения системы /3-17/ с учетом /3-21/ и /3-22/ используем метод гармонического баланса, смысл которого состоит в приравнивании коэффициентов при одинаковых тригонометрических функциях.

$$\begin{aligned} U_1 &= r_1 I_{1II} + \frac{(x_1 + Z_m)}{\omega} (-\omega I_{1II}) + \frac{Z_M}{\omega} (-I'_2 \omega) \\ 0 &= r_1 I_{1II} + \frac{(x_1 + Z_M)}{\omega} \omega I_{1II} + \frac{Z_M}{\omega} \omega I'_{2I} \\ \frac{1}{C_{\text{общ}}} \frac{I'_{2II}}{\omega} &= -K^2 r_2 I_{2I}^1 - \frac{(x'_2 + Z_M)}{\omega} (-\omega I'_{2II}) - \frac{Z_M}{\omega} (-\omega I_{1II}) \\ \frac{1}{C_{\text{общ}}} \frac{I'_{2I}}{\omega} &= -K^2 r_2 I'_{2II} - \frac{(x'_2 + Z_M)}{\omega} \omega I'_{2I} - \frac{Z_M}{\omega} \omega I_{1I} \end{aligned} \quad (3-23)$$

Введя обозначения

$$\begin{aligned} Z_0 &= (x_1 + Z_M); & r'_2 &= K r_2 \\ Z_{2\text{общ}} &= (x'_2 + Z_M - 1/\omega C_{\text{общ}}) \end{aligned}$$

И производя преобразования, перепишем систему уравнений /3-23/

$$r_1 * I_{1I} - Z_0 I_{1II} + 0 * I'_{2I} - Z_M I'_{2II} = u_1$$

$$\begin{aligned}
Z_0 * I_{1I} + r_1 I_{1II} + Z_M I'_{2I} + 0 I'_{2II} &= 0 \\
0 * I_{1I} + Z_M I_{1II} - r_2' I'_{2I} + Z_{2общ} I'_{2II} &= 0 \\
-Z_M I_{1I} + 0 * I_{1II} - Z_{2общ} I'_{2I} - r_2' I'_{2II} &= 0
\end{aligned}
\tag{3-24}$$

Главный определитель Δ систем и уравнений /3-24/ равен:

$$\Delta = \begin{vmatrix} r_1 & -Z_0 & 0 & -Z_M \\ Z_0 & r_1 & Z_M & 0 \\ 0 & Z_M & -r_2' & Z_{2общ} \\ -Z_M & 0 & -Z_{2общ} & -r_2' \end{vmatrix} = [(r_2')^2 + Z_{2общ}^2](r_1^2 + Z_0^2) + 2Z_M^2(r_1 r_2' - Z_0 Z_{2общ}) + Z_M^4$$

Подобным образом вычислим вспомогательные определители:

$$\begin{aligned}
\Delta_1 &= U_1 [r_1 (r_2')^2 + r_1 Z_{2общ}^2 + Z_M^2 r_2']; \\
\Delta_2 &= U_1 [Z_0 (r_2')^2 + Z_M^2 Z_{2общ} + Z_0 Z_{2общ}^2]; \\
\Delta_3 &= U_1 [-Z_0 Z_M r_2' - r_1 r_{2общ} Z_M]; \\
\Delta_4 &= U_1 [-Z_0 Z_M Z_{2общ} + r_1 r_2'^2 Z_M + Z_M^3];
\end{aligned}$$

Амплитуды составляющих гармоник токов равны:

$$\begin{aligned}
I_{1I} &= \frac{U_1}{\Delta} [r_1 (r_2'^2 + Z_{2общ}^2) + r_2' Z_M^2]; \\
I_{1II} &= \frac{U_1}{\Delta} [Z_0 (r_2'^2 + Z_{2общ}^2) - Z_{2общ} Z_M^2]; \\
I'_{2I} &= \frac{-U_1}{\Delta} [Z_M (Z_0 Z_{2общ} + r_1 Z_{2общ}^2)]; \\
I'_{2II} &= \frac{-U_1}{\Delta} [Z_M (Z_0 Z_{2общ} - r_1 r_2') - Z_M^3];
\end{aligned}$$

Учитывая, что

$$I_M = \sqrt{\frac{I_{1II}^2 + I_{1I}^2}{2}}$$

После некоторых преобразований получим:

$$I_{1M} = \frac{U_I}{D} \sqrt{\frac{1}{2}(r_2' + Z_{2o6\text{ш}}^2) \{ (r_2'^2 + Z_{2o6\text{ш}}^2)(r_1^2 + Z_0^2 + Z_M^2 [Z_M^2 + 2(r_2'r_1 - Z_0 Z_{2o6\text{ш}})]) \}} \quad (3-25)$$

Аналогично определим

$$I_{2M}^1 = \frac{U_I}{D} \sqrt{\frac{1}{2} + Z_{Mo6\text{ш}}^2 \{ (r_2'^2 + Z_{2o6\text{ш}}^2)(Z_1^2 + r_1^2 - Z_M^2 [Z_M^2 - 2(Z_1 - Z_0 Z_{2o6\text{ш}} - r_1 r_2')]) \}} \quad (3-26)$$

Сдвиги по фазам токов I_1 I_2' относительно напряжения U равны соответственно:

$$\varphi_1 = \text{arc tg} \frac{[Z_0(r_2' + Z_{2o6\text{ш}}^2) - Z_{2o6\text{ш}} Z_M^2]}{[r_1(r_2' + Z_{2o6\text{ш}}^2) + r_2' Z_M^2]} \quad (3-27)$$

$$\varphi_2' = \text{arc tg} \frac{[(Z_0 + Z_{2o6\text{ш}} - r_1 r_2') - Z_M^2]}{[Z_0 r_2' + r_1 Z_{2o6\text{ш}}]} \quad (3-28)$$

Решая аналогичным образом систему уравнений для разрядного периода /3-18/ имеем:

$$I_{1pM} = \frac{U_1}{D} \sqrt{\left[\frac{1}{2} (R_n^{12} + Z_{2\delta}^2) \{ (R_n^{12} + Z_{2\delta}^2)(r_1^2 + Z_0^2) + Z_M^2 [2r_1 R_n^1 - Z_0 Z_{2\delta} + Z_M^2] \} \right]} \quad (3-29)$$

$$I_{2pM}' = \frac{U_1}{D} \sqrt{\left[\frac{1}{2} (Z_M^2 \{ (r_1^2 + Z_0^2)(R_n'^2 + Z_{2\delta}^2) + Z_M [2(r_1 R_n' - Z_0 Z_{2\delta}) + Z_M^2] \} \right]} \quad (3-30)$$

$$\varphi_{1p} = \text{ark tg} \frac{Z_0 (R_n'^2 - Z_{2\delta}^2) - Z_M^2 Z_{2\delta}}{r_1 (R_n'^2 + Z_{2\delta}^2) + Z_M^2 R_n^1} \quad (3-31)$$

$$\varphi_{2p}' = \text{ark tg} \frac{(Z_0 Z_{2\delta}^2 - r_1 R_n') - Z_M^2}{Z_0 R_n^1 + r_1 Z_{2\delta}} \quad (3-32)$$

Где

$$R_n' = K^2 r_2 + r_n = r_2' + r_n$$

$$Z_{2\delta} = \left(x_2^1 + Z_M - 1/\omega_{c\delta} \right)$$

Полученные зависимости для токов и углов позволяют ценить энергетику процессов в до разрядный и разрядный периоды.

3.4 Улучшение энергетических характеристик электрических генераторов озона

При работе генератора озона представляющего собой активно емкостную нагрузку, время протекания тока увеличивается за счет ЭДС самоиндукции обмотки трансформатора.

На рис.23 показаны графики изменения токов и напряжений отдельно для доразрядного /23а/, разрядного /23б/ и фактического /23в/ режимов совместной работы трансформатора и генератора озона.

В доразрядном режиме вследствие уменьшения реактивного сопротивления цепи ($X_L - X_{c.общ}$) амплитуда тока увеличивается, а начальная фаза уменьшается по сравнению с работой от источника большой мощности. Увеличение тока способствует повышению падения напряжения на барьере и разрядном промежутке. В разрядном режиме имеют место аналогичные изменения амплитуды тока и начальной фазы.

Кривая фактического режима работы трансформатора с генератором озона имеет явно несинусоидальный характер (рис. 23в). Напряжение на промежутке при разряде остается неизменным. Это можно объяснить так: за счет уменьшения полного сопротивления цепи увеличивается величина тока, что должно привести к повышению напряжения на барьере и промежутке, но учитывая , что произойдет заполнение графика (т.е. увеличение интервала U_n) за счет накопленной энергии в индуктивности, напряжения промежутка остается постоянным, а избыток возросшего напряжения прикладывается к барьеру.

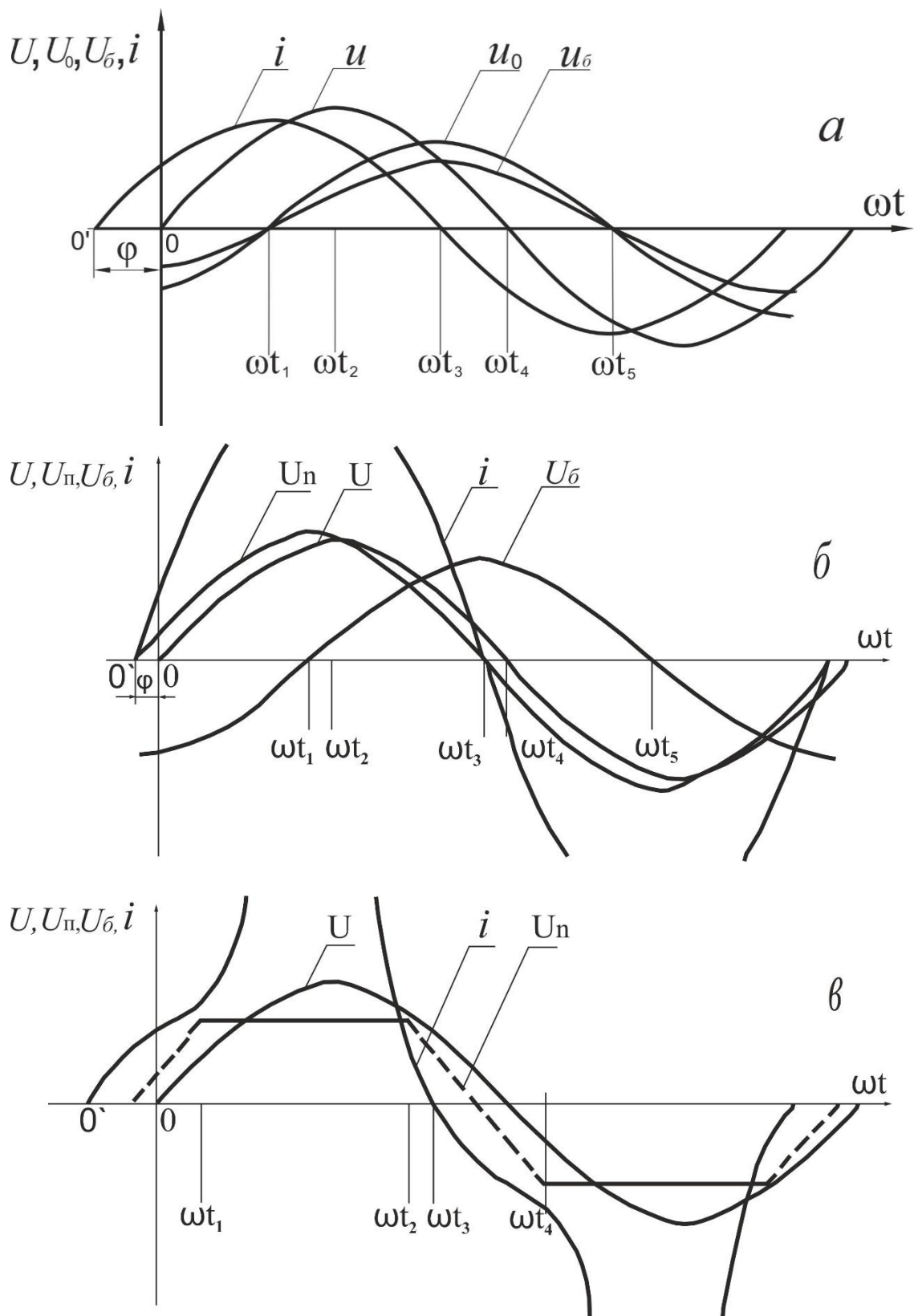


Рис.23 Графики изменения тока и напряжений для различных режимов совместной работы трансформатора и генератора озона

Таким образом, наличие индуктивности обмотки трансформатора способствует увеличению интервала прохождения тока разряда. При условии

неизменности полного периода это приводит к уменьшению безразрядного периода. Дальнейшее увеличение общей индуктивности должно еще более удлинять разрядный период и сокращать безразрядный. О целесообразности изменений в цепи питания генератора озона для улучшения формы кривой тока введением дополнительной индуктивности говорится в работе С.Е.Невского и других. Здесь предлагается использовать резонансный режим работы.

Проанализируем необходимость работы системы генератор озона трансформатор в резонансом режиме с целью получения непрерывного режима разряда. Повышение индуктивности в цепи питания генератора озона ведет к резонансному режиму. Как следует из рис.24 разряд возникает в момент ωt_1 при достижении определенной величины напряжения на барьере и пробой воздушного зазора.

$$U = U_m \sin \omega t_1 = U_n + U_\delta \quad (3.33)$$

В режиме резонанса напряжений $U_n + U_\delta$ поэтому

$$U_m \sin \omega t_1 = 2U$$

Отсюда

$$\omega t_1 = \arcsin \frac{2U_n}{U_m}$$

Учитывая неизменность напряжения промежутка в период разряда. момент погасания разряда в генераторе озона можно определить из условия.

$$\omega t_2 = \pi - \omega t_1$$

В режиме резонанса амплитуда тока возрастает с

$$I_m = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \text{ до } I_m^1 = \frac{U}{R^1}$$

где: R - суммарное активное сопротивление промежутка и вторичной обмотки трансформатора;

R^1 - то же с учетом дополнительной индуктивности.

Одновременно происходит повышения на барьере и промежутке

$$\frac{U}{U_{\delta-n}} = \frac{I_z}{Ix_{\delta-n}} = \frac{R}{x_{\delta-n}} \quad (3.34)$$

Но барьер - стеклянный диэлектрик, прочность которого ограничивается предельным напряжением пробоя. Поэтому для нормальной работы озонаторов в резонансном режиме необходимо выполнение условия:

$$U_{np.\delta} \geq U_{\delta} = U \frac{x_{\delta}}{R} \quad (3.35)$$

Однако учитывая $x_{\delta} > R$, можно утверждать, что в резонансном режиме пробой диэлектриков не исключается.

Кроме того как видим из рис.24, при резонансе прерывистый режим работы генератора озона сохраняется.

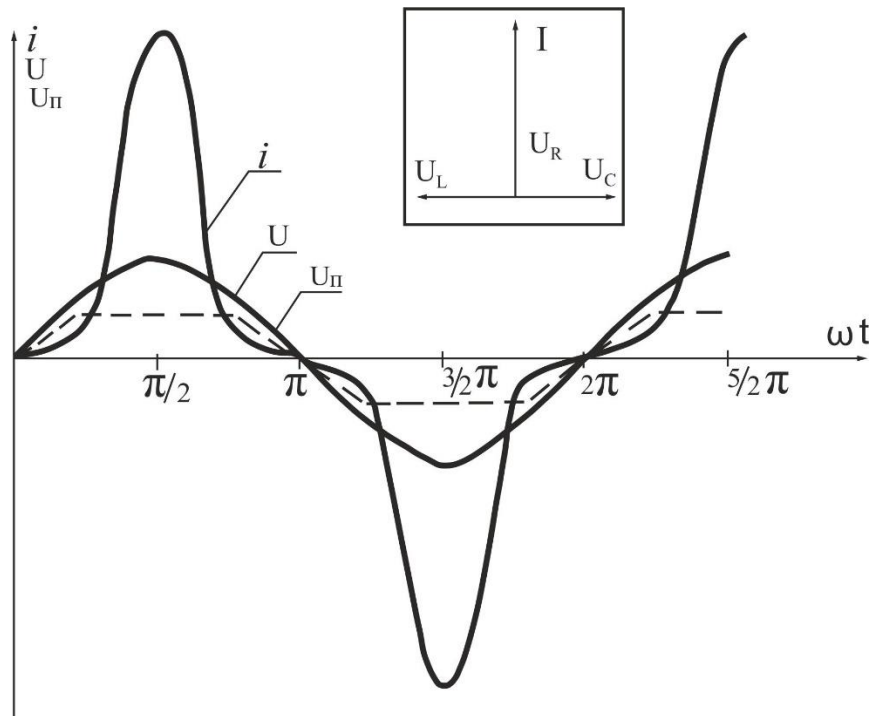


Рис.24 Режим резонанса напряжений в цепи питания генератора озона

Для получения непрерывного разряда необходимо (рис.25), чтобы в момент погасания тока разряда к озонатору прикладывалось напряжение большее напряжения горения разряда.

Очевидно, что это возможно только при существенном сдвиге фаз между током и приложенным напряжением. В данном режиме кривая тока опережает кривую напряжения на угол φ' , поэтому при уменьшении тока разряда до нуля, к промежутку уже оказывается приложенным напряжение,

необходимое для горения разряда. Индуктивность вторичной обмотки трансформатора способствует поддержанию тока разряда. Для получения требуемого сдвига фаз необходимо согласно векторной диаграммы (рис.25) изменять индуктивность или емкость цепи.

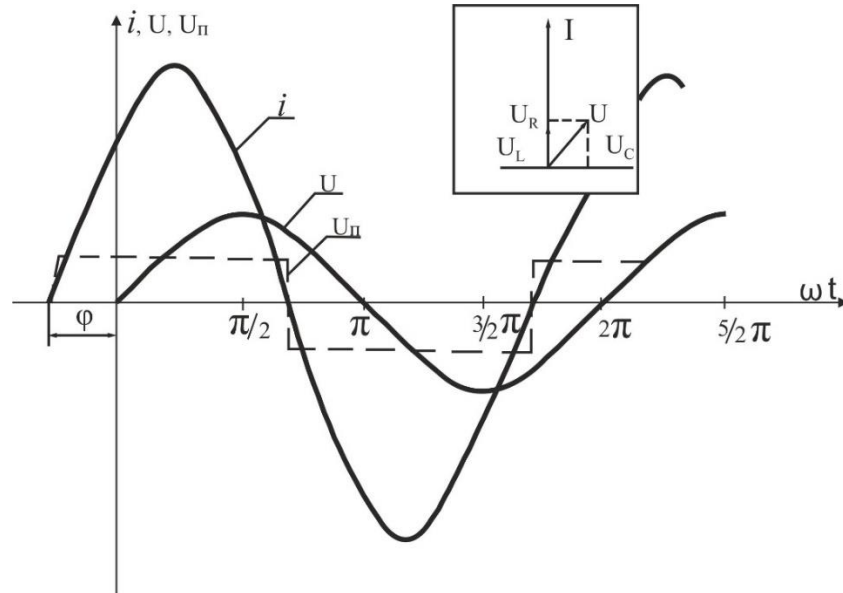


Рис.25 Режим непрерывного горения разряда в генераторе озоне

При этом угол сдвига, удовлетворяющий условию непрерывности разряда, определяется из следующих соображений. Для мгновенного перезажигания разряда при переходе тока через нуль и емкостном характере тока, необходимо соблюдение предельного условия:

$$|U_m \sin(-\varphi)| \geq |U_n| \quad (3.36)$$

где $U_m \sin(-\varphi)$ - напряжение источника, приложенное к генератору озона.

С учетом нечетности синусоидальной функции получим:

$$|-U_m \sin(\varphi)| \geq |U_n| \quad (3.37)$$

Принимая во внимание, что $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$ получим:

$$\cos \varphi \leq \sqrt{1 - \left(\frac{U_n}{U_m}\right)^2} \quad (3.38)$$

Из полученного условия следует, что определяющим параметром режима непрерывности разряда является отношение $\frac{U_n}{U_m}$, которое можно определить из вольт-амперной характеристики генератора озона. Полученные теоретические результаты подтверждаются осциллограммами работы генератора озона в режиме с бестоковыми паузами (рис.26) и режиме непрерывного разряда (рис.27).

Проведенный гармонический анализ показал, что втором варианте коэффициент искажения кривой тока повышается

$$\nu_2 = 0,98 > \nu_1 = 0,82$$

Это способствует росту коэффициента мощности озонаторов

$$\chi = \nu_i \cos \varphi^{\downarrow} \quad (3.39)$$

где $\nu_i = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2}}$ - коэффициент искажения

Предельное значение для коэффициента искажения $\nu = 1$ поэтому необходимо помнить, что чрезмерное увеличение угла сдвига может привести к снижению χ вследствие резкого уменьшения $\cos \varphi^{\downarrow}$.

Произведенная оценка производительности озонатора по выходу озона показала, что при условии непрерывного горения разряда выход озона увеличивается на 30-40 %. Так, например, в обычном режиме при напряжении 11,8 кВ и расходе воздуха 6 л/мин концентрация озона на выходе составляла 3,6 мг/л. В режиме непрерывного горения выход озона увеличился до 4,8 мг/л.

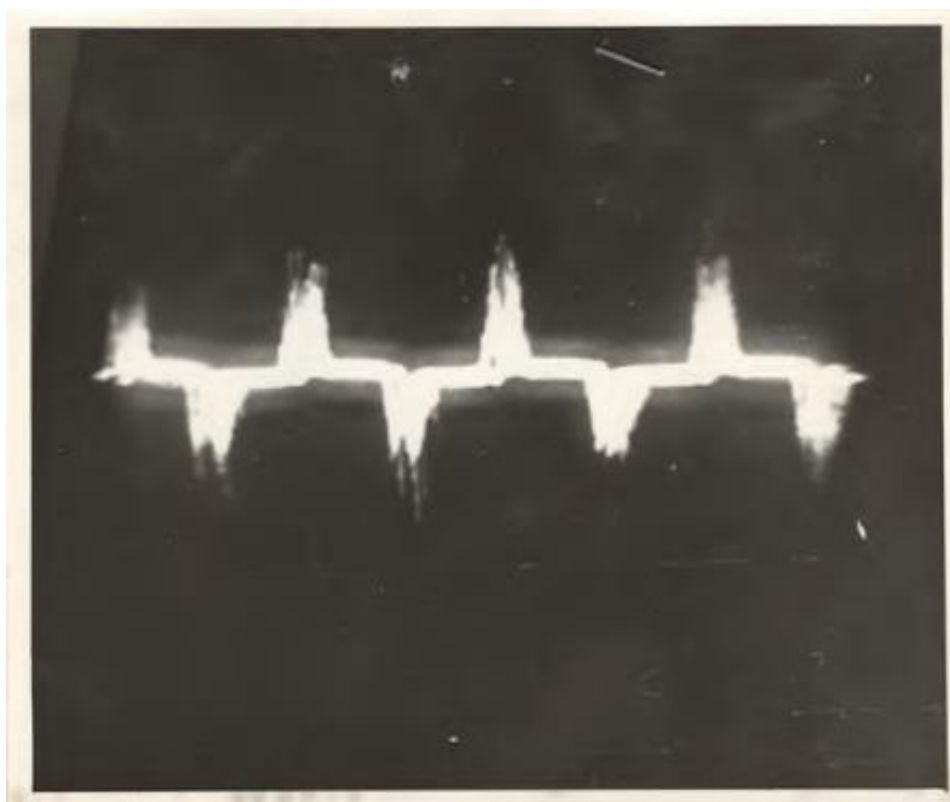


Рис.26 Осциллограмма работы генератора озона с бестоковыми паузами

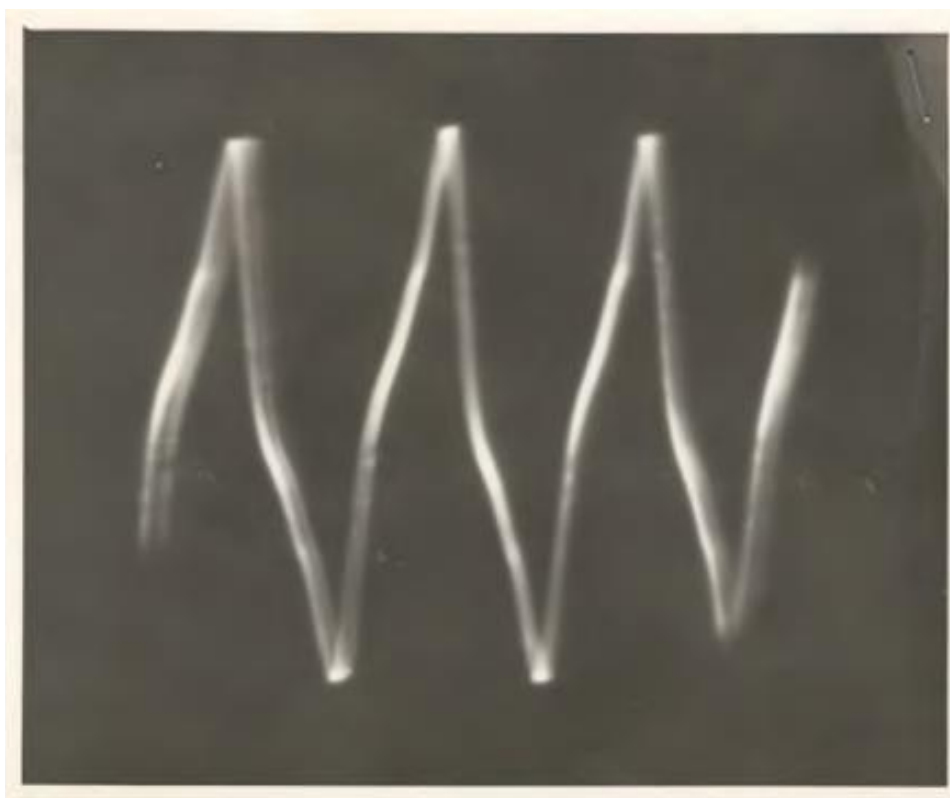


Рис.26 Осциллограмма тока генератора озона в режиме непрерывного разряда

ВЫВОДЫ

1. Предложена эквивалентная схема замещения генератора озона, представляющая разрядный период в виде последовательно соединенных емкости барьера и активного сопротивления промежутка и безразрядный - в виде последовательно соединенных емкостей барьера и не линейного активного сопротивления промежутка.
2. В результате анализа энергетических процессов получены кривые взаимораспределения токов и напряжений в генераторе озона.
3. Рассмотрена работа генератора озона с учетом индуктивности обмотки питающего трансформатора и получены зависимости, описывающей этот процесс.
4. Установлено, что для повышения производительности генераторов озона использованием режима непрерывного разряда угол сдвига между током и напряжением питания удовлетворять условию (3.38).

ГЛАВА IV. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА

4.1. Предварительные замечания.

Процесс обработки жидкой фракции свиного навоза озонированием длится определенное время, которое определяется физико-химическим и микробным состоянием стоков, а также параметрами озонаторной установки. Доза озона, необходимая для доочистки и обеззараживания, колеблется в интервале 150-200 г/м³, при этом удельные энергозатраты составляют 3,3-4,3 квт·ч/м³. Для свиноводческих комплексов с объемом стоков до 3000-4000 м³/сутки требуется большое количество озона, поэтому разработка методов снижения энергозатрат и повышения эффективности озонирования является актуальной.

Взаимодействие озона с органическими и бактериологическими загрязнителями обусловлено окислительным действием атома кислорода в молекуле озона или образованием молекулой озона с органическими веществами соединений – озонидов. Кроме того, реакция возможна вследствие каталитического действия кислорода, имеющегося в озон-воздушной смеси.

Для повышения эффективности процесса озонирования представляет интерес рассмотрение возможностей повышения окислительной способности озона. Взаимодействие озона в зоне реакции с кислородом, атомарным кислородом и перекисными соединениями ведет к образованию радикальных компонентов, окислительный потенциал которых выше потенциала озона.

Из теории электрохимической очистки сточных вод известно, что эти элементы являются побочным продуктом электролиза. Таким образом, комбинируя озонирование с обработкой электрическим полем, можно решить задачу повышения эффективности процесса.

При однократном смешивании озона и навозной жидкости количество непрореагировавшего озона может достигать 30-40%. Поэтому представляет интерес рассмотрение возможности рекуперации озона. Рекуперация озона при подготовке воды для коммунальных нужд не нашла широкого применения, так как при небольших дозах озона /5-10 мг/л/ она экономически не целесообразна. При озонировании жидкой фракции свиного навоза количество непрореагировавшего озона составляет значительную величину.

Настоящая глава посвящена решению этих задач.

4.2. Совместная обработка жидкой фракции электрическим полем и озоном.

При взаимодействии озона с органическими загрязнителями, имеющимися в жидком свином навозе, они окисляются и преобразуются в бесцветные нерастворимые соединения, которые выпадают в осадок. Кроме того, в начальный период, наблюдается интенсивная флотация, способствующая удалению части взвешенных и коллоидных частиц.

Воздействие электрическим полем на жидкую фракцию свиного навоза представляет собой сложный процесс, включающий комплекс электрофизических явлений. Электрообработка жидкой фракции производится после биологической очистки, поэтому обрабатываемая масса представляет собой устойчивую дисперсную среду. Устойчивость среды объясняется наличием двойного электрического слоя /ДЭС/ [33]. Двойной электрический слой возникает в результате адсорбции ионов на поверхности взвешенных частиц, которые в свою очередь притягивают ионы противоположного знака. Часть ионов внешнего слоя вследствие теплового движения молекул отрывается от ДЭС и создают некоторое «облако» ионов вокруг частицы /диффузионный слой/, концентрация которых убывает с удалением от поверхности частицы. Наличие ДЭС создает отталкивание между ионными оболочками заряженных частиц, что вызвано увеличением энергии поля в зоне перекрытия диффузионных слоев.

При наложении внешнего электрического поля происходит смещение диффузионных слоев и у частиц появляется заряд определенного знака. При этом появляются поляризационные силы, которые усиливают взаимное притяжение частиц. В результате появления поляризационной силы устойчивость жидкой фракции свиного навоза нарушается, взвешенные частицы укрупняются и под действием силы тяжести осаждаются. Одновременно на частицы действует кулоновская сила, способствующая осаждению частиц.

В процессе экспериментальных исследований по обработке жидкой фракции электрическим полем наблюдалось преимущественное осаждение взвешенных частиц у электродов. Этот факт говорит о том что в электрических полях с напряженностью до 30 В/см кулоновские силы намного значительней поляризационных.

Осаждение мелкодисперсных и коллоидных примесей в жидком навозе, как и в случае промышленных стоков, происходит вследствие того, что часть материалов электродов переходит в жидкий навоз и образует малорастворимые гидроксиды, которые адсорбируют на своей поверхности мелкодисперсные и коллоидные частицы. Образовавшиеся соединения выпадают в осадок [33].

Кроме того, в результате электролиза происходит флотация газовыми пузырьками загрязнителей, не выпавших в осадок. При наложении электрического поля на процесс озонирования интенсивность флотации практически не изменилась. Видимо, это объясняется тем, что продукты электролиза в барботажной камере взаимодействуют с озоном и образуют новые соединения, которые тратятся на окисление органических загрязнителей.

С учетом приведенных здесь обстоятельств эффективность работы системы комбинированной обработки озонированием и электрическим полем целесообразно оценивать количеством выпавшего осадка или количеством оставшихся в жидкости взвешенных веществ.

Таблица 9

Сравнительные данные по способам обработки.

Показатели электрического поля		Режим озонирования			Показатель очистки
Напряжение вольт	Плотность тока, А/м ²	Расход воздуха, л/мин	Концентрация озона, мг/л	Время обработки мин	Взвешенные вещества мг/л
Обработка в электрическом поле					
25	$0.024 \cdot 10^4$			5	320
25	$0.024 \cdot 10^4$	10	304	10	304
25	$0.024 \cdot 10^4$			15	292
50	$0.045 \cdot 10^4$			5	312
50	$0.045 \cdot 10^4$	10	288	10	288
50	$0.045 \cdot 10^4$			15	272
75	$0.068 \cdot 10^4$			5	276
75	$0.068 \cdot 10^4$			10	218
75	$0.068 \cdot 10^4$			15	184
Озонирование					
9,4		9,4	4,8	5	216
9,4		9,4	4,8	10	88
9,4		9,4	4,8	15	40
Озонирование в электрическом поле					
25	$0.024 \cdot 10^4$	9,4	4,8	5	198
25	$0.024 \cdot 10^4$	9,4	4,8	10	78
25	$0.024 \cdot 10^4$	9,4	4,8	15	30
50	$0.045 \cdot 10^4$	9,4	4,8	5	124
50	$0.045 \cdot 10^4$	9,4	4,8	10	56
50	$0.045 \cdot 10^4$	9,4	4,8	15	20
75	$0.068 \cdot 10^4$	9,4	4,8	5	116
75	$0.068 \cdot 10^4$	9,4	4,8	10	36
75	$0.068 \cdot 10^4$	9,4	4,8	15	12

Итак, сочетая такие преимущества способа озонирования как высокая степень окисления и электрокоагуляции, избирательность действия сил электрического поля на частицы, можно интенсифицировать процесс очистки свиноводческих стоков.

Исходя из этих теоретических предпосылок, экспериментально были исследованы режимы обработки жидкой фракции в электрическом поле, озонирования и озонирования в электрическом поле /табл.9/. При этом

изменялась величина напряжения, подаваемого на электроды, и время обработки при межэлектродном расстоянии 6 мм, давлении газа $0,4 \cdot 10^5$ Па и концентрация озона в озона-воздушной смеси 4,8 мг/л/рис.28/.

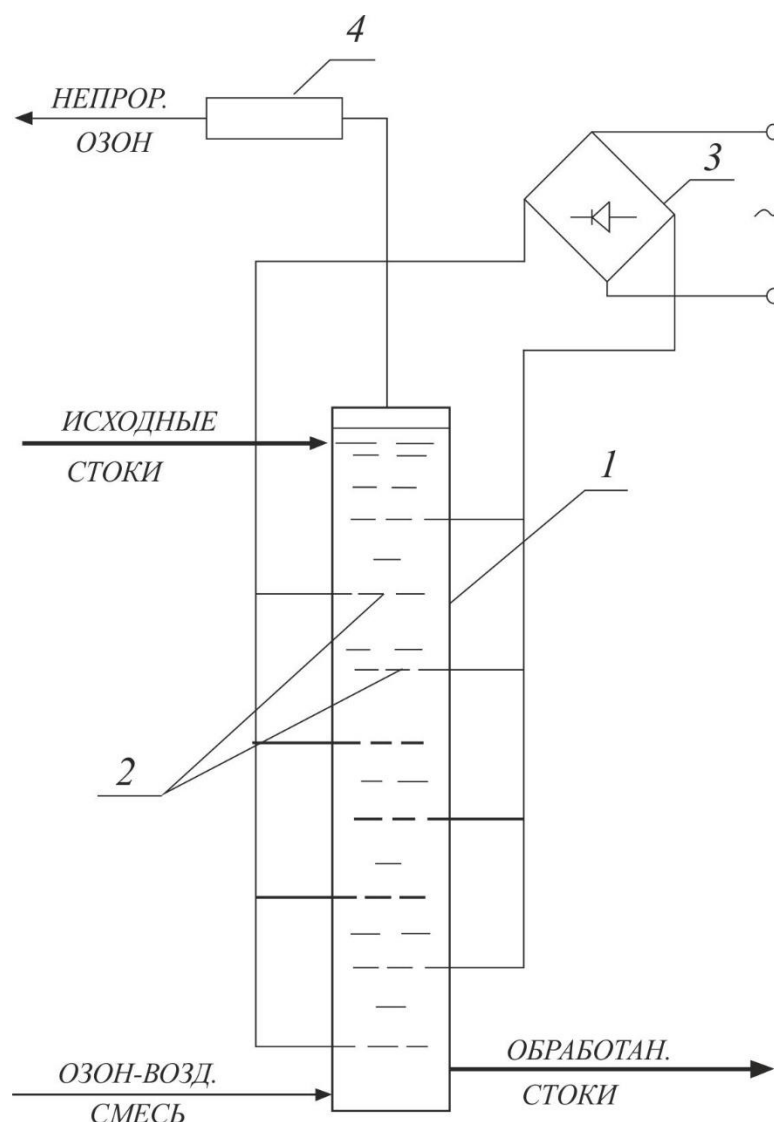


Рис 28. Принципиальная схема совместной обработки стоков электрическим полем и озоном

1-смесительная колонка; 2-электроды; 3-выпрямитель; 4-дегазатор.

Анализ результатов исследования /рис.29/ показывает, что электрическом поле /кривая 1/ при $J=0,045 \cdot 10^4$ А/м² не достигается необходимая степень очистки. Для получения удовлетворительных результатов необходимо увеличивать плотность тока, пропускаемого через

обрабатываемую жидкость, что в свою очередь, приводит к росту произвольных расходов электроэнергии на нагрев массы.

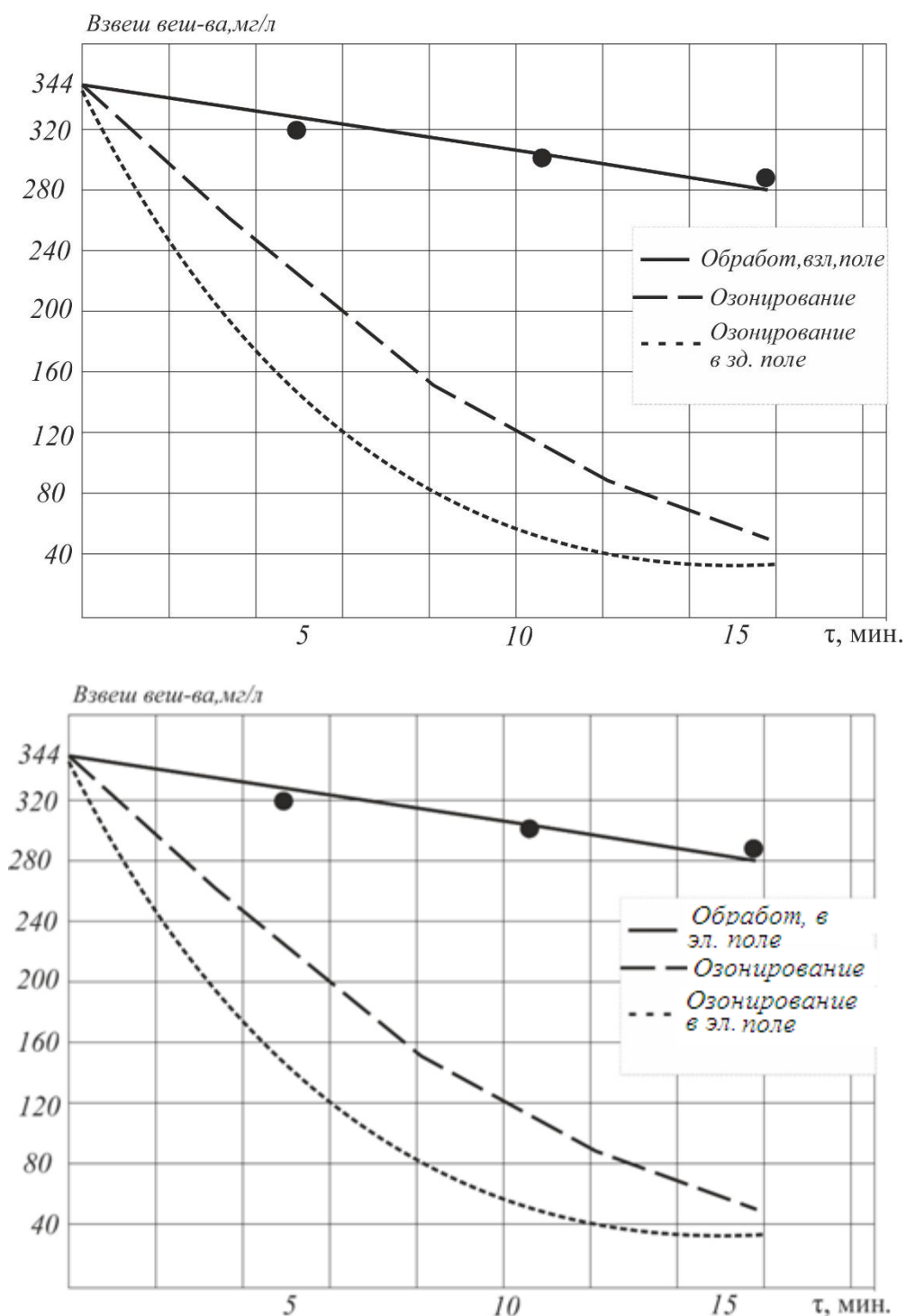


Рис 29. Обработка жидкой фракции навоза в различных режимах

Комбинированной обработке, также как и в случае озонирования, присущи этапы преобладающей очистки и доочистки. Однако, если при озонировании первый этап длится около 10 мин., то при совместной

обработке током и озоном он составляет 6 мин, т.е. имеется почти двухкратное снижение времени этапа преобладающей очистки, который при озонировании составляет 70% от всего времени обработки. Уменьшение общего времени обработки позволяет снизить расходы электроэнергии на обработку свиноводческих стоков озоном.

Для аналитического описания процесса комбинированной очистки используем формулы, представляющие отдельно процессы озонирования и электрокоагуляции.

Ранее нами была получена эмпирическая зависимость количества взвешенных веществ Y_1 от параметров озонаторной установки и исходного состояния стоков:

$$y_1 = 283,65 - 56,2x_1 - 18,37x_2 - 81,64x_4 + 34x_2 x_3$$

В натуральной форме данная формула представляется в виде:

$$m' = 283,65 - 56,2 t' - 18,37 \Delta u' - 81,64 P_p + 34 \Delta u' t' \quad /4-1/$$

где m' - количество взвешенных веществ в жидкости после озонирования, мг/л;

t' - время обработки, мин;

$\Delta u'$ - удельное напряжение, кв*мин/л;

P_p - Прозрачность, см;

В процессе электрокоагуляции определяющим фактором является напряженность поля, связанная с количеством выпадающего в осадок вещества зависимостью [100]:

$$O_c'' = \frac{q \cdot E \cdot C_0 \cdot S \cdot t''}{6 \cdot \pi \cdot \eta} \quad /4-2/$$

где q - величина заряда частицы, кулон;

E - напряженность поля, в/см;

C - начальная концентрация вещества, мг/л;

S - площадь электродов, м²;

η - вязкость жидкости;

α - радиус частицы, м;

Как следует на формулы /4-2/, увеличение напряженности электрического поля приводит к увеличению выпадения осадка, но при этом соответственно возрастают тепловые потери.

Для характеристики степени очистки электрокоагуляцией самой жидкости можно использовать формулу /4-2/, записав после некоторых преобразований ее в виде:

$$O_c'' = \frac{q \cdot E \cdot A \cdot S \cdot t''}{6 \cdot \pi \cdot V \cdot \eta \cdot \alpha} \quad |4-3|$$

где: А- абсолютное количество взвешенных веществ, содержащихся с стоках, мг;

V-объем обрабатываемой массы жидкости, л;

Количество оставшихся после электрообработки веществ определяется следующей зависимостью:

$$m'' = A - O_c'' = CV - \frac{q \cdot E \cdot S \cdot C_0 \cdot t''}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \alpha} \quad |4-4/$$

Принимая поле однородным, выразим значение напряженности через величину приложенного напряжения:

$$E = \frac{V''}{d}$$

где: V''-приложенное к электродам напряжение;

d- расстояние между электродами;

Тогда получим:

$$m'' = C_0 V - \frac{q \cdot V'' \cdot C_0 \cdot S \cdot t''}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot \alpha} \quad |4-5/$$

Количество взвешенных веществ, оставшихся в жидкости после комбинированной обработки током и озоном, равно:

$$m = A - (O_c' + O_c'') = m' + m'' - C_0 V \quad |4-6/$$

где: O_c' , O_c''—осадки, выпавшие соответственно в отдельных случаях озонирования и электрообработки.

После подстановки в формулу /4-6/ значений из /4-1/ и /4-5/ получим:

$$m = (283,65 - 56,2t' - 18,37k\Delta u' - 81,64\Pi_p + 34\Delta u' \tau') + (C_0 V - \frac{qU''SC_0t''}{6\pi\eta d\alpha}) - C_0 V \quad |4-7/$$

Где: K - параметр, учитывающий повышение окислительного потенциала озона в электрическом поле.

Выражение /4-7/ можно упростить, сделав преобразование и приняв допущение $t=t' =t$ " а постоянные величины обозначив через B

$$m = 283,65 - (56,2 + BV'')t + k(34\tau - 18.37)\Delta u' - 81.64\Pi_p \quad /4-8/$$

Итак, выражение /4-8/ описывает процесс озонирования жидкой фракции свиного навоза в электрическом поле. Особенностью этой формулы является наличие в ней коэффициента K , учитывающего повышение окислительного потенциала озона в электрическом поле.

Повышение окислительной способности озона в электрическом поле зависит от концентрации озона и плотности тока.

Для определения коэффициента K можно воспользоваться номограммой /рис.30/ составленной по результатам экспериментальных исследований.

Номограмма состоит из зон постоянной плотности тока и постоянной концентрации озона, а также зоны постоянной эффективности озона. В первой и второй зонах, зная величину концентрации озона /плотности тока/, можно определить при различных значениях плотности тока /концентрации озона / соответствующее значение коэффициента.

Интервалы колебания концентрации озона соответствуют условиям процесса озонирования, выявленным в результате исследований, проведенных ранее по методу математического планирования эксперимента.

Нижний уровень плотности тока $J_{\min}=0,024 \cdot 10^4$ а/м² получим из условия эффективности очистки, так как при меньших значениях плотности тока количество взвешенных веществ уменьшается незначительно. Верхний уровень $J_{\max}=0,068 \cdot 10^4$ а/м² ограничивается квадратичным ростом тепловых потерь.

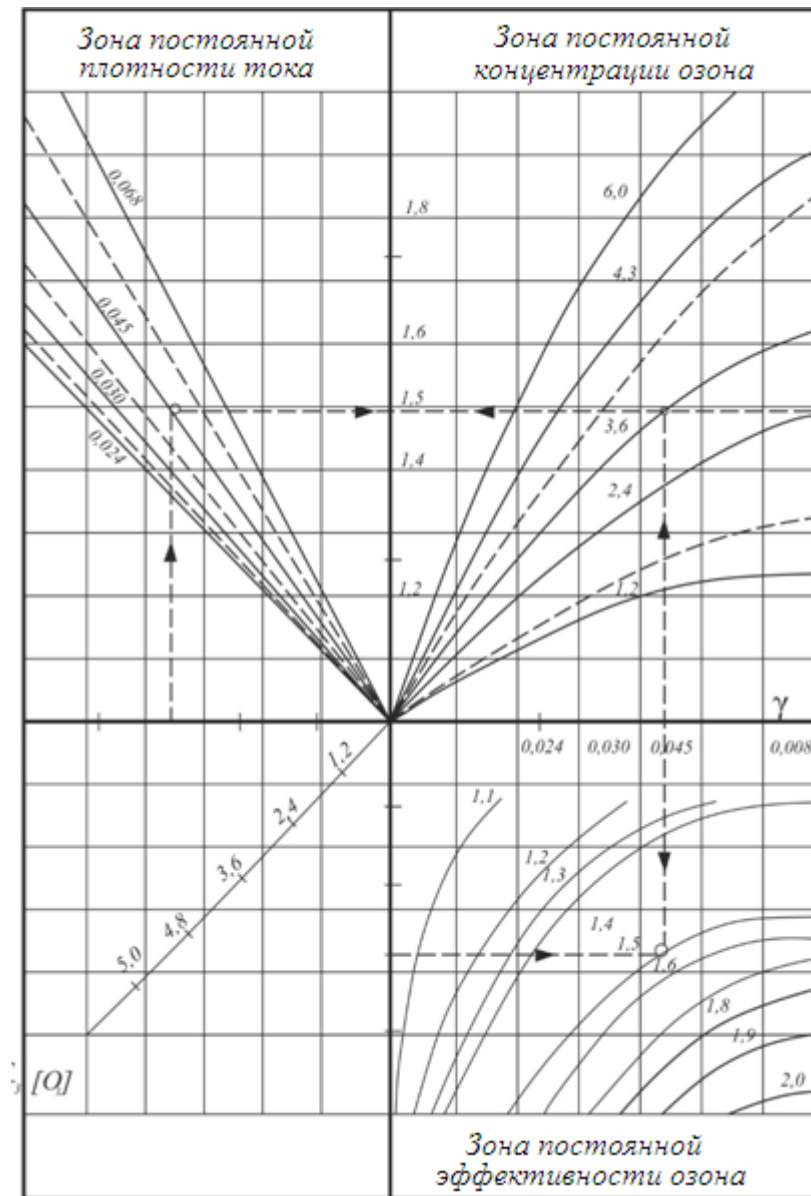


Рис 30. Определение степени повышения эффективности озонирования при совместной обработки

При одновременном изменении значений плотности тока и концентрации озона следует пользоваться зоной постоянной эффективности озона. Значение коэффициента K определяется путем интерполирования между величинами, указанным у ближайших кривых постоянных коэффициентов.

Для определения оптимальных режимов совместной обработки током и озоном воспользуемся графиком, изображенным на рисунке 31, где по оси абсцисс откладывается величина плотности тока Y , а по оси ординат — удельные расходы электроэнергии на озонирование W_{oz} и электрообработку

$W_{\text{эп}}$. Последние представлены для предельных исходных состояний жидкой фракции, характеризуемых прозрачностью $\Pi_{p1}=8$ см, $\Pi_{p2}=14$ см.

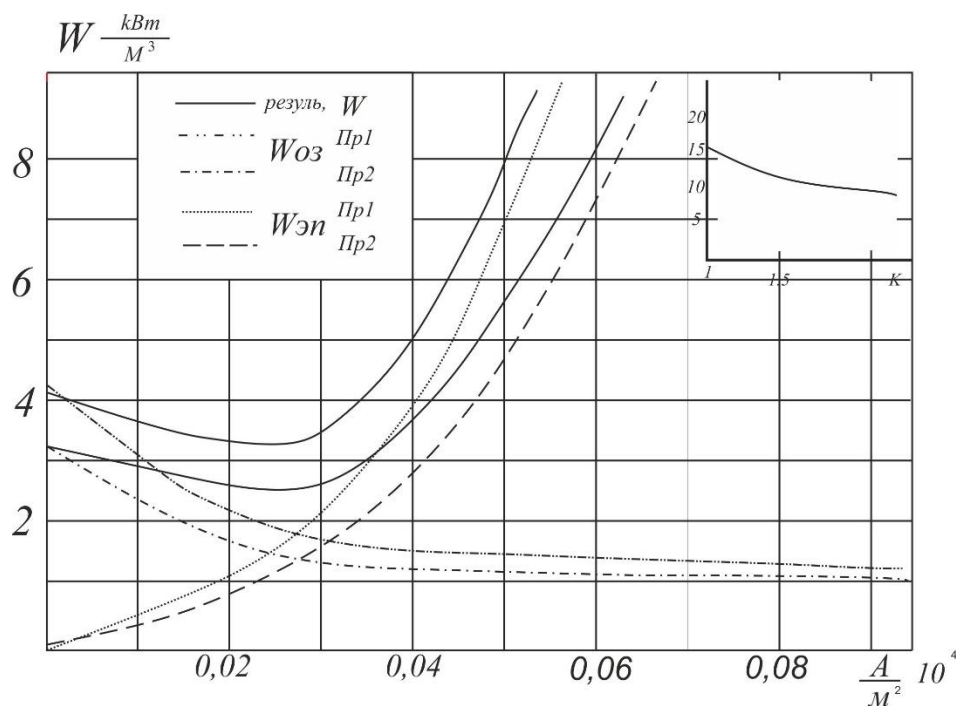


Рис 31. Определение оптимального режима совместной обработки

Из приведенных на рис.31 кривых следует, что при малых плотностях тока величина удельного расхода электроэнергии на озонирование значительная, с ростом плотности тока она начинает уменьшаться и в то же время удельный расход энергии на электрообработку возрастает.

Дальнейшее увеличение плотности тока приводит к резкому возрастанию $W_{\text{эп}}$, при этом удельный расход энергии на озонирование изменяется по линейному закону.

В итоге получены две результирующие кривые для каждой пары максимальных соотношений удельных расходов электроэнергии. Интервал между абсциссами экстремальных точек результирующих кривых соответствует оптимальным значениям плотности тока. Для производственных условий, с учетом вариаций состояния стоков, этот интервал можно принять равным $\gamma = / 0,025-0,030/ \cdot 10^4$ А/м². При этом общий удельный расход электроэнергии составляет 2,6-3,5 квт-ч/м³. Время комбинированной обработки, необходимое для достижения

удовлетворительных результатов, снижается по сравнению с озонированием на 1/3.

4.3 Исследование двухступенчатой обработки

озонов жидкого навоза.

Существенным недостатком рассмотренного способа озонирования является большой процент не прореагировавшего всего озона. В зависимости от способа смешивания озона с обрабатываемой жидкостью эта величина может колебаться от 8 до 40%.

Рассмотрим наиболее распространенные способы смешивания [73]. При барботаже в нижней части контактной камеры имеются керамические распылители, куда направляется под давлением озона - воздушная смесь. Навстречу противотоком подается обрабатываемая жидкая масса и в результате происходит смешивание озона - воздушная смесь. Навстречу противотоком подается обрабатываемая жидкая масса и в результате происходит смешивание озона-воздушной смеси. Потери озона в атмосферу составляют 10-40%. Дозу озона можно регулировать, изменяя концентрацию озона, скорость подачи газа или жидкости. При инжeksiровании сточная жидкость подается в инжектор под давлением до $7 \cdot 10^5$ Па, в результате чего в зоне сужения возникает вакуум, способствующий засасыванию озонированного воздуха и смешиванию его с жидкой массой. Потерь озона практически нет. Недостатком является малое время контакта озона с обрабатываемой жидкостью. Способы регулирования дозы озона те же, что и при барботаже.

Механический эмульгатор представляет собой полый перфорированный цилиндр-ротор, вращающийся в жидкости вокруг вертикальной оси. Электродвигатель располагается на верхнем перекрытии контактной камеры. Быстрое вращение создает в цилиндре вакуум, что обеспечивает непрерывное всасывание по трубке озонированного воздуха. Через отверстия в цилиндре озонированный воздух выходит в радиальных направлениях и смешивается с водой, обтекающей ротор. Этот способ

позволяет получить тонкодисперсную эмульсию и почти мгновенное растворение в воде. Регулировать дозу озона можно изменяя концентрацию озона и его расход.

Учитывая преимущества и недостатки каждого способа, нами была исследована возможность повторного использования не прореагировавшего озона /рекуперация/.

В литературе говорится о возможности повторного использования озона [47], но конкретные данные отсутствуют. Кроме того, учитывая специфику обрабатываемой массы, представляло интерес определение количество непрореагировавшего озона и выявление взаимных параметров системы обработки жидкой фракции навоза. На рис.32 показана принципиальная схема, по которой была исследована возможность рекуперации.

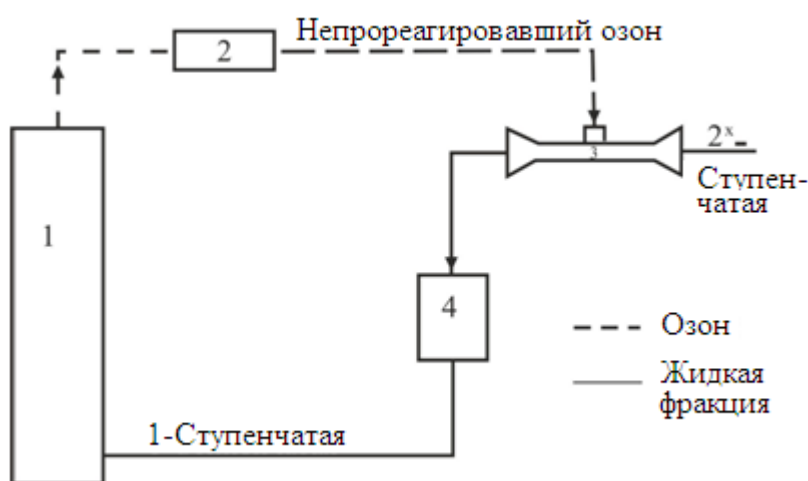


Рис 32. Принципиальная схема двухступенчатой обработки свиноводческих стоков:

- 1- барботажная колонка; 2- усреднитель; 3- инжектор;
- 4- промежуточный резервуар

Озоно-воздушную смесь подавали в барботажную камеру I под небольшим давлением /около $0,3 \cdot 10^5$ Па/, при этом учитывали потери давления в трубопроводах, блоках очистки и осушки воздуха. Сточную воду периодически обрабатывали в барботажных колонках, высотой 2 м.

Непрореагировавший озон отводился из верхней части колонки при помощи инжектора 3 / или механического эмульсатора/. Смешивание отсасываемого газа с жидкой фракцией навоза происходило в самом инжекторе вследствие разряжения, получающегося при прохождении жидкости через него со скоростью 4-5л/сек. В системе барботажная колонка механический эмульсатор газы смешивались с жидкой фракцией в самой камере. Скорость двигателя цилиндра-ротора составляла 2880 об/мин. Результаты занесены в таблицу 11.

Были исследованы следующие варианты смешивания озоно-воздушной смеси с обрабатываемой жидкой массой:

- барботирование /1-этап/;
- барботирование с инъекцией не прореагировавшего озона /этап 2А /:
- барботирование с эмульсацией не прореагировавшего озона /этап 2Б /:

Остаточный /непрореагировавший/ озон отводился с помощью инжектора /эмульсатора/ в специальные камеры смешивания /рис.33/. В каждом опыте контролировалась концентрация озона на входе и выходе из камеры смешивания

Использование озона на разных этапах смешивания с жидкой фракцией
навоза.

Доза Озона г/м ³	Концентрация озона, мг/л		% не прореагировавшего озона	% не прореагировавшего озона после двух этапов
	На входе	на выходе		
1 этап /барботаж/				
225,5	14,4*	5,5	39,3	
137,5	9,6*	4,1	42,7	
108,0	7,2*	2,8	38,8	
64,0	4,8	2,6	33,3	
37,5	3,6	1,2	32,3	
2А этап /инжекция/				
88,6	5,5	1,5	27,3	10,4
59,1	4,1	1,1	26,8	11,4
39,9	2,8	0,7	25,0	9,7
23,7	1,6	0,4	23,7	7,9
11,6	1,2	0,3	22,5	7,5
2 Б этап/эмульсация/				
88,6	5,5	1,3	23,6	9,0
59,1	4,1	0,9	23,0	9,8
39,9	2,8	0,6	22,5	8,7
23,7	1,6	0,3	20,0	6,7
11,6	1,2	0,2	16,7	5,5

Примечание: * - концентрации получены при работе 2-х генераторов озона.

Как следует из таблицы 10, наименьшие потери получается в системе барботаж – эмульсации. С увеличением дозы озона потери растут, однако при концентрации на входе 14,4 мг/л /1-й этап/ потери несколько снижаются. Это объясняется тем, что получение повышенных концентраций скорость воздуха снижается до порядка скорости адсорбции озона жидкой фракцией.

Обычно потери называются тем, что скорость подачи озона выше скорости адсорбции жидкостью.

Итак, использование в схеме обработки жидкой фракции озоном комбинированного смешивания позволяет повысить степень использования озона с 57-67 до 88,6-90,2%.

Сравним результаты очистки при одноступенчатой и двухступенчатой обработке сточных вод.

При одноступенчатой обработке сточные воды поступают в барботажную колонку непосредственно, а при двухступенчатой – после предварительной обработки малыми дозами озона в инжекторе и промежуточном резервуаре поступают на основную обработку в барботажную колонку.

Из таблицы 11 видно, что при прочих равных условиях показатели качества очистки почти одинаковы. Так например при одноступенчатой обработке дозой озона 140 г/м^3 и двухступенчатой 136 г/м^3 / общая доза/ получают соответственно: ХПК-187и 170: коли-титр - 7 и 4. Но в первом случае весь озон берется непосредственно из генератора, а во втором 8 г/м^3 общей дозы составляет не прореагировавший озон, поступающий в инжектор из барботажной колонки.

Применение двухступенчатой обработки позволяет использовать непрореагировавший озон и снизить его дозу, расходуемую в барботажной колонке. При этом, как следует из таблицы 12, основная доза озона уменьшается в среднем на 10-20%.

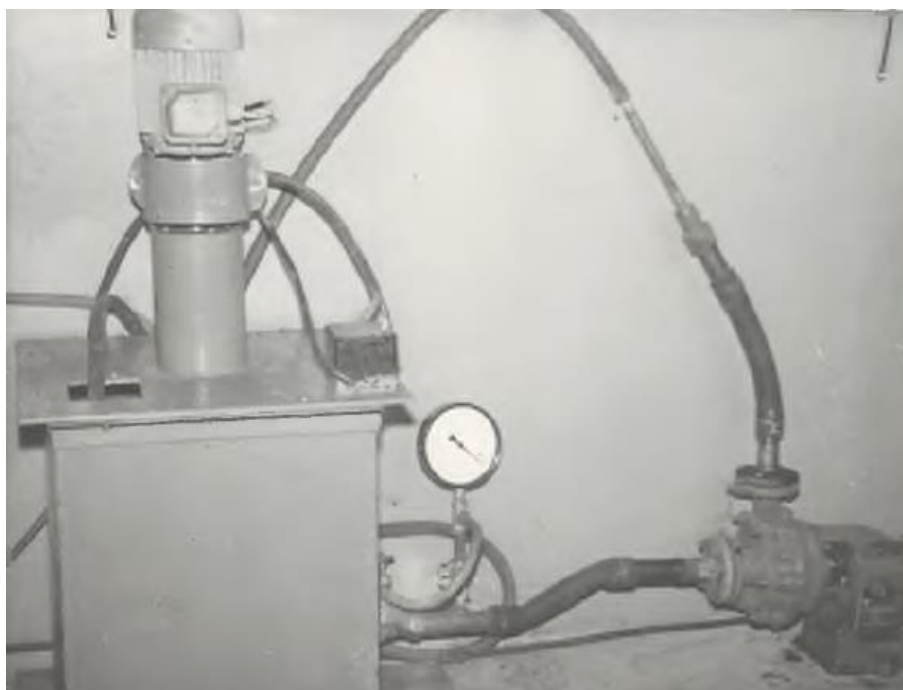


Рис. 33. Установка предварительного смешивание озона с жидкой фракцией.
1-инжектор, 2-механический эмульсатор

Таблица 11

Сравнительная оценка способов обработки
свиноводческих стоков озонированием.

Одноступенчатая обработка			Двухступенчатая обработка					
			1 степень /инжекция			2 степень /барботаж		
Доза озона г/м ³	ХПК мг О ₂ /л	Коли титр	Доза озона г/м ³	ХПК мг О ₂ /л	коли титр	Доза озона г/м ³	ХПК мг О ₂ /л	коли титр
155	$\frac{192}{102}$	$\frac{0.1}{11}$	11.0	$\frac{192}{173}$	$\frac{0.1}{0.1}$	137	$\frac{173}{112}$	$\frac{0.1}{7}$
144	$\frac{260}{170}$	$\frac{0.0100}{1.5}$	12.3	$\frac{260}{223}$	$\frac{0.0100}{0.01111}$	120	$\frac{223}{160}$	$\frac{0.0111}{4}$
138	$\frac{320}{204}$	$\frac{0.0043}{1}$	10.4	$\frac{320}{297}$	$\frac{0.0043}{0.0400}$	109	$\frac{297}{192}$	$\frac{0.0400}{1.5}$
140	$\frac{271}{187}$	$\frac{0.0400}{7}$	8.0	$\frac{271}{229}$	$\frac{0.0400}{0.0400}$	128	$\frac{229}{170}$	$\frac{0.0400}{4.}$

Примечание : в числителе- данные стоков до обработки озоном, в
знаменателе –обработки.

ВЫВОДЫ.

1. Рассмотрен процесс комбинированной обработки жидкой фракции свиного навоза электрическим полем и озоном. Получено уравнение, описывающее этот процесс.

2. Установлено, что при совместном воздействии электрическим полем и озоном качество доочистки повышается. Для оценки степени повышения эффективности озонирования при наложении электрического поля предложена номограмма.

3. Использование озона и электрического поля снижает удельные расходы электроэнергии на обработку стоков до норм рециркуляции с 3,3-4,3 кВт-ч/м³ до 2,6-3,5 кВт-ч/м³.

4. Применение рекуперации уменьшает количество непрореагировавшего озона с 30-40% до 10-15%. При этом использование двухступенчатой обработки позволяет снизить основную дозу озона в среднем на 10-20%.

Общие выводы и предложения

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено:

1. Действующие в настоящее время технологические линии очистки животноводческих стоков не полностью решают задачи очистки и обеззараживания жидкого навоза. При этом возникает необходимость в дополнительной очистке и обеззараживании. Проведенный анализ возможных методов позволил установить, что наиболее целесообразным является применение озонирования, позволяющие одновременно доочищать и дезодорировать обрабатываемые стоки.

2. Экспериментально установлено, что наиболее рационально применять озонирование после биологической очистки. Оценка эффективности обработки озоном по БПК₅ на разных этапах технологической линии очистки показывает, что снижение данного критерия составляет перед центрифугой и после разделения на фракции – около 40%, после 2-х часового отстаивания – более 60% и после биологической очистки – более 70%.

3. Определен вид математической модели, связывающей параметры процесса озонирования и жидкой фракции навоза с химическими и бактериологическими показателями качества обработки. Экспериментально установлено, что для обработки озонированием стоков животноводческих ферм и комплексов с санитарно-бактериологическими показателями, характерными для существующих линий очистки, необходимая доза озона составляет 150-200 г/м при длительности воздействия 15-20 мин. При этом последующее применение песчаных фильтров позволяет довести состояние стоков до уровня, удовлетворяющего требованиям на рециркуляцию для вторичного использования при смыве навоза.

4. Для наиболее полного представления энергетических процессов, происходящих в генераторе озона, предлагается схему замещения в разрядном периоде представлять в виде последовательно соединенных активного сопротивления промежутка и емкости барьера, а в без разрядном – в виде последовательно соединенных емкостей барьера и промежутка.

5. Рассмотрена совместна работа генератора озона с питающим трансформатором и получены зависимости, описывающие ее. Установлена возможность повышения производительности генераторов озона использованием режима непрерывного разряда. Такой режим обеспечивается за счет реактивной питающей цепи при угле сдвига между током и

напряжением, обеспечивающим в момент перехода тока через нуль напряжение на промежутке большое, чем напряжение зажигания.

6. Определены области оптимальных плотностей тока, при которых удельный расход электроэнергии на совместную обработку снижается с 3,3-4,3 квт-ч/м до – квт/ч при достижении одинакового эффекта доочистки и обеззараживания, удовлетворяющего требованиям на рециркуляцию.

7. Применение рекуперации уменьшает количество непрореагировавшего озона с 30-40% до 10-15%. При этом использование двухступенчатой обработки позволяет снизить основную дозу озона в среднем на 10-20%.

Литература

1. Mirziyoyev Sh. PF-4947-son. “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”. Prezident Farmoni. – Toshkent, 2017 yil 7 fevral.
2. Дмитриева В.И., Никитин В.А., Поленина В.А. Использование стоков животноводческих комплексов. –М.: Агропромиздат, 2007. -64 с.
3. Бацанов И.И., Лукьяненок И.И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах . –М.: Агропромиздат, 2010. -160 с.
4. Поляков А.А. Ветеринарная санитария. –М.: Агропромиздат, 2008.-232 с.
5. Крупные животноводческие комплексы и окружающая среда. Под ред. Никитина Д.П. – М.: Медицина, 2000. – 256 с.
6. Кокурин В.А. Исследование условий обеззараживания сточных вод микробиологического объёма: Автореф. Дисс. ... канд. Биол. Наук. –М., 2005. -16 с.
7. Матов Б.М., Романчук И.В. Очистка сточных вод мяскомбинатов –М., 1971. -44 с.
8. Возная Н.Ф. Химия воды и микробиология. – М.: Высшая школа, 2009. - 342 с.
9. Кожинов В.Ф., Кожинов И.В. Озонирование воды.–М.: Стройиздат, 1973. -160 с.
10. Вотоотведение сточных вод Яковлев С.В., Каремин Я.А., Ласков Ю.М. – М.: Стройиздат, -2006, 586 с.
11. Загорский В.А. Методы обеззараживания сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника – 2000 -№2, с. 2-5.
12. Кароткое Г.П. Малогабаритная установка для дезинфекции воды. Вестник ВНИИЖТ-2000-№3-с. 46-47
13. Кузнецова Т.В., Пальчунов Н.Н. Озонирование сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника- 1997 -№2-с. 12-15
14. Пуассон А., Чепурнов А.В. Озонаторная фирмы «Озония». Водоснабжение и санитарная техника – 2000 -№1, с. 29-32.
15. Найденко В.В., Васильев Л.А. Озонаторные модули Водоснабжение и санитарная техника – 2002 -№10, с. 12-14.
16. Медведев Г.П., Трухин Ю.А., Евельсон Е.А. Технологические исследование по обеззараживанию озонем природных и сточных вод в г. Санкт-Петербурге. Водоснабжение и санитарная техника – 2000 -№10 с. 11-13
17. Козлов М.Н., Филимонова Е.В. Озонофлотация сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника – 2001 -№2, с. 15-16.

18. Волков С.В., Костюченко С.В. Технологические аспекты обеззараживания воды УФ-облучением. Водоснабжение и санитарная техника – 2001 -№2-с. 20-25
19. Мнухин А.Г. Брюханов А.М. Обеззараживание поверхностных и сточных вод с помощью электрогидравлического воздействия. Водоснабжение и санитарная техника – 2002 -№11-с. 18-19
20. Душкин С.С. Улучшение технологии очистки природных и сточных вод – Харьков –Высшая школа -2008 г. -168 с.
21. Найденко В.В., Кулакова А.П., Оптимизация процессов очистки природных и сточных вод – Москва – Стройиздат – 2004 -280 с.
22. Аугамбаев М., Иванов А., Терехов Ю. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента: Учебное пособие.- Ташкент.: Укитувчи, 2007.- 336 с.
23. Бойко Н.И., Бодина Н.Н., Михайлов В.М. Моделирование воздействия электрического поля на объекты, имеющие многослойную структуру. // Электронное моделирование. 2002. Т. 24. № 1. С. 70-82.
24. Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. - СПб.: Питер, 2001. - 656с.
25. Стоноженко Л.В., Югов А.Н., Карминов В.Н. Применение MS Excel и Statistica for Windows для лесотаксационных вычислений и обработки экспериментальных данных методами математической статистики: учеб. пособие. – М. : ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – 88 с.
26. Samoylovich V G 2012 Summary of scientific reports at the 20th World Congress of the International Ozone Association (Paris, 2011) All-Russian seminar Ozone and other environmentally friendly oxidizing agents.Science and Technology (Moscow:MSU) pp 23-40
27. Gordeenya E A, Puresev N I, Tarasov Yu V and Yu A Nazarov 2012 On the conditions for the efficient production of high ozone concentrations in ozonizers with a barrier discharge All-Russian seminar Ozone and other environmentally friendly oxidizing agents.Science and Technology (Moscow:MSU) pp 41-58
28. Normov D A and Fedorenko E A 2009 Electrozonal technologies in agricultural production IV Intern.Scient.and Pract.Conf. “Agricultural Science to Agriculture ASAU”(Barnaul) pp 137-9
29. Ksenz N V 1991 Electrozonning of the air of livestock buildings VNIPTIMESH (Zernograd)
30. Fedorenko E A 2010 Improving the safety of eggplant with the use of ozonation Abstract of thesis of the candidate of techn.schience KSAU (Kuban)

31. Krivopishin I P 1979 Ozone in industrial poultry farming (Moscow: Rosselkhozizdat)
32. Korotkoe G P 2000 Small ozonizer for water disinfection Bull.of VNIIZHT pp 46-47
33. Dolina L F 2003 New methods and equipment for wastewater and natural water treatment (Dnepropetrovsk: Contingent)
34. Radjabov A, Ibragimov M and Berdishev A S 2017 Scientific and methodological basis for improving the energy efficiency of agricultural production processes (Tashkent:TIMI) p 272
35. Filippov Yu V, Voblikova V A and Pantellev V I 1987 Ozone synthesis (Moscow: MSU) p 237
36. Nevsky S E 1998 The effect of the inductance of the power source on the electrical characteristics of the ozonizer Electrical engineering and electric power industry (Moscow) pp 60-2
37. Первая Всесоюзная межвузовская конференция по озону/ 10-14 мая 1960 г./: Тез. Докл./Моск. Гос. УН-т им. М.В.Ломоносова. –М.: МГУ, 1960. -190 с.
38. Вторая Всесоюзная межвузовская конференция по озону /январь 1977 г./: Тез. Докл./Моск. гос. Ун-т им. М.В.Ломоносова. –М.: МГУ, 1977. -173 с.
39. Разумовский С.Д., Заиков Г.Е. Озон и его реакции с органическими соединениями. –М.: Наука, 2004-с.16-68.
40. Филлипов Ю.В. Физико-химическое исследование электросинтеза озона. –Дисс. ... д-ра. хим. Наук. –М., 1962. -337 с.
41. Ибрагимов М. Использование озона для доочистки и обеззараживания стоков свиноводческих комплексов и ферм. –Тезисы конф. по проблемам мех. и эл. сел. х-ва /май 1977 г./ Таш. Ин-т инженеров ирригации и механизации сел., 1977, с, 160.
42. Адлер Ю.П., Маркова В.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. –М.: Наука, 1976. -280 с.
43. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. –М.: Легкая индустриал, 1984. с. 15-30
44. Книпович О.М. Электросинтез озона из воздуха. –Дисс. ... канд. хим. М., 1970.
45. Ибрагимов М., Трегубов Б.А. Электрохимическое озонирование сточных вод животноводческих комплексов- Всесоюзный семинар по химии озона /15-17 июня 1981 г. тезисы докладов институт неорг химии и эл. химии АН ГССР – Все 104 Тбилиси 1981, с. 123.