

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. Н. Штепа¹, В. И. Дунай², О. Н. Прокопеня³

¹Д. т. н., доцент, проректор по научной работе УО «Полесский государственный университет», Пинск, Беларусь, e-mail : tppoless@gmail.com

²К. б. н., доцент, ректор УО «Полесский государственный университет», Пинск, Беларусь, e-mail : box@polessu.by

³К. т. н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : olegprokopeny@mail.ru

Реферат

Разработана и испытана в лабораторных условиях схема очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий. Результаты испытаний показали высокое качество очистки воды: редукция по показателям «Концентрация хлоридов» и «Химическое потребление кислорода» составила 98,6 % и 99,5 %, соответственно. Выявленный недостаток, состоящий в потере функциональности ионообменных фильтров в связи с образованием слизистой жироподобной оболочки на ионитах, устранен внедрением вместо ионообменных фильтров электролизной установки.

При наличии автоматизированной системы управления данная установка обеспечивает требуемое качество очистки. В то же время она позволяет утилизировать отходы фильтрации с получением на их основе гипохлоритного дезинфектанта, который может быть востребован в различных отраслях.

Ключевые слова: очистка сточных вод, ионообменные фильтры, электролизная установка, гипохлорит.

APPLICATION OF THE AUTOMATIC ELECTROLYSIS PROCESSES IN WASTE WATER PURIFICATION SYSTEMS FROM FISH PROCESSING ENTERPRISES

V. N. Shtepa, V. I. Dunay, O.N. Prokopeny

Abstract

The scheme of the waste water treatment for fish processing enterprises developed and tested in laboratory conditions. The results of test demonstrate high-quality water treatment: reduction according to the indicators "Concentration of chlorides" and "Chemical oxygen consumption", respectively, 98.6% and 99.5%. At the same time, the disadvantage associated with the loss functionality ion-exchange filters because of formation of the mucous fat-like shell on ion exchangers. To eliminate the disadvantage electrolysis installation was applied instead of ion-exchange filters.

In the presence of an automated control system, this installation provides the required cleaning quality. At the same time, it allows us to dispose of filtering waste with the receipt of a hypochlorite disinfectant on their basis, which can be in demand in various branches.

Keywords: waste water purification, ion-exchange filters, electrolysis installation, hypochlorite.

Введение

При посоле рыбы и икры используют крепкие (140–160 г/л) растворы хлорида натрия [1]. Загрязнение белками, жирами и азотистыми соединениями делает их непригодными для многократного использования без специальной очистки. Более того есть некоторые виды бактерий и дрожжевых грибов, способных жить в крепких солевых растворах, которые вызывают в тузлуке гнилостное брожение, что очень опасно [2].

Типичные показатели отработанного рассола для засолки рыбы предприятия рыбопереработки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав отработанного рассола для засолки рыбы

Показатель	ГОСТ 7448-2006
Азот общий, %	–
Азот аммонийный, мг/л	не более 29,2
Жиры, мг/л	не более 43,3
Фосфор, мг/л	не более 22,5
Хлориды, мг/л	–
Сульфаты, мг/л	не более 100
Химическое потребление кислорода (ХПК), мгО ₂ /л	не более 30

Обычно сброс сточных вод осуществляется в местные водоемы (пресные или соленые) или в канализационную систему [3]. При этом промышленные стоки предприятий рыбопереработки могут быть токсичными для рыбы и прочих водных организмов [1].

Соответственно, процессы на всех стадиях рыбопереработки подлежат контролю и надзору за соблюдением требований к выбросам, зафиксированным в Директиве ЕС 76/464/ЕЕС, и очистке городских сточных вод (Директива 91/271/ЕЕС). Рамочная директива ЕС по воде 2000/60/ЕС требует от рыбоперерабатывающих предприятий выполнения природоохранных мероприятий для достижения оптимального экологического и химического состояния поверхностных вод [2, 3].

Анализ состояния проблемы

Сточные воды, сбрасываемые рыбоперерабатывающими предприятиями, как правило, разделяются на четыре категории [4]:

- незагрязненные – от барометрических конденсаторов и от освежения оборотной воды с температурой +25 °С – +40 °С;
- загрязненные, содержащие жиры;
- загрязненные нежирные;
- тузлуки.

Первая категория может сбрасываться в водоёмы и канализацию без очистки. Вторая и третья категории обычно объединяются, и для их очистки используется комбинация разных способов [5]. Что касается тузлука, то перспективным является его повторное использование после регенерации.

Известны общие способы обработки тузлуков [5]:

- 1) добавление щелочи до осаждения белка, содержащегося в тузлуке, в изотонической точке, последующая фильтрация, а затем нейтрализация кислотой;
- 2) фильтрация тузлука через активированный уголь, что обеспечивает извлечение до 70 % азотистых веществ;
- 3) нагрев тузлука при температуре +103 °С в течение 15 мин, а затем отделение белковой взвеси центрифугированием;
- 4) очистка тузлука с помощью ультрафильтрации и диализа;
- 5) применение для очистки тузлука различных коагулянтов.

Так обработку тузлука хлорной известью производят в отдельном помещении с вытяжной вентиляцией [6]. Тузлук подают в приемный колодец, где он смешивается с поступающей туда из приготавителя 30–50 %-ной (по активному хлору) известковой суспензией хлорной извести. Перемешивание тузлука с суспензией производится с помощью сжатого воздуха или лопастей мешалки в течение 2–3 минут. Вспененный тузлучный раствор из приемного колодца перекачивают центробежным насосом в отстойник для отстаивания в течение 1 часа. Очищенный тузлук подают на подкрепление. Осадок из отстойника удаляют. Расход хлорной извести, содержащей 25 % активного хлора, составляет 10 г на 1 дм³ тузлука (примерно 1 % объема тузлука).

Перспективной является ультрафильтрация на основе мембран, например типа МФАС-Б, МФАР-Б. Это микропористый пленочный материал, изготовленный на основе смеси ацетатов целлюлозы, общей пористостью 80–85 %. При этом, актуальным направлением является комбинирование физико-химических методов с ультрафильтрацией, к которым относятся [4–6]:

- механическая фильтрация – очистка от взвешенных и коллоидных частиц;
- коагуляция белков и жиров;
- глубокая очистка отработанного тузлука от высокомолекулярных органических соединений на трубчатых ультрафильтрах;
- доочистка на угольном адсорбере, при необходимости, с возможностью реализации ионообменных процессов.

Примером одной из наиболее эффективных является технологическая схема очистки сточных вод, используемая на рыбоперерабатывающем комплексе города Оули (Финляндия) [4, 5]. Согласно данной схеме, на первом этапе система механической фильтрации удаляет твердые частицы и крупные загрязнения, на втором этапе производится очистка загрязненной воды от органических загрязнений массой более 200 кДа методом ультрафильтрации под вакуумом на заряженных полимерных мембранах. Периодически, по мере концентрирования в емкости органических загрязнений до максимально возможной степени, производится их сброс в шламовый резервуар-накопитель. Шлам после дальнейшего сгущения вывозится на утилизацию. Фильтрат подается на финишную стадию очистки. В качестве оборудования на данной стадии применяются установки нанофильтрации со специально подобранными мембранами компании Filmtec, которые пропускают в фильтрат до 85 % хлорида натрия. Фильтрат представляет собой загрязненную воду со сниженной на 15–20 % концентрацией поваренной соли и после корректировки солевого состава подается на повторное использование на участок посола рыбы.

В процессе эксплуатации такой системы водоочистки установлено, что локальная очистка сточных вод с повторным использованием тузлука дешевле их полной очистки и сброса в водные объекты в соответствии с существующими требованиями предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязнителей, что обеспечивает повышение технико-экономических показателей производства [7]. Кроме того, повторное использование очищенного от органических примесей и взвешенных веществ рассола является шагом к созданию безотходного производства. Таким образом, при построении новых систем водоочистки также следует ориентироваться на повторное использование отходов, либо производство на их основе полезного продукта.

При этом следует учитывать, что для дезинфекции производственных и бытовых помещений используются привозные химические реагенты, и было бы целесообразно также производить их из продуктов очистки.

Исходя из выявленных особенностей процесса переработки тузлука, можно сформулировать основные направления исследований с целью совершенствования процесса очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий (рисунок 1).

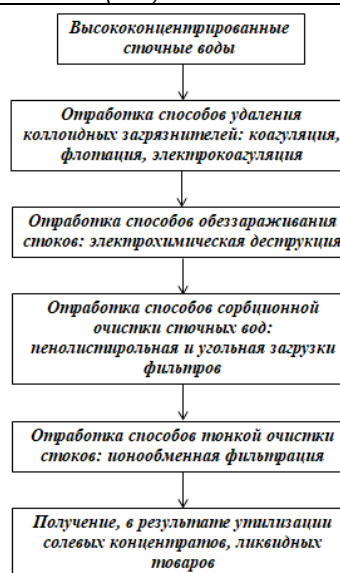


Рисунок 1 – Концептуальные направления исследований для совершенствования процесса очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий

Постановка задачи

На основе анализа преимуществ и недостатков известных методов очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий, а также используемого на различных стадиях очистки оборудования необходимо разработать эффективную для отечественных условий схему процесса очистки, обосновать выбор необходимого оборудования и уровень его автоматизации, при которых обеспечивается максимальная степень вторичной переработки отходов.

Результаты экспериментальных исследований

На основе анализа результатов предварительных экспериментов по обработке высококонцентрированных водосбросов были сформулированы следующие выводы относительно целесообразности использования комплексной флоаткоагуляции, электрокоагуляции, электрохимической деструкции, сорбционной фильтрации:

1. Флоаткоагуляция и электрохимическая деструкция выполняют технологические задачи – осаждения и окисления дисперсных соединений загрязнителей с эффективностью порядка 60–70 %.
2. Перед ионообменной фильтрацией целесообразно применять сорбционную фильтрацию для уменьшения нагрузки на иониты, желательно с использованием загрузки на основе активированного угля.

С учетом этого предложена следующая технологическая схема очистки (рисунок 2). Она содержит последовательную обработку устройствами и агрегатами:

- сита, жируловители – механическое отделение загрязнителей;
- электрофлоаткоагулятор – очистка от дисперсных соединений загрязнителей;
- электрохимический деструктор – обеззараживание стоков и окисление загрязнителей оставшихся после флоаткоагуляции;
- сорбционные фильтры (например, фильтрация через пенополистирол и активированный уголь с предварительным подщелачиванием стоков до pH около 8);
- ионообменные фильтры.



Рисунок 2 – Технологическая схема реализации очистки высококонцентрированных сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия

На основе предложенной схемы (см. рисунок 2) была проведена обработка сточной воды. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объединённые результаты электрофлотокоагуляционной очистки, электрохимической деструкции и ионной фильтрации

Номер пробы (стадия обработки)	Водород. показ., pH	Хлориды, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Сульфаты, мг/л	Взвеш. в-ва, мг/л	ХПК мгО ₂ /л	Фосфат ион, мг/л	Азот аммон., мг/л
Исходная (сточная) вода	5,88	14244,0	43013,0	522,0	3796,0	20200,0	864,8	14,03
№ 1 (Электрофлотокоагуляционная очистка)	7,62	19759,0	47946,0	152,0	2286,0	8689,0	<1,5	14,94
№ 2 (Электрохимическая деструкция)	8,26	17697,0	36512,0	116,2	1414,0	7395,0	<1,5	19,16
№ 3 (Сорбционная фильтрация)	7,97	5105,0	11188,0	57,1	764,0	2280,0	<1,5	10,19
№ 4 (Катионирование)	1,73	438,0	1652,0	1276,0	54,0	193,0	<0,5	<2,0
№ 5 (Анионирование)	11,82	67,0	312,0	<40,0	48,0	<100,0	<0,5	<2,0
№ 6 (Полный цикл ионообменной фильтрации: катионирование + анионирование)	8,06	202,0	390,0	57,1	22,0	<100,0	<0,5	<2,0

Используемые режимы водоочистки (при расходе сточных вод в лабораторной установке – 5 м³/сутки):

Стадия обработки № 1: доза химического коагулянта (FeCl₃) – 2200 мг/л, доза щёлочи – 90 мг/л, сила тока – 50 А, напряжение 23 В.

Стадия обработки № 2 (очищалась вода после стадии обработки № 1): сила тока – 70 А, напряжение – 22 В.

Стадия обработки № 3 (очищалась вода после стадии обработки № 2): использовались фильтры с пенополистирольной загрузкой и угольный картридж, скорость фильтрации – 0,5 мм/с.

Стадия обработки № 4 (очищалась вода после стадии обработки № 3): использовался катионит регенерированный согласно методических рекомендаций [6] после предварительной водоочистки, скорость фильтрации – 0,5 мм/с.

Стадия обработки № 5 (очищалась вода после стадии обработки № 3): использовался анионит регенерированный согласно методических рекомендаций [6] после предварительной водоочистки, скорость фильтрации – 0,5 мм/с.

Стадия обработки № 6 (очищалась вода после стадии обработки № 3): выполнялся полный цикл ионообменной фильтрации, где использовались катионит и анионит заново приготовленные, скорость фильтрации – 0,5 мм/с.

По показателям «Концентрация хлоридов» и «Химическое потребление кислорода» (стадии обработки № 1, № 2, № 3, № 6) эффективность очистки представлена на рисунках 3 и 4.

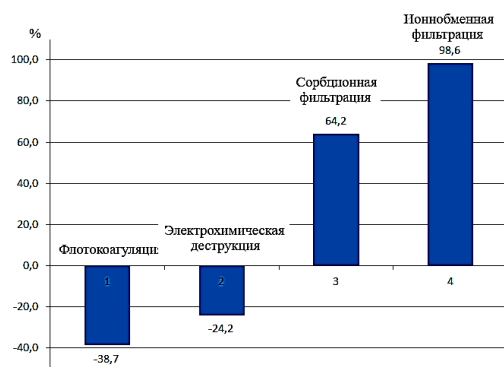


Рисунок 3 – Редукция хлоридов на разных стадиях очистки (повышение их концентрации при электрофлотокоагуляции связано с использованием коагулянта FeCl₃)



Рисунок 4 – Редукция по ХПК на разных стадиях очистки

Полученные результаты показывают, что предложенная технологическая схема обеспечивает высокое качество очистки. Однако апробационная практика эксплуатации электродиализёра при очистке сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия показала, что через небольшой период (менее 3 суток) нормальная работа устройства нарушилась, что сопровождалось выделением из него «специфического неприятного гнилостного» запаха.

Поскольку в электродиализёре используются ионообменные мембраны, то встал вопрос о восстановлении функциональности ионообменных смол после их регенерации.

Цикл регенерации смолы включает в себя [6, 8]:

- промывку водой для удаления взвешенных солей;
- пропускание реагента через смолу для удаления ионов, которые связаны со смолой;
- промывку водой для удаления раствора регенерации.

В составе фильтров для разных ионитов используются разные реагенты (для катионитов – кислоты, для анионитов – щёлочи, совместно – деминерализованная вода).

Были проведены процессы регенерации обоих видов смол после обработки сточных вод. При регенерации, выполненной согласно методическим рекомендациям [6], экспериментально подтвердилось, что смолы после фильтрации полноценно не восстановили функциональность (см. таблицу 2, стадии обработки № 4 и № 5): после катионита имела место повышенная концентрация сульфатов, а после анионита – высокое значение pH. При этом формировалась слизистая жироподобная плёнка, которая не смывалась.

Совершенствование процесса очистки

Для устранения выявленного недостатка было решено вместо ионообменных фильтров использовать электролизные гипохлоритные установки. Последние позволяют также получать из сточных вод дезинфектант на основе электролиза растворов поваренной соли, значительные концентрации которой находятся в тузлуке.

В целом гипохлорирование [9] – электрохимический способ получения гипохлорита натрия (NaClO) основан на синтезе хлора путем электролиза водного раствора хлорида натрия (NaCl) и его взаимодействии со щелочью в одном и том же аппарате – электролизере (рисунок 5).



Рисунок 5 – Внешний вид экспериментального электролизного блока получения гипохлорита натрия из обработанной сточной воды рыбоперерабатывающего предприятия (с возможностью работы с загрязнённым водным раствором)

Полученный продукт, при повышении концентрации хлоридов до 200 г/л, продемонстрировал признаки дезинфектанта на основе гипохлорита натрия (при массовой концентрации активного хлора не менее 7 г/л). Это создаёт объективные предпосылки для производства ликвидных товаров (рисунок 6) на основе хлорпроизводных.

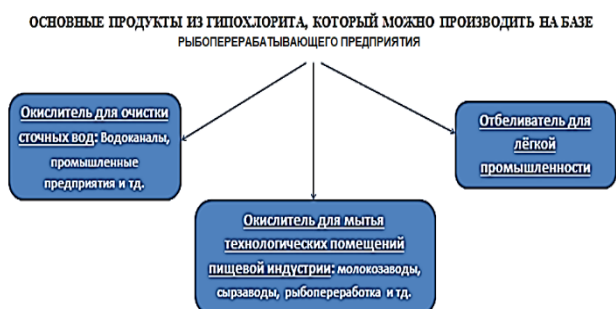


Рисунок 6 – Варианты использования гипохлоритного дезинфектанта, получаемого в результате очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий

На рисунке 7 представлена усовершенствованная схема очистки, в которой используются все элементы из предыдущей схемы (см. рисунок 2), кроме ионообменных фильтров. Вместо них применены электролизные гипохлоритные установки, позволяющие получать гипохлоритный дезинфектант, который может использоваться как для обработки используемого технологического оборудования, так и в качестве побочного продукта для последующей реализации. В частности, на его основе могут быть получены препараты для санитарной обработки против коронавирусов, что придает дополнительную актуальность данной технологии.

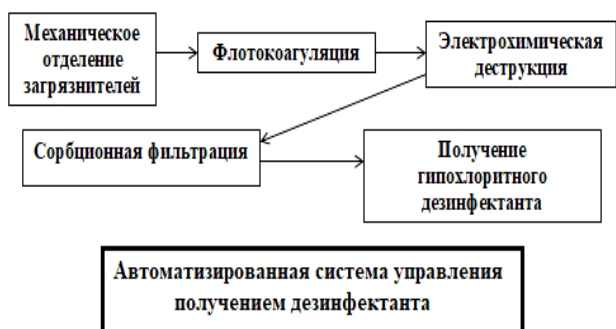


Рисунок 7 – Вариант структурной схемы очистки стоков с получением дезинфектанта

Следует отметить, что процесс получения гипохлорита натрия путем электролиза требует контроля и регулирования ряда параметров [10]:

- контроль электропроводности раствора;
- контроль мутности исходного раствора;
- контроль pH раствора;
- контроль температуры водного раствора;
- регулирование силы тока и напряжения;
- регулирование подачи раствора.

Поэтому, электролизная установка должна быть автоматизированной, т.е. иметь соответствующие системы контроля и регулирования, без чего не может быть обеспечено требуемое качество очистки и получение дезинфектанта с заданными параметрами.

Заключение

Разработанная и апробированная в лабораторных условиях схема очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий показала свою эффективность, редуция по показателям «Концентрация хлоридов» и «Химическое потребление кислорода» составила 98,6 % и 99,5 %, соответственно. Выявленный

недостаток, состоящий в потере функциональности ионообменных фильтров в связи с образованием слизистой жироподобной оболочки на ионитах, устранен внедрением вместо ионообменных фильтров электролизной установки. При наличии автоматизированной системы управления данная установка при обеспечении требуемого качества очистки позволяет утилизировать отходы фильтрации с получением на их основе гипохлоритного дезинфектанта, который может быть востребован в различных отраслях.

Дальнейшие исследования необходимо направить на создание математической модели процесса электролиза и разработку автоматизированной системы управления электролизной установкой, что позволит использовать ее в составе высокоэффективных комплексов очистки сточных вод.

Список цитированных источников

1. Поспелов, Ю. В. Технологические процессы, оборудование и линии рыбоперерабатывающих производств / Ю. В. Поспелов, Г. Н. Ким. – Владивосток : Орион, 2007. – 270 с.
2. EC (European Commission). 2005. Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. BREF finalized. Dated January 2006. p.
3. EC (European Commission). 2006. Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. BREF finalized. Dated January 2006. EC. [Electronic resource] – Mode of access: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
4. Ашуров, А. Методы очистки сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия [Электронный ресурс] / А. Ашуров, Дж. Н. Шерматов, А. М. Саидов // Избранные публикации проекта «Водная Гармония»: Водные исследования и технологии. – Норвегия : Проект Водная Гармония, 2015. – Режим доступа: http://www.waterh.net/wp-content/uploads/2015/10/Article_42.pdf. – Дата доступа: 12.05.2023.
5. Очистные предприятия рыбопереработки [Электронный ресурс] / Удачные проекты. – Режим доступа: <https://luckyprojects.ru/dlya-gyborpererabotki.html>. – Дата доступа: 17.04.2023.
6. Мазоренко, Д. І. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва / Д. І. Мазоренко, В. Г.Цапко, Ф. І. Гончаров – К.: Знання, 2006 – 376 с.
7. Вертай, С. П. Обоснование структуры и заданий системы поддержки принятия решений обобщенной оценки перспективности инновационных технологий / С. П. Вертай, В. Н. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. – Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2016. – Вип. 240. – С. 86–93
8. Штепа, В. М. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки / В. М. Штепа, Ф. І. Гончаров, М. А. Сироватка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць. – Київ : НУБіПУ, 2011. – Вип. 161. – С. 187–193.
9. Штепа, В. М. Обґрунтування робочої міри ефективності електротехнологічної водоочистки / В. М. Штепа // Енергетика і автоматика. – 2018. – № 4. – С. 99–111. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11558>. – Дата звернення: 16.10.2019.
10. Вероятностные нейронные сети в задачах управления комбинированными системами водоочистки / В. Н. Штепа [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 2 (110): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 88–90.

References

1. Pospelov, Yu. V. Tekhnologicheskie processy, oborudovanie i linii ryborerabatyvayushchih proizvodstv/ Yu. V. Pospelov, G. N. Kim. – Vladivostok : Orion, 2007. – 270 s.

2. EC (European Commission). 2005. Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. BREF finalized. Dated January 2006. p.
3. EC (European Commission). 2006. Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. BREF finalized. Dated January 2006. EC. [Electronic resource] – Mode of acces: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
4. Ashurov, A. Metody ochistki stochnyh vod rybopererabatyvayushchego predpriyatiya [Elektronnyj resurs] / A. Ashurov, Dzh.N. SHermatov, A. M. Saidov // Izbrannye publikacii proekta «Vodnaya Garmoniya»: Vodnye issledovaniya i tekhnologii. – Norvegiya : Proekt Vodnaya Garmoniya, 2015. – Rezhim dostupa: http://www.waterh.net/wp-content/uploads/2015/10/Article_42.pdf. – Data dostupa: 12.05.2023.
5. Ochistnye predpriyatij rybopererabotki [Elektronnyj resurs] / Udachnye proekty. – Rezhim dostupa: <https://luckyprojects.ru/dlya-rybopererabotki.html>. – Data dostupa: 17.04.2023.
6. Mazorenko, D. I. Inzhenerna ekologiya sil'skogospodarskogo virobniactva / D. I. Mazorenko, V. G. Capko, F. I. Goncharov. – K. : Znannya, 2006 – 376 s.
7. Vertaj, S. P. Obosnovanie struktury i zadaniy sistemy podderzhki prinyatiya reshenij obobshchyonnoj ocenki perspektivnosti innovacionnyh tekhnologij / S. P. Vertaj, V. N. SHtepa // Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraïni. Seriya : Tekhnika ta energetika APK. – Kiïv : Vidavnichij centr NUBiP Ukraïni, 2016. – Vip. 240. – S. 86–93
8. SHtepa, V. M. Obgruntuvannya ta rozrobka kriteriyu energoefektivnosti funkcionuvannya elektrotekhnologichnih sistem vodopidgotovki / V. M. SHtepa, F. I. Goncharov, M. A. Sirovatka // Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraïni. Seriya: Tekhnika ta energetika APK: zbirnik naukovih prac'. – Kiïv : NUBiPU, 2011. – Vip. 161. – S. 187–193.
9. SHtepa, V. M. Obgruntuvannya robochoï miri effektivnosti elektrotekhnologichnoï vodoochistki / V. M. SHtepa // Energetika i avtomatika. – 2018. – № 4. – S. 99–111. – [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupu: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11558>. – Data zvernennya: 16.10.2019.
10. Veroyatnostnye nejronnye seti v zadachah upravleniya kombinovannymi sistemami vodoochistki / V. N. SHtepa [i dr.] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 2 (110): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geokologiya. – S. 88–90.

Материал поступил 19.05.2023, одобрен 21.06.2023, принят к публикации 21.06.2023