

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЖИДКОСТИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

А.С. Бердишев

доцент К.Т.Н,

А.А. Турдибаев

PhD доцент

Н.А. Айтбаев

докторант,

Н.У. Собиржонов

магистрант

“Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства” Национальный исследовательский университет

Аннотация. В статье описана возможность использования электрогидравлического эффекта для обезвреживания сточных вод. В связи со значительными объемами водопотребления в интересах обеспечения хозяйственной деятельности остро стоит вопрос обеззараживания воды, сбрасываемой в водоемы и подаваемой в оборотное водоснабжение после ее использования в различных технологических целях. Наряду с традиционными методами обеззараживания значительное внимание современных исследователей сосредоточено на разработке инновационных технологий этого процесса. К числу таких относится и технология воздействия на воду электрическим полем. Дается описание макетной установки для обеззараживания жидкости, созданной на основе использования электрогидравлического эффекта. Представлены методика и результаты экспериментальных исследований по выявлению зависимости степени обеззараживания жидкости от вложенной в нее электрической энергии на примере обработки водного дрожжевого раствора.

Результаты. Установлено, что эта зависимость имеет не линейный, как предполагалось ранее, а экспоненциальный характер, вследствие чего при любом режиме обработки невозможно достичь абсолютного уничтожения грибковых бактерий. Оставшиеся живыми микроорганизмы с течением времени производят самовосстановление популяции, что вызывает снижение бактерицидных свойств обработанной жидкости.

Ключевые слова: электрогидравлический эффект, напряжение разряда нейтрализации воды, емкость конденсатора, время обработки, обеззараживание жидкостей, режимы обработки, эффективность обеззараживания.

ELECTROHYDRAULIC LIQUID DISINFECTION AND EFFICIENCY EVALUATION IN VARIOUS MODES

A.S. Berdishev

Associate Professor,

Turdibayev A. A.

, PhD, Associate Professor,

Aytbayev N.A.

, doctoral student,

Sobirjonov N.U

"Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University

Abstract: *The article describes the possibility of using the electrohydraulic effect for wastewater treatment. Due to the significant volumes of water consumption in the interests of economic activity, the issue of disinfection of water discharged into water bodies and supplied to the circulating water supply after its use for various technological purposes is acute. Along with traditional methods of disinfection, considerable attention of modern researchers is focused on the development of innovative technologies for this process. Among these is the technology of impact on water by an electric field. A description is given of a mock-up installation for liquid disinfection, created on the basis of the use of an electro-hydraulic effect. The technique and results of experimental studies to identify the dependence of the degree of disinfection of a liquid on the electrical energy invested in it are presented using the example of processing an aqueous yeast solution.*

Results: *It has been established that this dependence is not linear, as previously assumed, but exponential, as a result of which it is impossible to achieve absolute destruction of fungal bacteria under any processing mode. The remaining living microorganisms over time produce a self-healing population, which causes a decrease in the bactericidal properties of the treated liquid.*

Key words: *electrohydraulic effect, water neutralization discharge voltage, capacitor capacity, treatment time, disinfection of liquids, processing modes, disinfection efficiency.*

Введение. Общий объем водопотребления из природных водных объектов в Республике Узбекистан составляет около 51 км³ [1]. После использования в интересах обеспечения ключевых областей хозяйственной деятельности до 34 км³ этой воды сбрасывается в водоемы в виде сточных вод, из которых не менее 41 % подлежат очистке. Такая ситуация предполагает активную деятельности контроль государства в сфере очистки и обеззараживания сточных вод [3, 4].

Традиционно для очистки и обеззараживания сточных вод используются механические, химические, физико-химические, биологические и комбинированные методы [2, 5–8, 10, 11, 12]. Одним из перспективных направлений обеззараживания воды является воздействие на нее электрическим полем. Исследования этого процесса были начаты еще в 50-х годах прошлого века [9], однако новый интерес они вызвали лишь в настоящее время [8]. В связи с крайне малым объемом данных о процессах, протекающих при электрогидравлической обработке воды [13–15], современные исследователи сосредоточились на вопросах оптимизации электроэнергетического воздействия на нее с позиции повышения бактерицидности среды после обработки. Решение этого вопроса позволит обосновать значения параметров электрогидравлической обработки, обеспечивающих максимальную эффективность процесса обеззараживания воды, что представляется актуальным.

Обоснование объекта, предмета, задач и методов исследования

По результатам проведенных ранее исследований авторами был предложен линейный характер зависимости остаточного содержания микроорганизмов от величины энергии электрических разрядов, использованной для обработки раствора [8]. Однако позднее было выявлено, что использование такой зависимости допустимо лишь для простого выбора наиболее эффективного режима работы электрогидравлической установки. Для исследования самого процесса обеззараживания необходимо более детальное изучение характера этой зависимости. Наблюдения показали, что в обработанной жидкости со временем (примерно через 24 часа) начинает восстанавливаться популяция микроорганизмов, а ее бактерицидные свойства

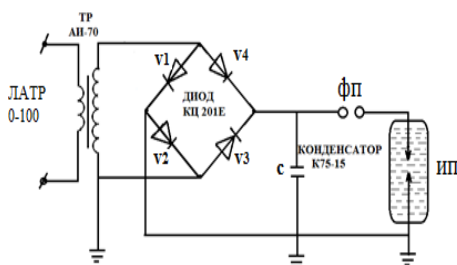
ухудшаются. Этот факт дал основание выдвинуть гипотезу, что независимо от количества энергии, вложенной в обеззараживание, в жидкости остаются живые микроорганизмы, способные восстанавливать свою численность. Это возможно лишь в том случае, когда количество микроорганизмов в обрабатываемом объеме жидкости с увеличением вложенной энергии не сводится к нулю, как предполагалось ранее, а лишь асимптотически к нему приближается. В связи с изложенным задачей исследования было подтверждение выдвинутой гипотезы и определение оптимального сочетания параметров электрогидравлической обработки для получения максимальных эффектов обеззараживания и сохранения бактерицидности.

Объектом исследования в таком случае является электрогидравлический метод обеззараживания жидкости, а предметом исследования — водная среда, подлежащая обеззараживанию.

Методы и материалы

Для проведения исследований использовалась специально разработанная авторами экспериментальная установка. Она представляет собой непроточную цилиндрическую пластиковую емкость (корпус) с металлическими днищем и крышкой, в которую вмонтирован центральный высоковольтный электрод. Роль второго электрода выполняет металлическое днище корпуса (рис. 1).

Подвергающаяся обеззараживанию жидкость заливается в рабочую емкость. На электроды рабочей емкости от высоковольтного источника тока через накопительные импульсные конденсаторы и коммутирующее устройство подаются электрические импульсы, вызывающие разряды в рабочей емкости между центральным электродом и металлическим дном корпуса.



а)

б)

Рис. 1. а) принципиальная электрическая схема электрогидравлической установки, б) процесс обеззараживания воды.

Электрогидравлические удары, происходящие в жидкости под действием электрических разрядов, вызывают гибель микроорганизмов.

В качестве испытываемой жидкости использовался дрожжевой водный раствор, приготовленный в соотношении 1 г сушеных дрожжей на 1 л воды. Эта дрожжевая смесь обрабатывалась в электрогидравлической установке на трех режимах ее работы, отличающихся соотношением параметров электрической емкости накопительных конденсаторов (C , мкФ) и величиной подаваемого на них напряжения (U , кВ):

- мягкий режим ($U = 25$ кВ, $C = 6,0$ мкФ);
- средний режим ($U = 50$ кВ, $C = 1,5$ мкФ);
- жесткий режим ($U = 60$ кВ, $C = 0,6$ мкФ).

При каждом режиме испытаний обработка жидкости выполнялась тремя сериями воздействий — 100, 200 и 300 разрядов. Для повышения достоверности эксперимента опыты при каждой серии воздействий повторялись трижды.

Перед каждым опытом и по его завершению проводился отбор проб, причем в обработанные пробы для интенсификации жизнедеятельности сохранившихся дрожжевых бактерий вводилась глюкоза в объеме 1 мл на 3 мл обработанного раствора. Наличие и количество выживших дрожжевых бактерий в отобранных пробах оценивалось после их 24-часовой выдержки по соотношению в пробнике (герметичный 20-миллиметровый стерильный шприц) объемов раствора (V_p) и газа (V_r), выделяемого бактериями в процессе их жизнедеятельности.

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментов при мягком режиме обработки жидкости представлены в табл. 1.

Так как газ является продуктом жизнедеятельности микроорганизмов в растворе, то уменьшение его объема по отношению к объему жидкости (V_r/V_p) говорит о том, что с увеличением вложенной в раствор энергии разрядов снижается количество живых микроорганизмов, содержащихся в нем.

Для выявления характера зависимости $V_r/V_p = f(N_r)$, где N_r — количество поданных в жидкость разрядов; использовалась программа обработки статистических данных SPSS, в регрессионном анализе которой есть функция «подгонка кривых», позволяющая не только оперативно подобрать зависимость для набора экспериментальных данных, но и оценить степень корректности такой зависимости. По полученным экспериментальным данным были построены четыре регрессионные модели — линейная, квадратичная, кубическая и

экспоненциальная. Оценочные параметры адекватности моделей показали, что результаты экспериментов лучше всего описываются экспоненциальной моделью вида

$$V_r/V_p = 3,317 \cdot \text{EXP}(-0,007 \cdot N_r). \quad (1)$$

Графическая зависимость степени обеззараживания раствора от вносимой энергии разрядов представлена на графике рис. 2.

Расчет по зависимости (1) показал, что для максимального обеззараживания раствора до уровня $V_r/V_p = 0,01$, т. е. близкого к нулю, на мягком режиме требуется подать 830 разрядов.

Аналогичный анализ был проведен для среднего и жесткого режимов обработки. Его результаты представлены на графиках рис. 3, 4, 5 и в табл. 2.

Сравнение расчетных зависимостей степени обеззараживания от вносимой энергии в диапазоне от 100 до 800 разрядов при различных режимах обработки после 24-часовой выдержки жидкости приведено на рис. 5.

Из графика рис. 5 видно, что самым эффективным режимом обработки является жесткий режим.

Результаты обработки раствора дрожжевых грибов на мягком режиме работы электрогидравлической установки

Таблица 1

Мягкий режим	Количество разрядов, ед.			
	0 (Эталон)	100	200	300
Относительное значение (V_r/V_p):	4,000	1,750	0,875	0,375
опыт № 1	2,000	2,125	0,750	0,250
опыт № 2	3,000	2,000	1,000	0,500
опыт № 3				

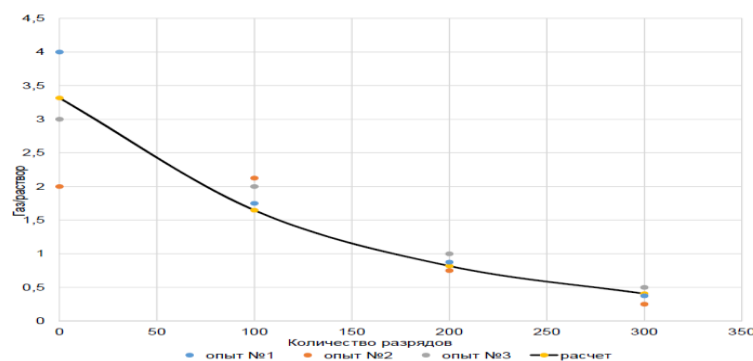


Рис. 2. Экспоненциальная зависимость степени обеззараживания от вносимой энергии разрядов на мягком режиме

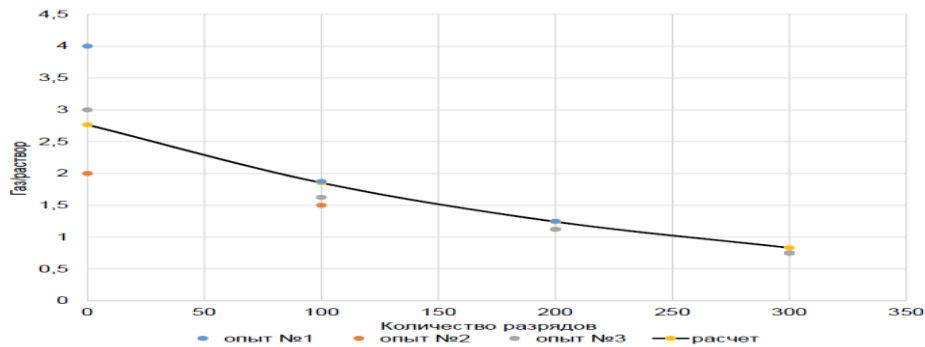


Рис. 3. Экспоненциальная зависимость степени обеззараживания от вносимой энергии разрядов на среднем режиме

Расчет по зависимостям табл. 2 показал, что для обеззараживания раствора до уровня $V_r/V_p = 0,01$, т. е. близкого к нулю, на жестком режиме требуется 620 импульсов, в то время как на среднем и мягком режимах для этого необходимо воздействие 1400 и 830 импульсов соответственно.

С учетом полученных результатов представляет интерес исследование интенсивности восстановления популяции грибков после электрогидравлической обработки. Как указывалось ранее, восстановление концентрации живых грибков в пробах начинается примерно через 24 часа после обработки. Замеры соотношения V_r/V_p в пробах через 72 часа позволили получить видоизмененные регрессионные модели, представленные в табл. 3. Графики, построенные по этим моделям, показаны на рис. 6.

На графиках хорошо видна тенденция, ведущая к совпадению регрессионных моделей для всех режимов.

Установлено, что показатель числа микроорганизмов в растворе (V_r/V_p) в зависимости от времени его выдержки (T_v , ч) нарастает по линейному закону (рис. 7), а скорость их восстановления определяется тангенсом угла наклона линии нарастания.

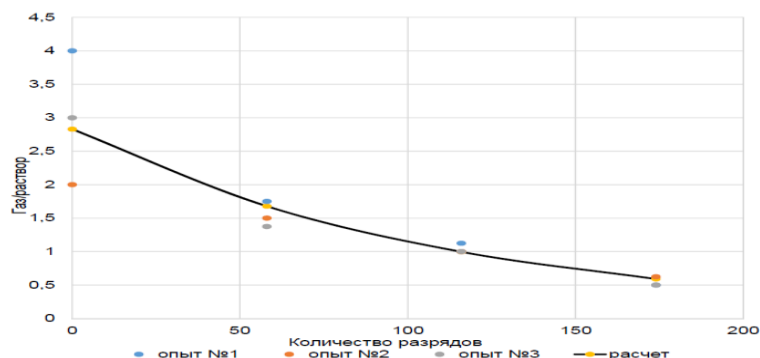


Рис. 4. Экспоненциальная зависимость степени обеззараживания от вносимой энергии разрядов на жестком режиме

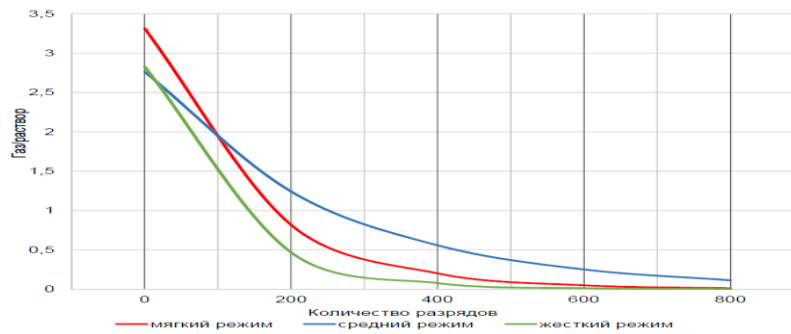


Рис. 5. Сравнительное протекание процесса обеззараживания в соответствии с замерами через 24 часа

Таблица 2

Регрессионные зависимости $V_r/V_p = f(N_r)$ по замерам после 24-часовой выдержки обработанной жидкости

Режим	Формула
Мягкий режим	$V_r/V_p = 3,317 \cdot \text{EXP}(-0,007 \cdot N_r)$
Средний режим	$V_r/V_p = 2,765 \cdot \text{EXP}(-0,004 \cdot N_r)$
Жесткий режим	$V_r/V_p = 2,830 \cdot \text{EXP}(-0,009 \cdot N_r)$

Таблица 3

Регрессионные зависимости $V_r/V_p = f(N_r)$ по замерам после 72-часовой выдержки обработанной жидкости

Режим	Формула
Мягкий режим	$V_r/V_p = 4,396 \cdot \text{EXP}(-0,005 \cdot N_r)$
Средний режим	$V_r/V_p = 3,972 \cdot \text{EXP}(-0,004 \cdot N_r)$
Жесткий режим	$V_r/V_p = 3,848 \cdot \text{EXP}(-0,004 \cdot N_r)$

Приведенные результаты экспериментов позволяют считать жесткий режим наиболее эффективным для электрогидравлического обеззараживания жидкости. При этом опыты проводились при предельных значениях параметров процесса. Целью дальнейших экспериментов являлся поиск оптимальных значений параметров жесткого режима обработки из диапазонов всех возможных их значений по напряжениям разряда, емкостям накопительных конденсаторов и количеству разрядов.

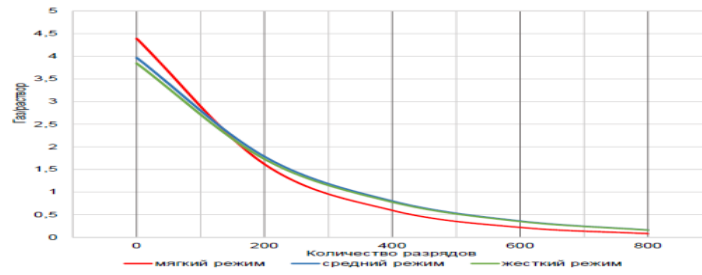


Рис. 6. Сравнительное протекание процесса обеззараживания в соответствии с замерами через 72 часа

В качестве параметра оптимизации выбрано относительное значения объема образовавшегося газа к объему раствора (V_r/V_p), в качестве факторов варьирования — напряжение разряда, емкость конденсаторов и число вносимых в раствор электрических разрядов. Выбранные факторы отвечают требованиям, предъявляемым к ним по управляемости, точности замера, совместимости и отсутствию корреляции. Факторы эксперимента и диапазоны их варьирования приведены в табл. 4.

Количество опытов при проведении полного факторного эксперимента с тремя факторами и двумя уровнями их варьирования равно $Y = 2^3 = 8$. В ходе каждого из восьми опытов определялось значение параметра оптимизации V_r/V_p , а также время сохранения бактерицидности T_b и скорость восстановления популяции микроорганизмов в растворе TV . Матрица плана эксперимента и результаты опытов представлены в табл. 5.

Из данных табл. 5 видно, что 5-й опыт показал не только максимальный эффект обеззараживания, но и максимальное время сохранения бактерицидности среды и минимальную скорость восстановления популяции микроорганизмов. Соотношение значений факторов (параметров режима обработки), соответствующих опыту № 5, можно считать близким к оптимальному для достижения наибольшего эффекта электрогидравлического обеззараживания водных растворов.

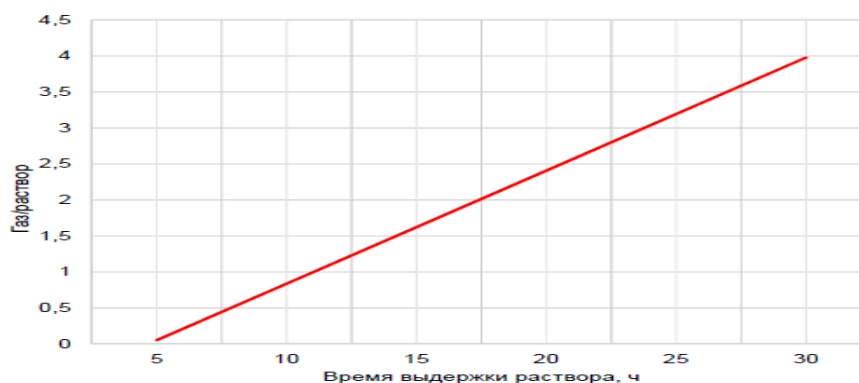


Рис. 7. График восстановления популяции микроорганизмов в растворе после его электрогидравлической обработки с параметрами жесткого процесса ($U=60$ кВ, $C=0,6$ мкФ, $N_r=300$ разрядов)

Таблица 4

Факторы эксперимента и интервалы их варьирования

п/п	Наименование фактора	Верхний уровень	Нижний уровень
	Напряжение разряда U , кВ	60	35
	Емкость конденсатора C , мкФ	0,6	0,1
	Количество разрядов N , ед.	600	300

Таблица 5

Результаты опытов с данными по эффективности обеззараживания, времени сохранения бактерицидности и скорости восстановления микроорганизмов в растворе

№ омер опыта	U , кВ	C , мкФ	N_r , ед.	V_r/V_p , %	TV	$TБ$, ч
1	35	0,25	300	0,058	0,126	7,34
2	35	0,60	300	0,566	0,143	3,85
3	60	0,25	300	0,629	0,190	4,48
4	60	0,60	300	0,494	0,157	4,66
5	35	0,25	600	0,010	0,103	7,71
6	35	0,60	600	0,207	0,150	6,42
7	60	0,25	600	0,374	0,145	5,22
8	60	0,60	600	0,286	0,130	5,60

Заключение

Проведенные исследования уточнили, что при электрогидравлической обработке жидкости снижение в ней количества живых микроорганизмов в зависимости от количества вложенной энергии происходит не по линейному, а по экспоненциальному закону. Максимальный эффект обеззараживания раствора с дрожжевыми грибами достигается на жестком режиме обработки 600-ми разрядами с параметрами $U = 35$ кВ и $C = 0,25$ мкФ. Данный режим можно считать близким к оптимальному для достижения наибольшего эффекта электрогидравлического обеззараживания

водных растворов. Примерно через 24 часа для исследованного вида дрожжевых грибов количество микроорганизмов в растворе начинает восстанавливаться с нарастанием их популяции по линейному закону. Скорость восстановления популяции микроорганизмов разная, но такая, которая приводит к выравниванию концентраций примерно через 72 часа несмотря на разные режимы обработки. При этом режим, обеспечивающий наибольшее время сохранения бактерицидного состояния раствора с дрожжевыми грибами, совпадает с режимом оптимальной эффективности его обеззараживания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Указ Президента Республики Узбекистан, от 10.07.2020 г. № УП-6024
2. Жмур, Н. С. (2003). Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 512 с.
3. Правительство Российской Федерации (2012). Постановление от 19.04.2012 № 350 (ред. 19.11.2014). О федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах». М.: Правительство Российской Федерации, 249 с.
4. Пупырев, Е. И. (2015). Как выбрать лучшую технологию для сооружений очистки воды. В: Сборник выступлений на конференции «Качество воды как индикатор социального благополучия государства», М.: Мосводоканал, сс. 22–23.
5. А.С. Бердишев, А.А.Турдибаев, Н.А. Айтбаев Обеззараживание жидкости методом электрогидравлического удара / Ўзбекистонда фанлараро инноватсиялар ва илмий тадқиқотлар журнали. Тошкент: 2021. - Б. 176-186.
6. Хенце, М., Армоэс, П., Ля-Кур-Янсен, Й. и Арван Э. (2004). Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. М.: Мир, 480 с.
7. Электронный фонд правовой и нормативной технической документации (2016). ИТС 10-2015. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов: [online] Доступно по ссылке: <http://docs.cntd.ru/document/1200128670> [Дата обращения: 05.04.2019].
8. Добромиров, В. Н., Аврамов, Д. В. и Мартынов, Н. В. (2019). Технология обеззараживания жидкости на основе

электрогидравлического эффекта. Вода и экология: проблемы и решения, № 2, сс. 17–23. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.2.17-23.

9. Юткин, Л. А. (1986) Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 253 с.

10. A.Turdiboev, N.Aytbaev Water disinfection method and technique for increase of water

nutrient content for plants applying electrohydraulic effect. ICECAE 2022 3rd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering.

11. Эпов, А. Н. и Канунникова М. А. (2015). Очистка сточных вод предприятий агропромышленного комплекса. Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения, № 1, сс. 52–59.

12. German Association for Water, Wastewater and Waste (2000). Standard ATV-DVWK-A 131E. Dimensioning of single-stage activated sludge plants. Hennef: Publishing Company of ATV-DVWK, Water, Wastewater, Waste, 57 p.

13. Ivanov, V., Wang, X.-H., Tay, S. T.-L. and Tay, J.-H. (2006). Bioaugmentation and enhanced formation of microbial granules used in aerobic wastewater treatment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 70, Issue 3, pp. 374–381. DOI: 10.1007/s00253-005-0088-5.

14. А.С. Бердишев, А.А.Турдибаев, Н.А. Айтбаев Суюқликни электрокимёвий таъсир усули билан зарарсизлантириш / международная конференция академических наук. -Новосибирск: 2021. - С. 5-18.

15. Parker, D. and Wanner, J. (2007). Review of methods for improving nitrification through bioaugmentation. In: Proceedings of the Water Environment Federation. WEFTEC 2007: Session 61 through Session 70, pp. 5304–5326.