

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.3:546.214:51-74

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-74-82>**Электроозонная технология очистки навозных стоков:
реализация математической модели***Д.А. Нормов^{1✉}, А.А. Азарян², А.А. Цедяков³, Д.С. Карлаков⁴*^{1,3,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия² Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина; г. Краснодар, Россия¹ danormov@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-3255-4334>² sashiko.az@yandex.ru³ andrey.tsedyakov@mail.ru⁴ koomarskij@gmail.com

Аннотация. Утилизации продуктов жизнедеятельности животных является особенно актуальной на крупных животноводческих комплексах. С целью совершенствования технологии переработки навозных стоков животноводства разработан эффективный метод их очистки и создана экспериментальная установка – станция очистки навозных стоков, включающая в себя электроозонирующий блок. Очистка осуществляется в два этапа: на первом этапе навозные стоки подвергаются сепарации и флотации для удаления крупнодисперсных примесей, на втором этапе жидкая фракция обрабатывается озоном. Технический результат достигается при тонкодисперсном распылении навозных стоков с диаметром капель от 1,0 до 10,0 мкм в озоновоздушной смеси при концентрации озона 450...500 мг/м³. Расчеты, выполненные на основании разработанной математической модели, показали, что тонкодисперсное распыление навозных стоков в камере с озоновоздушной смесью в сравнении с барботированием озона в жидкость в 360 раз увеличивает градиент концентрации озона и передачу массы озона через границу раздела фаз. Это дает возможность значительно повысить скорость потребления озона в химических реакциях, повысить коэффициент полезного действия, снизить энергозатраты на обработку навозных стоков. Эксперимент проводился на свиноводческом комплексе ООО «Новые аграрные технологии» хутора «Бейсужек второй» Выселковского района Краснодарского края. Результаты химических, органолептических и микробиологических анализов подтверждают высокую эффективность разработанного метода и оборудования для очистки сточных вод свиного комплекса. Разработанная электроозонная технология очистки навозных стоков позволяет улучшить экологическую обстановку в животноводческих хозяйствах, исключаются вредные выбросы экологически токсичных летучих соединений в атмосферу.

Ключевые слова: электроозонная технология очистки навозных стоков, утилизация продуктов жизнедеятельности животных, навозные стоки, станция очистки навозных стоков, озон, электроозонирующий блок, тонкодисперсное распыление навозных стоков

Благодарности: Авторы благодарят коллектив Приморо-Ахтарского завода агропромышленного оборудования в лице генерального директора, канд. техн. наук Сергея Александровича Перегудова за создание экспериментальной установки очистки и переработки животноводческих стоков.

Для цитирования: Нормов Д.А., Азарян А.А., Цедяков А.А., Карлаков Д.С. Электроозонная технология очистки навозных стоков: реализация математической модели // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 5. С. 74-82. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-74-82>

ORIGINAL ARTICLE

**Electro-ozonization technology of manure effluent treatment:
mathematical model implementation***D.A. Normov^{1✉}, A.A. Azaryan², A.A. Tsedyakov³, D.S. Karlov⁴*^{1,3,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev agricultural Academy, Moscow, Russia² Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; Krasnodar, Russia¹ danormov@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-3255-4334>² sashiko.az@yandex.ru³ andrey.tsedyakov@mail.ru⁴ koomarskij@gmail.com

Abstract. The disposal of animal waste products is especially urgent at large livestock facilities. In order to develop an effective technology of processing animal manure effluents, the authors have developed an effective method of their

treatment and designed an experimental installation – a manure effluent treatment station including an electro-ozonizer. Cleaning is carried out in two stages: at the first stage, manure effluent is subjected to separation and flotation to remove large dispersed impurities, at the second stage, liquid fraction is treated with ozone. The technical result is achieved by fine atomization of manure effluents with a droplet diameter from 1.0 to 10.0 microns in the ozone-air mixture at an ozone concentration of 450 to 500 mg/m³. Calculations based on the developed mathematical model have shown that fine atomization of manure effluents in a chamber with the ozone-air mixture increases the ozone concentration gradient and ozone mass transfer through the interface in 360 times as compared with barbotization of ozone into liquid. This makes it possible to increase significantly the rate of ozone consumption in chemical reactions, increase the efficiency factor, and reduce energy consumption for manure effluent treatment. The experiment was conducted at the pig-breeding farm of LLC “Novye Agrarnye Tekhnologii”, Beysuzhek Vtoroy, the Vyselki district, the Krasnodar region. The results of chemical, organoleptic and microbiological analyses confirm the high efficiency of the developed method and equipment for wastewater treatment of pig farms. The developed electro-ozonization technology and equipment improve the ecological situation on livestock farms by preventing the discharge of harmful emissions of ecologically toxic volatile compounds into the atmosphere.

Keywords: electro-ozonization technology of manure effluent treatment disposal of animal waste products, manure effluents, manure effluent treatment station, ozone, electro-ozonizer, fine atomization of manure effluents

Acknowledgements. The authors would like to thank the team of Primoro-Akhtarsk Agroindustrial Equipment Plant represented by Sergey Peregudov, General Director, CSc (Eng), for the development of an experimental unit for treatment and processing of livestock effluents.

For citation: Normov D.A., Azaryan A.A., Tsedyakov A.A., Karlakov D.S. Electro-ozonization technology of manure effluent treatment: mathematical model implementation. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(5):74-82. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-74-82>

Введение

Производство животноводческой продукции на промышленной основе обуславливает интенсификацию отрасли и ввод в эксплуатацию крупных комплексов, одной из проблем которых является активное загрязнение окружающей среды в виде навоза, мочи, технической воды и дезинфицирующих средств, используемых во время ветеринарно-санитарных мероприятий, а также скотомогильников¹.

Жидкие навозные стоки представляют собой смесь экскрементов и остатков корма, сильно разбавленную водой. В стоках при наличии аммиака и хлоридов подавляется развитие термофильных микроорганизмов, соответственно тормозятся биотермические процессы, препятствуя естественному обеззараживанию [1].

Содержащиеся в навозных стоках микроорганизмы являются причиной вспышек инфекционных заболеваний населения и сельскохозяйственных животных [2]. Животноводческие стоки оказывают отрицательное воздействие и на качество атмосферного воздуха. Они являются источниками вредных газов и запахов, обуславливают попадание в воздушную среду микроорганизмов, отрицательно влияют на микроклимат животноводческих помещений и окружающих территорий [3].

¹ Загинайлов В.И. Электрофизические методы и средства контроля и управления сельскохозяйственными технологиями: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 2007.

Для обеззараживания навозных стоков условно применяются следующие способы: химические (с помощью различных соединений хлора, озона, перекиси водорода и др.); физические (термические с использованием различных излучений, электрические, электромагнитные); физико-химические (флотация, коагуляция, электрофильтрование, сорбция); биологические (в условиях искусственных и естественных биоценозов); комбинированные (флотация, электрофильтрование, применение различных соединений хлора, озона, перекиси водорода и др.) [4, 5].

Механическая очистка стоков применяется для удаления нерастворимых грубодисперсных и частично находящихся в коллоидном состоянии примесей.

Биологическая очистка подразумевает минерализацию органических веществ, находящихся в коллоидном и растворенном состоянии, которые не удастся извлечь из сточных вод механическим путем [6].

Химическая очистка проводится в контактных отстойниках методами осаждения и поглощения с использованием хлора, хлорида железа, глинозема, сульфата железа и др. Технология хлорирования отличается относительной простотой, достаточно высокой бактерицидной эффективностью и невысокими эксплуатационными расходами. Однако несмотря на высокую эффективность обеззараживания, хлорирование (при дозе остаточного хлора 1,5 мг/дм³) не обеспечивает необходимую санитарно-эпидемическую безопасность относительно присутствующих в сточных

водах вирусов, цист простейших, лямблий и устойчивых к действию хлора форм микроорганизмов, что приводит к микробиологическому загрязнению систем водоотведения [7]. Отрицательным свойством хлорирования также является образование опасных хлорорганических соединений, различных диоксидов, образующихся при взаимодействии хлорированной воды с фенольными соединениями, находящимися в сточных водах. Эти хлорорганические соединения обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью. Они устойчивы к биологическому окислению и не поддаются удалению при биологической очистке на очистных сооружениях [8].

Утилизация продуктов жизнедеятельности животных посредством обеззараживания и очистки навозных стоков требует разработки более совершенной технологии.

Цель исследований: предложить эффективную технологию переработки навозных стоков животноводства.

Материалы и методы

Для решения задачи очистки и обеззараживания навозных стоков нами совместно с коллективом Приморо-Ахтарского завода агропромышленного оборудования разработана электроозонная технология, включающая в себя два этапа. На первом этапе (механической очистки) навозные стоки подвергаются сепарации и флотации с целью удаления нерастворимых грубодисперсных и частично находящихся в коллоидном состоянии примесей (рис. 1).

После удаления твердой фракции навозные стоки обрабатываются озоном (химическая очистка). Технический результат достигается при тонкодисперсном распылении навозных стоков с диаметром капель от 1,0 до 10,0 мкм в озонозооной смеси при концентрации озона 50...500 мг/м³. Обладая высокой реактогенной способностью, озон активно вступает в реакции с различными биологическими объектами, в том числе со структурами клетки [7]. В силу плотной упаковки липидов и белков в биомембранах в роли основной мишени биологического действия озона на клетку выступают плазматические мембраны [9, 10].

Разработанная электроозонная технология очистки навозных стоков осуществляется с помощью установки (рис. 2), состоящей из насоса 1, соединенного с форсунками 2, распыляющими навозные стоки и установленными в камере обработки 3, в которой предварительно создается высокая концентрация озона. Вентилятор 4, подающий озон в камеру обработки 3, соединен с генератором озона 5. Из камеры обработки 3 жидкость попадает в камеру очищенных стоков 6. Для создания озонной среды внутри камеры обработки используется генератор озона барьерного типа 5.

Эффективность технологического решения заключается в том, что процесс смешивания озона с жидкостью производится не барботированием, а используется тонкодисперсное распыление жидкой фракции стоков в озонной среде, позволяя значительно увеличить градиент концентрации озона и передачу массы озона через границу раздела фаз и соответственно повысить скорость потребления озона при химических реакциях в навозных стоках [5].



Рис. 1. Вещества, выделенные из навозных стоков после сепарации

Fig. 1. Substances isolated from manure effluents after separation

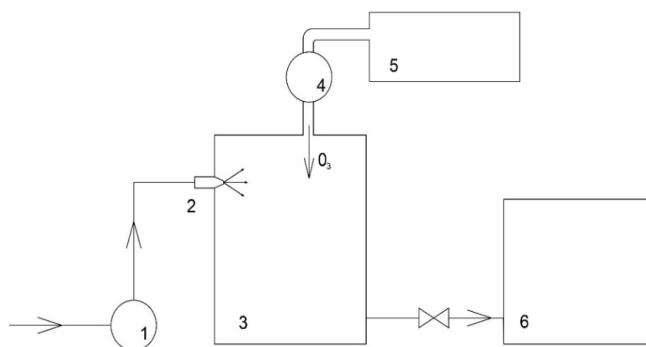


Рис. 2. Технологическая схема озонирования навозных стоков:

1 – насос; 2 – форсунка; 3 – камера обработки озоном; 4 – вентилятор; 5 – электроозонатор; 6 – камера очищенных стоков

Fig. 2. Process scheme of manure effluent ozonization:
1 – pump; 2 – nozzle; 3 – ozone treatment chamber; 4 – fan; 5 – electro-ozonizer; 6 – treated effluent chamber

Эффективность способа достигается за счет увеличения площади границы раздела фаз озон/жидкость. Абсорбция озона в жидкую среду может регулироваться изменением площади поверхности раздела фаз на единицу объема жидкости:

$$\frac{dC}{dt} = K_L \cdot a \cdot (C^* - C) - Q_{O_3}, \quad (1)$$

где K_L – константа, зависящая от коэффициента диффузии и толщины стационарной жидкой пленки, м/с; a – площадь поверхности раздела фаз на единицу объема жидкости, м⁻¹; C^* – концентрация озона в жидкой фазе, равновесная с газовой фазой, г/л; C – реальная концентрация растворенного озона в жидкости, г/л; Q_{O_3} – скорость потребления озона при химических реакциях в сточных водах, г/л·с.

Скорость абсорбции озона можно определить выражением:

$$Q_{O_3} = K_L \cdot a \cdot C^* = K_L \cdot a \cdot H \cdot \rho_{O_3}, \quad (2)$$

где H – константа Генри, зависящая от свойств обрабатываемой жидкости, г/(л·Па); ρ_{O_3} – парциальное давление озона в газовой среде, Па.

Если обозначить площадь поверхности раздела фаз на единицу объема жидкости при барботировании a_1 , а площадь поверхности раздела фаз – на единицу объема жидкости при распылении a_2 , то значение градиента концентрации озона при адсорбции в жидкость изменится пропорционально соотношению a_2/a_1 . Введем коэффициент G , определяющий данное соотношение.

Определить влияние увеличения поверхности межфазового взаимодействия на эффективность процесса озонирования стоков можно с помощью системы уравнений:

$$\begin{cases} grad Co_3 = f\left(G; \frac{a_2}{a_1}; \frac{S_{общ.1}}{S_{общ.2}}\right) \\ V_1 = \frac{4}{3}\pi R_1^3; S_1 = \pi d_1^2; n_1 = \frac{1}{V_1} \\ V_2 = \frac{4}{3}\pi R_2^3; S_2 = \pi d_2^2; n_2 = \frac{1}{V_2} \\ S_{общ.1} = S_1 \cdot n_1; S_{общ.2} = S_2 \cdot n_2; G = \frac{S_{общ.2}}{S_{общ.1}}, \end{cases} \quad (3)$$

где V_1 – объем пузырька, м³; V_2 – объем капли, м³; S_1 – площадь поверхности одного пузырька, м²; S_2 – площадь поверхности одной капли, м²; n_1 – количество пузырьков в 1 м³; n_2 – количество капель в 1 м³; $S_{общ.1}$ – общая площадь поверхности пузырьков, м²; $S_{общ.2}$ – общая площадь поверхности капель, м²; G – отношение общей площади поверхности капель к общей площади поверхности пузырьков в 1 м³.

С целью численного определения коэффициента G производят расчет площади поверхности раздела фаз на единицу объема жидкости при барботировании и при распылении.

При барботационной подаче озоновоздушной смеси в жидкость размеры диаметра пузырьков газа колеблются от 1,0 до 3,0 мм. Условно примем средний диаметр $d_1 = 2,0$ мм ($R_1 = 1,0$ мм), при распылении жидкости в камере обработки тонкодисперсными механическими форсунками диаметр капли имеет размеры от 1,0 до 10,0 мкм. Условно примем средний диаметр $d_2 = 5,5$ мкм ($R_2 = 2,75$ мкм). Средняя плотность сточных вод животноводческих ферм составляет 1,014...1,016 г/см³, что незначительно отличается от плотности воды.

Экспериментальные исследования проводились с помощью разработанной станции очистки навозных стоков. Ее производительность по очищенным стокам в непрерывном автоматическом режиме составляла 4 м³/ч, общая эксплуатационная электрическая нагрузка – 6 кВт.

Забор проб производился в контрольной емкости в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб» и ГОСТ Р 51593-2000 «Вода питьевая. Отбор проб».

Санитарно-микробиологический анализ сточных вод осуществляли по показателям СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»: общие и термотолерантные колиформные бактерии, колифаги, возбудители кишечных инфекций (сальмонеллы, энтеровирусы) и т.д.

Биохимический и микробиологический анализ проб проводились в соответствии с общегосударственными требованиями. Качество обработки сточных вод определялось по микробиологической обсемененности среды и органолептическим показателям.

Результаты и их обсуждение

Расчеты, выполненные на основании разработанной математической модели, показали эффективность тонкодисперсного распыления навозных стоков в камере с озоном по сравнению с барботированием озона в жидкость. Тонкодисперсное распыление навозных стоков в камере с озоном по сравнению с барботированием озона в жидкость позволяет в 360 раз увеличить границу раздела фаз озон/жидкость и значение градиента концентрации озона при адсорбции в жидкость, что повышает эффективность обработки жидкости без повышения энергозатрат.

Для проведения эксперимента на базе Примор-Ахтарского завода агропромышленного

оборудования была сконструирована установка «Станция очистки навозных стоков» (рис. 3). Экспериментальные исследования по влиянию озонОВОЗДУШНОЙ обработки на микробиологическую и биологическую зараженность и органолептические свойства проводились в течение 2021-2023 гг. на свиноводческом комплексе ООО «Новые аграрные технологии» хутора «Бейсужек второй».

Навоз из корпусов свиного комплекса сливался в навозоприемник и в дальнейшем подвергался разделению шнековым сепаратором с размером ячейки сита 0,5 мм на две фракции: жидкую, содержащую 1,46% сухих веществ (рис. 1), и твердую, включающую в себя взвешенные вещества и органические загрязнения с остаточной связанной влагой (порядка 70%).

Твердая фракция перевозилась на специальные площадки компостирования для обеззараживания, дегельминтизации и удаления запаха. Жидкая фракция сливалась в бетонный бункер-накопитель. На бетонном перекрытии бункера-накопителя была установлена станция очистки навозных стоков.

Из бункера-накопителя жидкость с помощью погружного насоса подавалась по гибкому трубопроводу через быстросъемные соединения в приемный трубопровод станции очистки. Производительность насоса составляла 8 м³ (рис. 4).

В камерах экспериментальной установки жидкая фракция очищалась пятикратно флотационным способом очистки сточных вод. Выделенные из навозных стоков механические включения и коллоидные составляющие возвращались в навозоприемник и впоследствии сепарировались в составе твердой фракции.

Результаты проведенных исследований (табл.) показали снижение содержания взвешенных и коллоидных частиц, по большей части, вероятно, состоящих из органических веществ. Механическая обработка снижает нагрузку на реакцию окисления с озоном, но не приводит к снижению бактерицидной и прочей обсемененности сточных вод. При этом на первом этапе очистки в навозоприемнике и бункере-накопителе отжатой жидкости создавалась специфическая поверхностная пена, которая препятствовала



Рис. 3. Станция очистки навозных стоков:
1 – электроозонирующий блок; 2 – камера обработки навоза

Fig. 3. Station of manure effluent treatment:
1 – electro-ozonizer; 2 – manure treatment chamber



Рис. 4. Погружной насос и подключение подачи и слива
Fig. 4. Submersible pump and its supply and drain cross-connection

выделению аммиака и других летучих веществ в атмосферу, существенно снижая специфический запах навоза на всем участке накопления и разделения навоза (рис. 1).

После второго этапа (озонирования) жидкая фракция сливались в накопитель очищенных стоков или в контрольную емкость (рис. 5).

Станция очистки навозных стоков позволяет в непрерывном режиме без дополнительного внесения химических препаратов, вредных сбросов и сменных фильтров в течение проточной обработки (10-15 мин) получить результат, аналогичный 6-12-месячному процессу отстаивания в соответствующих накопительных сооружениях.



Рис. 5. Бетонный накопитель стоков и контрольная емкость (2,14 м³)

Fig. 5. Concrete effluent accumulator and control tank (2.14 m³)

Характеристики навозных стоков

Таблица

Characteristics of manure effluents

Table

Критерий оценки	Навоз натуральный		Навозные стоки после сепаратора	Навозные стоки после станции	Норма очистки		Нормативные документы на метод измерений
	среднестатистический	фактический			НТП 17-99	СанПиН 2.1.7.573-1996	
1	2		3	4	5		6
Вода	90,1		98,6				ПНД Ф 14.1:2.110-97
Взвешенные вещества	9,9	3,68	1,4	0,40(0,10)	0,12		ПНД Ф 14.1:2.110-97
Коллоидные вещества	1,8		0,3				
2. Химический состав							
pH		7,70		7,90			ФР.1.31.2007.03794 (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97)
Азот							
- общий	0,67	1,380		0,20(0,10)	0,12		
NH ₄ – азот аммонийный		1,742			0,08		ФР.1.31.2010.07603
NO ₃ – азот нитратный		0,010			0,02		ФР.1.31.2005.01724
NO ₂ – азот нитритный		0,011			0,02		ПНД Ф 14.1:2:4.3-95
Фосфор общий (P ₂ O ₅)	0,44	0,582	0,34	0,02	0,09		ПНД Ф 14.1:2.106-97
Фосфат-ион		0,172					ПНД Ф 14.1:2:4.112-97
Калий (K ₂ O)	0,54	1,940		0,03	0,21		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6
3. Органолептические показатели					
Запах					
Классификация, условное обозначение	Навозный, <i>Dp</i>	Навозный, <i>Dp</i>	Навозный, <i>Dp</i>	Навозный, <i>Dp</i>	
Интенсивность, балл	Очень сильный, 5	Очень сильный, 5	Очень сильный, 5	Слабый, 2	
Мутность	Сильная	Сильная	Сильная	Мутная	
Цветность	Высока	Высока	Высока	Средняя	
Прозрачность	Сильно мутная	Сильно мутная	Сильно мутная	Мутная	
4. Микробиологические показатели, тыс. КоЕ/г					
Аэробные бактерии	$7,5 \times 10$		$7,5 \times 10$	нет	Недопустимы
Анаэробные бактерии	2×10		2×10	нет	Недопустимы
Колиформы	$3,8 \times 10$		$3,8 \times 10$	нет	Недопустимы
Энтерококки	$1,2 \times 10$		$1,2 \times 10$	нет	Недопустимы
Стафилококки	$0,5 \times 10$		$0,5 \times 10$	нет	Недопустимы
Лактобациллы	$2,4 \times 10$		$2,4 \times 10$	нет	Недопустимы
Аэробные споры	$4,9 \times 10$		$4,9 \times 10$	нет	Недопустимы
Клостридии	$1,8 \times 10$		$1,8 \times 10$	нет	Недопустимы
Сальмонеллы	$4,0 \times 10$		$4,0 \times 10$	нет	Недопустимы
Грибы	$3,1 \times 10$		$3,1 \times 10$	нет	Недопустимы
5. Ветеринарные требования					
Наличие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, кл/г, в том числе энтеробактерий (патогенных серовариантов кишечной палочки, протей, сальмонелл), энтерококков (стафилококков, бацилл, клостридий, энтеровирусов)	да	да	Да	нет	Недопустимы
Наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, экз/кг, в том числе трематод, цестод	да	да	Да	нет	Недопустимы
Цисты кишечных патогенных простейших, экз/100 г	да	да	Да	нет	Недопустимы
Наличие личинок и куколок синантропных мух, экз/кг	да	да	Да	нет	Недопустимы
6. Потребность кислорода, мг/л					
Биохимическая потребность кислорода, полная	99792	35521		75	Пр. МПР № 87 от 13.04.2009 г.
Биохимическая потребность кислорода, 5 сут.		24840			ФР.1.31.2007.03796 (ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97)
Химическое потребление кислорода к массе органического вещества	118800	40800		300	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03

Выводы

1. Расчеты, выполненные на основании разработанной математической модели, показали эффективность тонкодисперсного распыления навозных стоков в камере с озоном по сравнению сбарботированием озона в жидкость. Граница раздела фаз озон/жидкость и значение градиента концентрации озона при адсорбции в жидкость увеличились в 360 раз, что позволяет повысить эффективность обработки жидкости без повышения энергозатрат.

2. Проведенный химический, органолептический и микробиологический анализ показал высокую эффективность разработанного метода и оборудования для очистки сточных вод свиноводческого комплекса.

3. Проточное озонирование сточных вод в течение 10-15 мин позволяет получить результат, аналогичный 6-12-месячному отстаиванию стоков в накопительных сооружениях.

4. Использование станции очистки позволило сократить расстояние распространения навозного запаха от зоны накопления до 50 м, при традиционной технологии запах ощущается при дальности от 1 км и более. Отпадает необходимость поверхностного закрытия накопителей или пленочных лагун дорогостоящими приспособлениями.

5. Утилизация продуктов жизнедеятельности животных снимает экологические проблемы эксплуатации животноводческих комплексов в непосредственной близости (до 300 м) с населенными пунктами, а также при ограниченных площадях сельскохозяйственных полей орошения или их отсутствии, при близком расположении естественных водоемов или высоких грунтовых водах.

6. Разработанная электроозонная технология очистки навозных стоков позволяет улучшить экологическую обстановку на животноводческих хозяйствах.

Список источников

1. Селюков А.В., Семенов М.Ю. Доочистка биологически очищенных городских сточных вод озонированием // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 2. С. 41-45. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.02.06>
2. Lim S., Shi J.L., Gunten U., McCurry D.L. Ozonation of organic compounds in water and wastewater: A critical review. *Water Research*. 2022;213:118053. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118053>
3. Mireia M.E. Ozonation of municipal wastewater for water reuse. Programa de doctorat de ciènciatecnològicadels materials. Published Universitat de Barcelona, 2017. 219 p. URL: <http://hdl.handle.net/10803/402548>
4. Нормов Д.А., Шевченко А.А., Федоренко Е.А. Озон против микотоксикозов фуражного зерна // Сельский механизатор. 2009. № 4. С. 24-25. EDN: JXWTD
5. Способ очистки навозных стоков: Патент RU2688610 C1, МПК C02F 9/08, C02F 1/24, C02F 1/38. № 2018124118 / А.А. Азарян, Д.А. Нормов, М.Д. Нормова и др.; заявл. 02.07.2018; опубл. 21.05.2019. EDN: HYRANM
6. Lazarova V., Liechti P. – A., Savoye P., Hausler R. Ozone disinfection: main parameters for process design in wastewater treatment and reuse. *Journal of Water Reuse and Desalination*. December 2013;3(4):337-345. <https://doi.org/10.2166/wrd.2013.007>
7. Ozone and related oxidants for water treatment. Programme and Book of Abstracts. International ozone association. Published Tongji University. Shanghai, China, December 2-3, 2013. URL: <https://www.ioa-ea3g.org/fileadmin/documents/IOA-Conference-Shanghai-2013-Book-of-abstracts.pdf>
8. Wang J., Chen H. Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective. *Science of The Total Environment*. 2020;704:135249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135249>
9. Нормов Д.А., Курзин Н.Н., Шевченко А.А. Влияние воздействия озоновооздушной смеси на содержание вредоносной микрофлоры в кормах // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 47. С. 168-171. EDN: TGTVOF
10. Способ обеззараживания животноводческих помещений от возбудителей стафилококкоза: Патент RU2554743 C1, МПК A61L 9/015. № 2014108333/15 / В.И. Терехов, Д.А. Нормов, И.В. Сердюченко и др.; заявл. 04.03.2014; опубл. 27.06.2015. EDN: ZFINMD

References

1. Seliukov A., Semenov M. Tertiary treatment by ozonation of municipal wastewater after biological treatment. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2022;2:41-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.35776/VST.2022.02.06>
2. Lim S., Shi J.L., Gunten U., McCurry D.L. Ozonation of organic compounds in water and wastewater: A critical review. *Water Research*. 2022;213:118053. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118053>
3. Mireia M.E. Ozonation of municipal wastewater for water reuse. Programa de doctorat de ciènciatecnològicadels materials. Published Universitat de Barcelona, 2017. 219 p. URL: <http://hdl.handle.net/10803/402548>
4. Normov D.A., Shevchenko A.A., Fedorenko E.A. Ozone against microtoxoses of feed grain. *Selskiy Mekhanizator*. 2009;4:24-25. (In Russ.)
5. Azaryan A.A., Normov D.A., Normova M.D., Normova N.D., Pozhidaev D.V. Method for cleaning manure drains: patent RU2688610 C1, MPK C02F 9/08, C02F 1/24, C02F 1/38, 2019. (In Russ.)
6. Lazarova V., Liechti P. – A., Savoye P., Hausler R. Ozone disinfection: main parameters for process design in wastewater treatment and reuse. *Journal of Water Reuse and Desalination*. December 2013;3(4):337-345. <https://doi.org/10.2166/wrd.2013.007>
7. Ozone and related oxidants for water treatment. Programme and Book of Abstracts. International ozone association. Published Tongji University. Shanghai, China, December 2-3, 2013. URL: <https://www.ioa-ea3g.org/fileadmin/documents/IOA-Conference-Shanghai-2013-Book-of-abstracts.pdf>
8. Wang J., Chen H. Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective. *Science of The Total Environment*. 2020;704:135249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135249>
9. Normov D.A., Kurzin N.N., Shevchenko A.A. Impact of the ozone-air mixture on the content of pathogenic microflora in feed. *Trudy Kubanskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2014;47:168-171. (In Russ.)
10. Terekhov V.I., Normov D.A., Serdjuchenko I.V., Bojko V.S., Abaui M.M. Method for livestock houses disinfection from staphylococcosis agents: patent RU2554743 C1, MPK A61L 9/015. No.2014108333/15, 2015. (In Russ.)

Информация об авторах

Дмитрий Александрович Нормов¹, д-р техн. наук, профессор; danormov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3255-4334>

Александр Ашотович Азарян², аспирант, ассистент; sashiko.az@yandex.ru

Андрей Александрович Цедяков³, канд. техн. наук, доцент; andrey.tsedyakov@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Карлаков⁴, аспирант, ассистент; koomarskij@gmail.com

^{1,3,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

² Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина; 350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

Вклад авторов

Д.А. Нормов – формулирование основной концепции исследования;

А.А. Азарян – описание результатов и формирование выводов исследования, подготовка начального варианта текста;

А.А. Цедяков – разработка методологии исследования

Д.С. Карлаков – представление результатов, подготовка графических материалов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 27.08.2024, после рецензирования и доработки 11.09.2024; принята к публикации 16.09.2024

Author Information

Dmitry A. Normov¹, DSc (Eng), Professor;

danormov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3255-4334>

Aleksandr A. Azaryan², postgraduate student, Assistant Professor; sashiko.az@yandex.ru

Andrey A. Tsedyakov³, CSc (Eng), Associate Professor; andrey.tsedyakov@mail.ru

Dmitry S. Karlov⁴, postgraduate student, Assistant Professor; koomarskij@gmail.com

^{1,3,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, 49, Timiryazevskaya Str.

² Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin; 350044, Russian Federation, Krasnodar, 13, Kalinina Str.

Author Contribution

D.A. Normov – conceptualization;

A.A. Azaryan – writing – results and discussion, conclusions, original draft preparation;

A.A. Tsedyakov – research methodology;

D.S. Karlov – presentation of results, visualization

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and are equally responsible for plagiarism

Received 27.08.2024, Revised 11.09.2024; Accepted 16.09.2024