Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2025, Том 17, № 5 / 2025, Vol. 17, Iss. 5 https://esj.today/issue-5-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/25SAVN525.pdf

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Наумова, О. В. Обеззараживание воды, стоков и органических отходов при помощи высоковольтного электроимпульсного разряда / О. В. Наумова, Д. С. Катков, Е. В. Спиридонова // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 5. — URL: https://esj.today/PDF/25SAVN525.pdf.

For citation:
Naumova O.V., Katkov D.S., Spiridonova E.V. Disinfection of water, wastewater and organic waste using a high-voltage electric pulse discharge. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(5): 25SAVN525. Available at: https://esj.today/PDF/25SAVN525.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 532.783+536

Наумова Ольга Валерьевна
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: uunaumov@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=393383

Катков Данила Сергеевич
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: syberberg@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=674883

Спиридонова Елена Владимировна
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», Саратов, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: spiritlena77@yahoo.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=713953

Обеззараживание воды, стоков и органических отходов при помощи высоковольтного электроимпульсного разряда

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения высоковольтной электроимпульсной обработки сточных вод и органических отходов с целью их обеззараживания. Высоковольтный электрический разряд в жидкостях приводит к электрогидравлическому удару, в результате которого наблюдаются структурные изменения в жидкости, при этом мгновенно возникают значительные импульсные токи и давление. За счет этого структура воды (а также сточных вод и любых других жидкостей) испытывает значительные деформации на молекулярном уровне. Высоковольтный импульсный разряд облегчает отделение молекул загрязняющих веществ (примесей) от молекул воды. Болезнетворные бактерии, находящиеся в сточных водах и жидких органических отходах подвергаются воздействию электрического тока, в результате чего погибают, превращаются в механические частицы, которые находятся во взвешенном состоянии в жидкости. Эти частицы

легко удаляются путем грубой и тонкой фильтрации, следующей за обработкой жидкости высоковольтным электрическим разрядом. Электроды, встраиваемые в трубопровод, через который подается жидкость, позволяют осуществлять обработку различным числом импульсов, в зависимости от типа среды, вида загрязнений. Авторами представлены результаты исследований по эффективности обеззараживания куриного помета при помощи высоковольтного электрического разряда. Применение подобной обработки позволяет сократить по времени обеззараживание сточных вод и отходов сельскохозяйственного производства, исключает необходимость применения отстойников, специальных иловых полей и позволяет повысить производительность очистных сооружений в целом. Предлагаемая технология является экологически-чистой и может быть встроена в существующую схему очистных городских сооружений без их существенной модернизации.

Ключевые слова: высоковольтный электрический разряд; электрод; электрогидравлический эффект; структура; вода; переработка; обеззараживание

Введение

В современном мире, в условиях роста агропромышленного производства, актуальной является проблема утилизации и переработки органических отходов и сточных вод. Органические отходы сельскохозяйственного производства, а также сточные и канализационные воды представляют серьезную экологическую опасность. В связи с этим ученые всего мира занимаются поиском новых технологий, обеспечивающих быструю и эффективную переработку отходов. Если фермерские хозяйства находятся на окраине населенных пунктов или вне их пределов, то очистные канализационные системы являются частью городской системы канализации и не могут быть вынесены далеко за пределы города. В настоящее время применяют систему фильтрации и отстойников переливного типа. Ил, который накапливается в очистных сооружениях, перерабатывают, высушивают и применяют в качестве удобрения. Однако, при таком способе использования илистых осадков, возможно повышенное содержание в них, а значит, и в почве, тяжелых металлов, что будет иметь губительные последствия для растений, приведет к загрязнению грунтовых вод [1]. Канализационные стоки очень разнообразны по своей структуре, свойству и составам, поэтому практически невозможно подобрать универсальную технологию их очистки и обеззараживания. Большая часть иловых отложений подлежит выдерживанию на иловых площадках, что ухудшает экологическую обстановку близь лежащих населенных пунктов или районов.

Органические отходы животноводческих комплексов и ферм требуют длительного времени утилизации, складируются на отдельных земельных участках или сжигаются, хотя получение высококачественных удобрений из них гораздо эффективнее и безопаснее для окружающей среды. Для утилизации органических отходов в настоящее время применяют несколько методов [2]:

- биологический (выдерживание на специальных площадках, длительное выдерживание и биотермическая обработка в специальных устройствах);
- анаэробный (переработка органических отходов в биогазовых установках с целью получения биогаза и удобрений);
- химический (обработка химическими веществами такими как аммиак и формальдегид);
- сжигание;
- бактериологические (применение специальных реагентов, нейтрализующих патогенные бактерии)
- комбинированные методы.

Биологический метод является наиболее часто применяемым на городских очистных сооружениях. Однако, при данном методе, необходимо отводить значительные площади для специальных иловых площадок, длительно выдерживать ил, а затем вывозить его или изготавливать удобрения.

Наиболее перспективным из вышеперечисленных способов обработки является переработка органических отходов в биогазовых установках, что позволяет обеспечить обеззараживание отходов, получение удобрений а также выработку биогаза на коммунально-бытовые нужды хозяйства. Однако, данный способ дорогостоящий, для получения биогаза в необходимом стабильном количестве требуется обеспечить множество условий, таких как температура внутри метантенка, постоянное перемешивание. Часто установки, расположенные на открытом воздухе, приходится утеплять, применять подогрев с помощью дорогостоящих тэнов, срок службы которых всего несколько лет. Для работы биогазовой установки требуется ряд технического оборудования, обслуживание и ремонт которого дорогостоящий [3].

Химический метод требует последующей дополнительной очистки от используемых веществ. Наиболее распространенный и успешно применяемый химический метод — это хлорирование. Недостатком является низкая восприимчивость некоторых вирусов и бактерий к хлору. В связи с этим требуется применение дополнительных способов очистки и обеззараживания жидкости. Существенным недостатком хлорирования (особенно для крупных и средних водоочистных сооружений) является необходимость обеспечения высокой степени безопасности и надежности хлорного хозяйства [4].

Бактериологические способы очистки сточных вод основаны на применении специальных микроорганизмов, способных уничтожить болезнетворные бактерии в сточных водах и органических отходах. Однако, для осуществления данного метода потребуется строительство полей орошения, биологических прудов и т. д. Кроме того, микроорганизмы чувствительны к температуре окружающей среды и могут погибнуть при неблагоприятных условиях [4].

К физико-химическим методам относят коагуляцию, сорбцию, флотацию, обратный осмос и т. д. Из перечисленных методов чаще всего применяют сорбцию и обратный осмос. Сорбция в основном применяется для очистки промышленных стоков от веществ, представляющих опасность для экосистемы, но являющихся ценными в промышленном производстве. С помощью веществ-сорбентов ценные элементы, попавшие в сточные воды, собирают, а затем используют повторно. Данный вид очистки применяют в комплексе с другими методами. Кроме того, данный метод применяется для очистки сточных вод от пестицидов и других веществ, загрязняющих окружающую среду. Эффективность сорбции достаточно высокая — от 80 до 95 % [4].

Обратный осмос основан на прохождении воды под давлением через специальную мембрану, которая способна улавливать 99,9 % любых примесей, в том числе соли, бактерии, вирусы. Недостаток данного способа заключается в том, что после обратного осмоса получается дистиллированная вода (если речь идет о питьевой воде), которую необходимо обогащать полезными минералами. Для очистки сточных вод данный метод успешно применяется при условии качественной предварительной механической очистки, иначе мембрана быстро засоряется, так как материал чувствителен к любым механическим частицам и загрязнениям [4].

Ни один из описанных методов не позволяет быстро и качественно утилизировать отходы и получать удобрения. Новым способом в области очистки и обеззараживания органических отходов и сточных вод является применение высоковольтного электроимпульсного электрического разряда [5–10].

Методика исследования

При проведении исследований использовался куриный помет, смешанный с водой и сточные канализационные воды. На чистоту эксперимента не влияет однородность жидкой массы, так как электроды установлены в нижней части камеры и при воздействии электрогидравлическим высоковольтным разрядом на вещество, возникает электрогидравлический удар, который обеспечивает измельчение исходного вещества и его перемешивание. Эксперимент проводился следующим образом: в металлический цилиндр с вмонтированными электродами, наливали порцию вещества, подвергаемого обработке, и подавали на электроды электрический разряд с различным количеством импульсов. Число импульсов варьировалось от 2-х до 7. После 3-х, 5-ити, 7-ми импульсов отбирались пробы вещества и передавались в лабораторию для микробиологического анализа, который позволяет достоверно определить количество болезнетворных бактерий. Такой анализ подтверждает целесообразность и эффективность предлагаемого способа обработки органических отходов и сточных вод.

Авторами статьи предлагается применение системы высоковольтной электроимпульсной обработки органических отходов и стоков с целью их обеззараживания. Для осуществления разряда используется несколько последовательно соединенных пар электродов, вмонтированных в трубопровод, по которому пропускают сточные воды или жидкие органические отходы (рис. 1). В предлагаемой схеме трубопровод имеет диаметр 150 мм, расстояние между электродами 25 мм, ёмкость накопительного конденсатора 4 мкФ, напряжение разряда 25 кВ, количество пар электродов — 4 шт. Подача жидкости осуществляется при помощи насосной установки.

Известно, что высоковольтный электрический разряд вызывает мощную окислительную реакцию в жидкости за счет высвобождения гидроксильных радикалов OH, что способствует изменению структуры жидкости, высвобождению примесей, а также разрушению молекул вирусов и бактерий, содержащихся в сточных водах и органических отходах. При этом опасные и токсичные вещества превращаются в более простые соединения, обладающие меньшим негативным воздействием, что облегчает дальнейший процесс очистки, обеззараживания и фильтрации [11].

При воздействии на стоки и органические отходы высоковольтным электроимпульсным разрядом образуется центр разряда, выделяется большое количество энергии, возникает ударная волна, изменяется структура вещества, а также молекулярная структура. Высоковольтный импульсный разряд сопровождается световым и электромагнитным излучением, формированием ударных, ультразвуковых волн широкого диапазона частот, мощного гидропотока с кавитацией [12; 13].

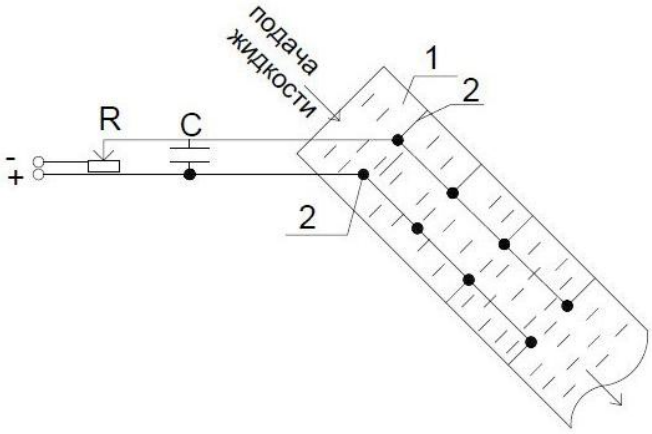


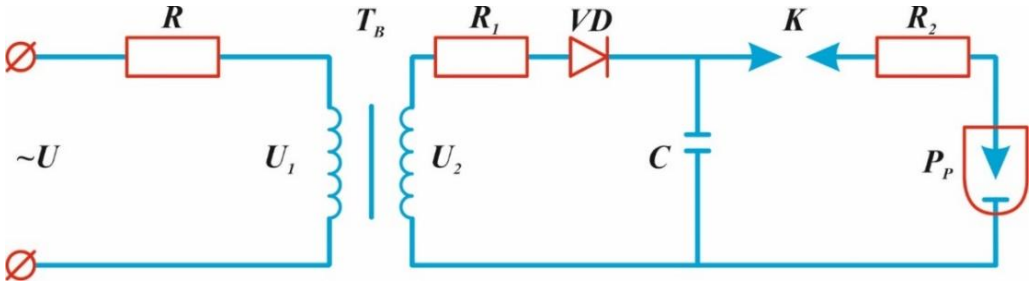
Рисунок 1. *Схема системы электродов, расположенных внутри трубопровода (разработано авторами)*

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях. В качестве ёмкости с вмонтированными электродами использовался металлический цилиндр из нержавеющей стали (рис. 2), далее проводились микробиологические исследования и были получены фотографии сточных вод при помощи электронного микроскопа.

Рисунок 2. *Металлический цилиндр с вмонтированными электродами для электроимпульсной обработки сточных вод и органических отходов (фото автора)*

Применение высоковольтного импульсного разряда в жидкости приводит к электрогидравлическому удару, который за счет высокой скорости воздействия импульсами малой длительности (несколько микросекунд) и большой мощности (от 50 до 1 000 МВт), вызывает значительные структурные изменения. Известен тот факт, что при пропускании электрического тока через патогенные микроорганизмы, большая их часть погибает [3; 5–7]. При импульсном воздействии на жидкую среду, в ней активно формируются центры активации, от которых волнообразно передаются процессы всему объему, а именно при структурных изменениях происходит уменьшение гранулометрического состава, возникновение свободных активных радикалов, атомарного кислорода.

В мегаполисах с развитым промышленным комплексом, значительную сложность представляет очистка сточных вод, содержащих тяжелые металлы. Данную проблему также позволяет решить импульсный электрический разряд. Кроме обеззараживающего действия, он обладает способностью воздействовать на кристаллическую решетку жидкости, разрушая и удаляя из нее ионы металлов, которые образуют нерастворимые соединения и оседают на фильтрах. Для формирования многократно повторяющихся импульсов тока, воспроизводящих электрогидравлический эффект, при осуществлении технологического процесса обработки жидких веществ был применен простой и надежный генератор импульсов тока (ГИТ), типа RC, представленный на схеме (рис. 3).



T_B — трансформатор; U_1 — первичное напряжение в сети; U_2 — высокое напряжение; VD — выпрямитель; C — емкость конденсатора; K — формирующий разрядник; P_p — разрядник в камере; R_1 и R_2 — резисторы

Рисунок 3. *Принципиальная электрическая схема установки (разработано авторами)*

Генератор включает: источник высокого напряжения, состоящего из повышающего трансформатора T_B , который подключается первичной обмоткой к стандартной сети переменного напряжения U_1 . Вторичная обмотка с повышающем напряжением U_2 подключается через регулирующий резистор R_1 и выпрямитель VD к накопительному конденсатору C , образуя цепь заряда. Конденсатор подключен к электродам через формирующий разрядник (коммутатор) K и предохранительный резистор R_2, образуя зазор P_P внутри рабочей камеры. Проскакивающая между электродами электрическая искра в воде, создаёт вблизи канала разряда пиковые давления, которые могут достигать десятков килопаскалей, обеспечивая её обеззараживание. Экспериментально были определены электрические характеристики импульсного генератора [3; 5].

При проведении экспериментальных исследований предметом исследования являлись сточные воды и жидкий куриный помет. При проведении лабораторных исследований и обработке жидкого куриного помета в камере из нержавеющей стали, после каждых 5–7 разрядов проводили отбор проб для микробиологического анализа с целью выявления бактерицидного действия импульсного разряда. Полученные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1

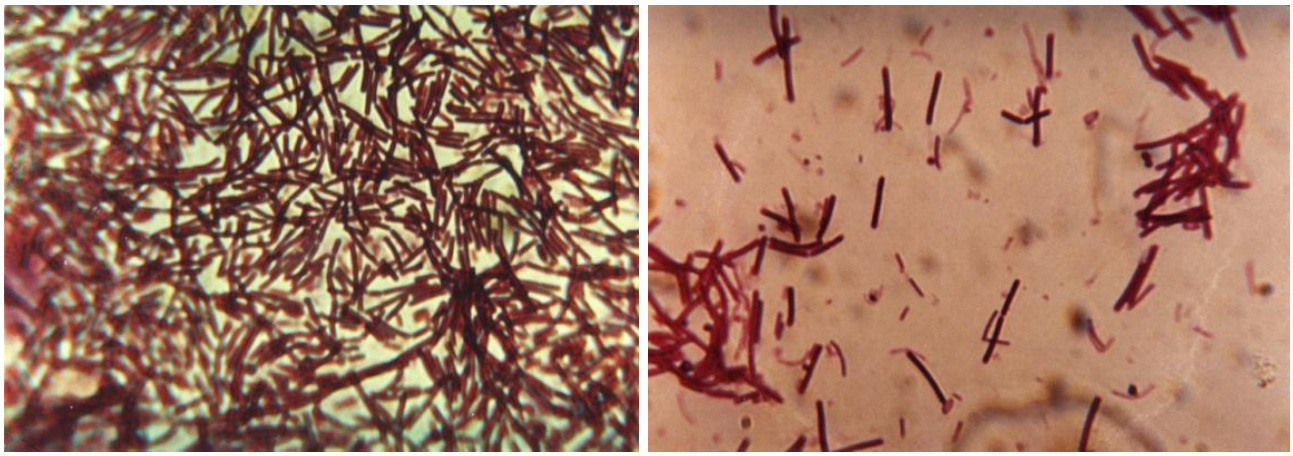
Сравнительные данные по общему числу микроорганизмов в 1 мл содержимого исследованных образцов

Образец	Разведение, в котором обнаруживаются микроорганизмы	Количество колоний на последней чашке, где отмечается их присутствие	Количество КОЕ в 1 мл образца
I	1: $1\cdot10^7$	8	$8\cdot10^7$
II	1: $1\cdot10^8$	9	$9\cdot10^8$
III	1: $1\cdot10^9$	4	$4\cdot10^9$
IV	1: $1\cdot10^8$	2	$2\cdot10^8$

Образец I — количество импульсов 5; Образец II — количество импульсов 10; Образец III — количество импульсов 7; Образец IV — количество импульсов 8. Составлено авторами

Анализируя полученные результаты можно заключить, что оптимальное количество импульсов электрического разряда, подавляющее рост болеѣзнетворных микроорганизмов составляет 7–8.

Фотографии, полученные при проведении микробиологических исследований, представлены на рисунке 4.



а б

Рисунок 4. *Фотографии болезнетворных микроорганизмов, содержащихся в жидком курином помете: а — до обработки высоковольтным импульсным разрядом; б — после обработки (получено авторами)*

Заключение

Высоковольтный импульсный электрический разряд позволяет обеспечить обеззараживание большого количества сточных вод при размещении системы электродов в трубопроводе. Микробиологические исследования и лабораторные экспериментальные данные подтверждают эффективность использования высоковольтного электрического разряда для обеззараживания сточных вод и органических отходов, в том числе от сельскохозяйственного производства. Опытным путем установлено оптимальное количество импульсов электрического разряда, при котором достигается угнетение роста болезнетворных микроорганизмов, которое составило 7–8 импульсов. Предлагаемый метод обработки можно успешно сочетать с традиционными методами, такие как многоступенчатая фильтрация, хлорирование. В итоге сточные воды подвергаются эффективной и быстрой очистке в кратчайшие сроки, не требуются отстойники и иловые площадки на очистных сооружениях. Предлагаемый метод является экологически чистой технологией, в процессе которой не применяются и не образуются химические соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков, С.В. Использование осадка сточных вод в качестве удобрений / С.В. Жуков // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. Тюмень, 2022. С. 127–131.
2. Наумова, О.В. Методы очистки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения / О.В. Наумова // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. Саратов: СГТУ, 2022. С. 30–34.
3. Спиридонова Е.В. Применение электротехнологии при переработке биоорганики / Е.В. Спиридонова, Б.П. Чесноков, О.В. Наумова, Г.П. Ерошенко // Проблемы энергетики. Межвузовский научный сборник. Министерство образования РФ. Саратов: СГТУ. 2004. 270–273 с.
4. Вертинский А.П. Современные методы очистки сточных вод: особенности применения и проблематика / А.П. Вертинский // Инновации и инвестиции. 2019, № 1. 175–181 с.
5. Спиридонова Е.В. Электроимпульсная обработка органических отходов в сельском хозяйстве / Е.В. Спиридонова, О.В. Наумова, Г.П. Ерошенко, Б.П. Чесноков // Электро- и теплотехнологические процессы и установки. Межвузовский научный сборник. Саратов: СГАУ. 2005. С. 21–24.
6. Чесноков, Б.П. Влияние высоковольтной обработки на изменение свойств воды, растворов и биоорганических отходов. Монография / Б.П. Чесноков, О.В. Наумова. Саратов: ООО «Кубик», 2021. 178 с.
7. Наумова, О.В. Структурирование и очистка воды с помощью высоковольтного импульсного разряда / О.В. Наумова, Б.П. Чесноков, Е.В. Спиридонова // Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VII очной Международной научно-практической конференции / Под ред. Ф.К. Абдразакова — Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2018. — С 200–203.
8. Добромиров, В.Н., Технология обеззараживания жидкостей на основе электрогидравлического эффекта / В.Н. Добромиров, Д.В. Аврамов, Н.В. Мартынов // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2(78). EDN: BCSDKJ.

9. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. Ленинград: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. 1955. 57 с.

10. Ворошилова М.В., Коростовенко В.В., Степанов А.Г., Галайко А.В. Перспективы применения разрядно-импульсной технологии для очистки сточных вод горно-обогатительных предприятий // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2013. — Т. 3. — С. 941–945. — URL: http://e-koncept.ru/2013/53191.htm.

11. Бордунов С.В. Применение высоковольтного импульсного разряда в коммунальном хозяйстве для повышения химической активности известкового молока и обеззараживания сточных вод / С.В. Бордунов, Н.Г. Кулага // Экология и промышленность России. 2012, № 2. с. 4–8.

12. Зайцева И.С. Методы интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках / И.С. Зайцев, Н.А. Зайцева // Вестник Кузбасского государственного университета. 2010, № 2. с. 90–92.

13. Кольцов В.Б. Очистные сооружения в 2-х частях. Часть 2. / В.Б. Кольцов, О.В. Кольцова. Учебник и практикум. М.: «Профессиональное образование». 2016. 314 с.

Naumova Olga Valerevna
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: uunaumov@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=393383

Katkov Danila Sergeevich
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: syberberg@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=674883

Spiridonova Elena Vladimorovna
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
E-mail: spiritlena77@yahoo.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=713953

Disinfection of water, wastewater and organic waste using a high-voltage electric pulse discharge

Abstract. The article considers the possibility of using high-voltage electric pulse treatment of wastewater and organic waste in order to disinfect them. A high-voltage electric discharge in liquids leads to an electrohydraulic shock, as a result of which structural changes in the liquid are observed, while significant pulse currents and pressure instantly occur. Due to this, the structure of water (as well as wastewater and any other liquids) undergoes significant deformations at the molecular level. High-voltage pulse discharge facilitates the separation of molecules of pollutants (impurities) from water molecules. Pathogenic bacteria found in wastewater and liquid organic waste are exposed to electric current, as a result of which they die and turn into mechanical particles that are suspended in a liquid. These particles are easily removed by coarse and fine filtration following the treatment of the liquid with a high-voltage electric discharge. Electrodes embedded in the pipeline through which the liquid is supplied allow processing with a different number of pulses, depending on the type of medium and the type of contamination. The authors present the results of research on the effectiveness of disinfection of chicken manure using a high-voltage electric discharge. The use of such treatment makes it possible to reduce the disinfection of wastewater and agricultural waste in time, eliminates the need for settling tanks, special silt fields, and improves the productivity of wastewater treatment plants as a whole. The proposed technology is environmentally friendly and can be integrated into the existing scheme of urban wastewater treatment plants without significant modernization.

Keywords: high-voltage electric discharge; electrode; electrohydraulic effect; structure; water; processing; disinfection