

Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики  
Государственное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**«БиоТехВод – 2020»**  
(Биотехнологии очистки воды)

ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ СТАНОВЛЕНИЯ  
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ПРОФ. КУЛИКОВА Н.И.



**МАКЕЕВКА 2020**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»**

**«БИОТЕХВОД – 2020»**

**(Биотехнологии очистки воды)**

*Электронный сборник материалов I Международной очно-заочной  
конференции «Биотехнологии очистки воды»*

**(20-21 февраля 2020 г., г. Макеевка)**

**Макеевка, 2020**

УДК 628.16(063)  
ББК 38.761.2я43  
Б 64

*Печатается по решению Ученого совета ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_.2020 г.*

**Редакционная коллегия:**

Мущанов В. Ф. - председатель оргкомитета, проректор по научной работе, д.т.н., проф.  
Нездойминов В.И. - проректор по учебной работе, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и ОВР, д.т.н., проф.  
Рожков В.С. - секретарь оргкомитета, к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и ОВР.  
Чернышев В.Н. - к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и ОВР.  
Синежук И.Б. - к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и ОВР.  
Лесной В.И. - к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и ОВР.  
Жибоедов А.В. - к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и ОВР.  
Зятин В.И. - к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и ОВР.

Б 64 Биотехнологии очистки воды: Электронный сборник по материалам открытой I Международной очно-заочной конференции молодых ученых и студентов / Редколлегия: В.Ф. Мущанов, В.И. Нездойминов, В.С. Рожков и др. – Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2020. – 75 с.

Электронный сборник содержит 23 научные работы участников I Международной очно-заочной конференции молодых ученых и студентов Биотехнологии очистки воды. Материалы представлены по таким тематическим направлениям: «Биохимические и технологические аспекты очистки природных и сточных вод», «Проблемы и инновационные решения в отрасли водоснабжения и канализации».

Данное издание будет полезно магистрам, студентам, молодым ученым и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки по рассматриваемым тематическим направлениям.

*Научное электронное издание*

Авторы научных статей несут ответственность за оригинальность текстов, а также достоверность изложенных фактов и положений

© ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры», 2020

## СЕКЦИЯ 1. БИОХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

УДК 628.166

Надточей А.И., Чумак В.А.

магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
ГОУ ВПО «ДонНАСА»

### ОБЗОР МЕТОДОВ ДООЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (ХОС).

Одним из наиболее важных требований к качеству питьевой воды является отсутствие возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний. Поэтому возникает необходимость их обезвреживания. Наиболее распространенным и надежным методом обеззараживания питьевой воды является хлорирование. Однако, данный способ за счет взаимодействия хлора и органических веществ, находящихся в воде, приводит к образованию побочных продуктов хлорирования – галогенорганических соединений, большая часть которых приходится на тригалогенметаны (ТГМ). В эту группу соединений входит хлороформ ( $\text{CHCl}_3$ ), который угнетает деятельность центральной нервной системы, влияет на функции печени и почек, при концентрациях, превышающих ПДК наблюдается нейротоксические и кардиотоксические эффекты, канцерогенное и мутагенное действия [7]. По этой причине поиск методов, позволяющих снизить содержание ХОС в питьевой воде, является одной из наиболее актуальных проблем в системах водоподготовки.

Предпочтение отдается технологиям, направленным не на удаление побочных продуктов хлорирования, а на предотвращение или минимизацию их образования при обеззараживании воды.

Наиболее рациональными решениями, позволяющим уменьшить образование ХОС в питьевой воде, является:

- применение хлораммонизации на предварительной стадии обработки воды;
- уменьшение концентрации органических веществ в воде до контакта с хлорсодержащими реагентами или исключение хлорсодержащих реагентов при первичном хлорировании.

К методам удаления ХОС из воды можно отнести:

- применение МІЕХ-технологий;
- кипячение и отстаивание;
- сорбционная очистка.

Рассмотрим подробнее вышеуказанные методы.

*Хлораммонизация.* Связанный хлор обладает более низким окислительным потенциалом по сравнению со свободным хлором, поэтому при его использовании в подготовке питьевой воды образуется значительно меньшее количество ХОС. При этом качество обеззараживания и пролонгирующий эффект остается на достаточном уровне. Недостатком данного метода является образование хлораминов, наличие которых приводит к снижению эффекта обесцвечивания, что требует определения зависимости величины цветности от доз и последовательности ввода хлора и аммиака [5].

*Уменьшение концентрации органических веществ в воде до контакта с хлорсодержащими реагентами или исключение хлорсодержащих реагентов при первичном хлорировании.* При первичном хлорировании воды используются большие дозы хлора в присутствии органических веществ. К методам, позволяющим отказаться от первичного хлорирования, относятся: озонирование, УФ-излучение или другие, обеспечивающие высокую степень инактивации вирусов и бактерий [2]. Недостатками данных методов является дороговизна, отсутствие пролонгирующего эффекта, а также возможность образования токсичных побочных продуктов при озонировании – формальдегида и ацетальдегида [4].

*МІЕХ-технология.* МІЕХ – высокоосновная ионообменная смола с магнитными свойствами и небольшими размерами гранул. Магнитные свойства позволяют гранулам действовать как слабые индивидуальные магниты, которые увеличивают агломерацию частицы и способствуют быстрому оседанию. Кроме того за счет малых размеров гранул смола отличается развитой поверхностью. Эксперименты с использованием смолы МІЕХ показали уменьшение количества ТГМ более чем на 60% [8]. При этом регенерацию загрузки можно проводить реже, чем при использовании других материалов и веществ.

*Кипячение и отстаивание.*

Существует мнение, что концентрация хлороформа при отстаивании и кипячении воды уменьшается. В работе [2] предполагается, что данное вещество переходит в другие виды химических соединений. Исследования влияния кипячения и отстаивания на процесс изменения концентрации хлороформа в воде приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность отстаивания и кипячения при удалении из воды хлороформа [2]

| Способы обработки воды  | Отстаивание в течении 2-х часов | Отстаивание в течении 6 часов | Отстаивание в течении 24 часов | Кипячение в закрытой таре     | Кипячение в открытой таре      |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Концентрация хлороформа | Снизилась на 10-20%             | Снизилась на 40%              | Снизилась на 60-75%            | Уменьшение до уровня 1/6 ПДК* | менее 0,005 мг/дм <sup>3</sup> |

\*ПДК хлороформа в России для питьевой воды составляет 0,2 мг/л [1]

*Сорбционная очистка.* Исследования адсорбции хлороформа активными углями показала эффективность углей из абрикосовых косточек, березовых углей, а также смеси каменных углей [4]. Считается, что процесс сорбции хлороформа на их поверхности обусловлен суммарным объемом микро и мезопор сорбента [3]. Согласно работе [6], где приведены данные о свойствах и качестве активированных углей на основе антрацита, суммарная площадь их пор в зависимости от степени активации составляет от 0,15 до 0,24 см<sup>3</sup>/г (для сравнения суммарная площадь пор активированного угля на основе косточек персика составляет 0,36 см<sup>3</sup>/г). При этом эффективность применения антрацитовых активированных углей при очистке воды от хлороформа достаточно высока в сравнении распространенными марками на основе смеси каменных углей и составляет около 96% при исходной концентрации СНСІ<sub>3</sub> = 2,8 мг/л.

Удаления хлороформа в процессе подготовки питьевой воды возможно с использованием одного из вышеперечисленных методов. Большие запасы антрацитовых углей на территории Донецкого угольного бассейна наводят на мысль о возможности использовании данного сырья при доочистке питьевой воды в нашем регионе.

### Список литературы

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Минздрав России, 2002. - 46 с.
2. Вишневецкий, В.Ю. К вопросу гигиенической оценки содержания хлорорганических соединений в питьевой воде /Ледяева В.С// Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–201
3. Дзювина, О.И. Оценка эффективности сорбционной очистки питьевой воды от хлороформа/ Химия в интересах устойчивого развития 16: 2008г.-479–484
4. Краснова, Т.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ВОДОПОДГОТОВКИ И ВОДООТВЕДЕНИЯ/ Беяева О.В., Кирсанов М.П// ISSN 2074-9414. Техника и технология пищевых производств. № 3:-2012г.
5. Малкова, М.А. Мониторинг хлорирования воды хозяйственно-питьевого назначения и поиск путей снижения содержания галогенорганических соединений в питьевой воде.

6. Мухин, В.М. Разработка технологии получения активного угля на основе антрацита и исследование его свойств/ Учанов П.В., Сотникова Н.И// Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т. 13. Вып. 1

7.Руководство по контролю качества питьевой воды: Рекомендации / ВОЗ. Т. 1. – М.: Медицина, 1994.

8 P. Jutaporn, W. Laolertworakul, M. D. Armstrong and O. Coronell Fluorescence spectroscopy for assessing trihalomethane precursors removal by MIEX resin. The Authors Water Science & Technology | 79.5 | 2019

УДК 628.315

Волкова В. Н.  
аспирант  
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,  
г. Владивосток, Россия

## ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РАБОТЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ «ЦЕНТРАЛЬНЫЕ»

Канализационные очистные сооружения (КОС) «Центральные» - первые по производительности очистные сооружения в Приморском крае (160 тыс. куб. м./сут) построенные к саммиту Азиатско-Тихоокеанского экономического содружества (АТЭС) в 2012 году. На данный момент эксплуатируется 1 блок биологической очистки мощностью 80 000 куб. м/сут., рассчитанные на удаление биогенных элементов. На станцию поступают промышленные и хозяйственно-бытовые стоки из следующих микрорайонов – Первой речки, Второй речки и п-ов Шкота [1].

Целью исследования является оценка и анализ работы КОС «Центральные». Методы исследования эмпирические для сравнения количества и концентрации сточных вод за 3-х летний период. Принятая технологическая схема очистки сточной воды на КОС «Центральные» обеспечивает глубокую очистку до нормативов на сброс в водоем рыбохозяйственного назначения. Процесс биологической очистки сточных вод проводится без первичного отстаивания. Сточные воды последовательно проходят следующие ступени очистки:

- механическая очистка: решетки, песколовки;
- биологическая очистка: аэротенки с нитри-денитрификацией, вторичные горизонтальные отстойники, воздуходувная станция, реагентная дефосфатация;
- доочистка на песчаных фильтрах;
- обеззараживание на УФ-установках.

Результаты исследования и их обсуждения. В работе рассмотрен состав сточных вод и эффективность очистки сточных вод от биогенных элементов в течении 3-х лет (см. таблица 1). Уникальность технологии очистных сооружений состоит в очистке сточных вод, в аэротенке нитри-денитрификаторе карусельного типа (рисунок 1).

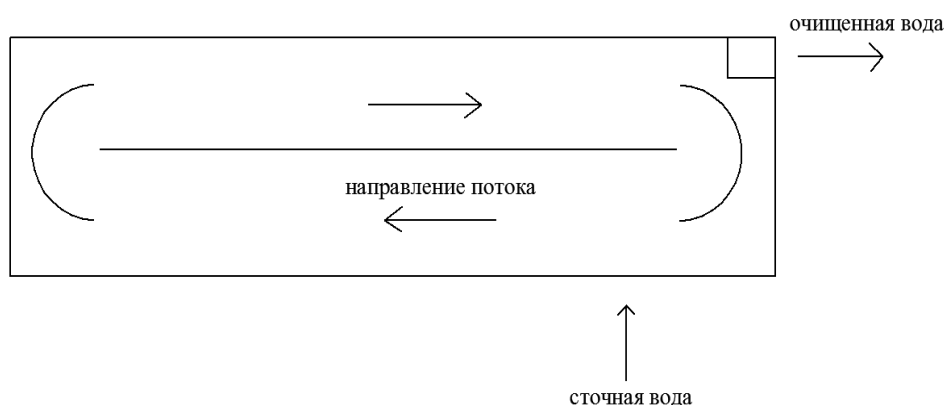


Рисунок 1 – схема аэротенка нитри-денитрификатора карусельного типа

Таблица 1 - Сведения о составе поступающих и очищенных сточных вод по КОС «Центральные», мг/л

| № | Вещество | 2016 год |       |      | 2017 год |       |      | 2018 год |       |      |
|---|----------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|------|
|   |          | вход     | выход | Э,%* | вход     | выход | Э,%* | вход     | выход | Э,%* |
|   |          |          |       |      |          |       |      |          |       |      |



|   |                     |       |      |      |        |      |       |       |      |       |
|---|---------------------|-------|------|------|--------|------|-------|-------|------|-------|
| 1 | БПК5                | 66,84 | 4,72 | 92,3 | 71,16  | 5,19 | 91,9  | 75,96 | 6,28 | 91,63 |
| 2 | Взвешенные вещества | 78,12 | 5,57 | 92,4 | 102,38 | 7,5  | 92,58 | 110,4 | 8,8  | 91,73 |
| 3 | Аммоний             | 30,14 | 1,67 | 93,9 | 32,37  | 1,26 | 96,12 | 33,51 | 3,24 | 94,22 |
| 4 | Фосфаты (P)         | 1,96  | 1,18 | 58,5 | 2,34   | 1,26 | 46,3  | 2,51  | 1,39 | 44,31 |

\*Э, % - эффективность очистки сточных вод

По взвешенным веществам, аммонии и нефтепродуктам эффективность с 2016 по 2017 год увеличивается, но к 2018 году падает, эффективность очистки сточных вод упала из-за изменений в технологии и очистке азотенка от песка [2]. Эффективность очистки по фосфатам и БПК 5 с каждым годом снижается. В 2019 году эффективность очистки сточных вод должна возрасти, так как проведен ряд мероприятий по улучшению технологии очистки сточных вод.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 23.07.2007 г. № 496 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» для КГУП «Приморский водоканал» утверждены нормативы допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водный объект (НДС) (см. таблица 2).

Таблица 2 – НДС КОС «Центральные»

| № | Наименование вещества | Класс опасности | Утвержденный норматив допустимого сброса веществ, мг/л |
|---|-----------------------|-----------------|--|
| 1 | БПК5                  | не установлено  | 7,5  |
| 2 | Взвешенные вещества   | 4               | 10,93  |
| 3 | Аммоний               | 4               | 2,9  |
| 4 | Фосфаты (P)           | 4               | 1,73   |

По данным таблиц 1 и 2 можно сказать, что очистка сточных вод идет в пределах нормативов, но очищать сток хотелось бы до предельно допустимых концентраций (ПДК) указанных в СанПин 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» и применять воду для оборотного водоснабжения [3].

#### Список литературы

1. Владивосток в цифрах. Краткий Статистический сборник.: Примстат, 2012. 50 с.
2. «Примводоканал» повышает качество очистки на центральных очистных сооружениях Владивостока [Электронный ресурс]/ Primamedia. 2018. – Режим доступа: <https://primamedia.ru/news/752940/?from=37c>
3. СанПин 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Введ. 26.09.2001. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 128 с.



УДК 64.065

**Золотухина Н. В., Дудник А. В.,**  
Бендерский политехнический филиал  
Приднестровского Государственного Университета им. Т.Г. Шевченко  
Приднестровская Молдавская Республика, г. Бендеры

### **СОВРЕМЕННАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ «ECOSOFT»**

На сегодняшний день проблема чистой воды поднимается все чаще. Так как, поступающая в жилище вода, в последнее время становится все хуже и хуже, люди постоянно изобретают новые способы ее очистки, чтобы привести воду в состояние, при котором ее можно было бы без вредных последствий употреблять для питья и приготовления пищи. На сегодня придумано довольно много различных методов водоподготовки, но очистка воды методом обратного осмоса является наиболее эффективной и результативной. Данный метод, как и большинство физических открытий, был позаимствован изобретателями у живой природы. Ну а поскольку у природы не может быть ничего плохого, то данный метод и стал самым экологически безопасным способом очистки воды. Ученные обнаружили такой метод водоочистки во время изучения обменных процессов у многоклеточных организмов, когда они заметили, что их клетки, в большинстве случаев, состоят из материалов двух видов - пропускающих воду и задерживающих ее. Было замечено, что клетки практически всех живых элементов в природе состоят из мембран, через которые просачиваются только молекулы воды, а твердые частицы задерживаются [1, с. 425].

После проведения исследований люди поняли, что если на более насыщенный раствор воздействовать давлением, которое превышало бы осмотическое, то можно будет наблюдать обратный процесс - будет происходить перетекание молекул воды из насыщенного раствора в менее концентрированный. Данный метод назвали методом обратного осмоса, и на основании этого метода и работают мембранные установки очистки воды «EcoSoft» (рис.1).

Обратный осмос - это мембранный процесс, во время которого растворитель (чаще вода) проходит через полупроницаемую мембрану из более концентрированного в менее концентрированный раствор, то есть в обратном для осмоса направлении. Мембрана пропускает растворитель, но не пропускает растворенные в нем примеси. Благодаря свойствам обратноосмотических мембран и физике самого процесса, обратный осмос позволяет удалять мельчайшие частицы загрязнений, включая вирусы и даже ионы металлов.

Как говорят ученые и разработчики установок очистки воды, на сегодняшний день метод обратного осмоса является самым лучшим, и в обозримом будущем аналогов ему не предвидится. Очистка воды методом обратного осмоса позволяет полностью удалить из воды соли жесткости и металлы, которые являются причиной появления накипи на посуде и на элементах нагревательных приборов. Установка, работающая по принципу обратного осмоса, подает в воду кислород. Современная комплексная система EcoSoft работает по этому принципу.

Производство мембран обратного осмоса. Мировым лидером производства мембранных элементов является корпорация FilmTec - структурное подразделение корпорации DOW Chemical (США). Производство мембранных элементов ведется непосредственно в США. Мембраны компании сертифицированы во всем мире для очистки воды, как для питьевых целей, так и в промышленности. Мембраны DOW FilmTec диаметром 2,5” - 4”- 8” представлены несколькими сериями для основных типов воды: XLE – для пресной; BW – для соленой; SW – для морской и с повышенным уровнем солености [2].

Официальным импортером мембран “DOW FilmTec” в Украине с 1995 года является компания EcoSoft. А с 2017 года компания начала производство собственных мембранных элементов из американского полотна, что позволило удешевить технологию обратного осмоса.

Что представляет собой мембрана? Внутри рулона находится перфорированная трубка, которая служит для создания прочности элемента, сбора очищенной воды и базой для намотки

мембраны в процессе производства. На нее намотан толстый слой полупроницаемого полиамидного мембранного полотна (рис.2). В процессе фильтрования, вода попадает в толщину полотна и собирается в трубке. Благодаря такой конструкции эти мембраны имеют самую высокую производительность, минимальную материалоемкость и занимают меньше всего места. Поэтому рулонные мембраны являются наиболее распространенным в мире и занимают 95% промышленного рынка. 5% занимают аппараты с плоскими мембранными элементами и аппараты для подготовки воды на базе полых волокон.

Мембранное полотно изготовлено из достаточно чувствительного материала, поэтому качество воды, которое поступает на очистку должно строго соответствовать допустимым значениям: менее 0,56 мг/л взвешенных веществ; окисляемость - менее 4 мгО<sub>2</sub>/л; свободного хлора менее 0,1 мг/л; температура подаваемой воды - 4 - 30 °С; железо - до 0,1 мг/л; марганец - до 0,05 мг/л; жесткость - до 3 мг-экв/л.

Часть параметров (железо, марганец, силикаты) могут быть выше заявленных норм в случае использования антискалантов (специальных веществ, которые препятствуют отложению осадка на поверхности мембраны). Остальные параметры достигаются благодаря предварительной очистке, которая может предусматривать механическое фильтрование, умягчение, обезжелезивание или адсорбцию, в зависимости от параметров исходной воды.



Рис.1. Обратный осмос

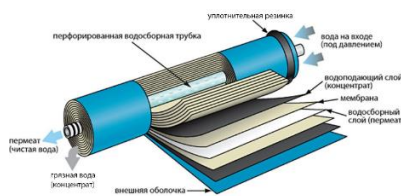


Рис.2. Строение обратноосмотической мембраны

Процесс фильтрации выглядит так: вода из водопровода поступает на блок предварительной очистки, она предусматривает такие этапы: предварительная очистка; адсорбция органических примесей и хлора; финишная очистка. Внутри мембранного модуля происходит разделение воды на два потока концентрат и пермеат. Концентрат отводится в канализацию, а пермеат поступает на дезодорацию и минерализацию (если предусмотрено). Дезодорация воды пропусканием через пост-фильтр из активированного угля. Благодаря уникальным свойствам кокосового угля, вода, пропущенная через него, обладает приятным сладковатым привкусом и является совершенно безопасной для человека.

Стадия минерализации. На этом этапе вода проходит через фильтр, наполненный природными породами (кальцитом, известняком и пр.), которые способны к ограниченному растворению в воде. Минерализация не является обязательной стадией очистки воды и может устанавливаться опционально. Обслуживание бытовых фильтров обратного осмоса для питьевой воды включает в себя замену картриджей (обычно раз в 3 месяца, мембраны и постфильтра (раз в году) и минерализатора (раз в 6 месяцев).

С помощью обратного осмоса можно также эффективно осуществлять опреснение и обессоливание морской воды, очищать воду для нужд кондитерской, пищевой и фармацевтической промышленности, а также очищать воду в сточных коллекторах.

### Список литературы:

1. Журба М. Г., Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Т.2 Очистка и кондиционирование природных вод. – М.: Издательство АСВ, 2004. - 496 с.
2. Очистка воды методом обратного осмоса - хорошее средство водоподготовки [ЭР] Режим доступа: <https://www.bwt.ru/useful-info/ochistka-vody-metodom-obratnogo-osmosa>

УДК 544.032

Золотухина Н. В., Дудник А. В.,  
Бендерский политехнический филиал  
Приднестровского Государственного Университета им. Т.Г. Шевченко  
Приднестровская Молдавская Республика, г. Бендеры

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ НЭМИ

С ускоренным развитием промышленности потребность очищения сточных вод в промышленных масштабах ежегодно увеличивается. Сегодня существует не один метод, с помощью которых осуществляется очистка воды в больших объемах для производства. Электрохимическая очистка воды используется как метод для очистки сточных вод предприятий и природной среды. Спектр удаляемых примесей огромен: соли щелочноземельных металлов, марганец, железо, тяжелые металлы, мутность, цветность, органические комплексы, нитраты, аммиак и его соединения, нитраты, радионуклиды, локальные загрязнения отдельными веществами. Все физико-химические методы очистки сточных вод разделяют по основному процессу на следующие группы: 1) комбинированные методы - электрохимическое обеззараживание, электрофлоккоагуляция, электроосаждение, электрокаталитическая деструкция, комплексное электровоздействие; 2) методы разделения - электрофильтрование, электрофлотацию, электрофорез, электродиализ, электроосмос; 3) методы преобразования - электровосстановление, электроокисление, электрокоагуляцию, электрокристаллизацию и электрохимическую деструкцию.

Опишем, как работают электрохимические методы очистки воды. В воду опускаются электроды, на которые подается постоянный ток. Электроды разделены мембраной, что не позволяет католиту и анолиту смешиваться и взаимно нейтрализоваться. Появление в воде кислоты и щелочи при пропускании постоянного электрического тока обусловлено реакцией разложения воды на кислород и водород. Таким образом, получается, что в воде появляются кислота и щелочь, которые и производят окисление или восстановление имеющихся примесей до нерастворимого состояния. Нерастворимые примеси удаляются на следующем этапе основными методами очистки сточных вод [1, с. 235].

В последнее десятилетие во всем мире наблюдается возрастающий интерес к электрохимическим устройствам и технологиям обеззараживания и очистки воды. К электрохимическим методам очистки воды относится метод очистки с помощью наносекундных электромагнитных импульсов (НЭМИ). В основе данного метода лежит безреагентная технология с малыми энергозатратами. Современная техника генерирования НЭМИ характеризуется следующими параметрами: длительность импульсов по уровню половины амплитуды  $t = 10^{-10} - 10^{-9}$  с, амплитуда импульсов – 7 кВ, частота повторений импульсов до 1000 Гц. Мощность одного импульса составляет порядка 1 МВт при расчете на нагрузку 50 Ом. Генерируемая энергия за 1 с равна 0,1 Дж.

Воздействие наносекундных импульсов на воду аналогично процессу радиолиза воды.

Импульсный радиолиз включает три стадии. I стадия – физическая, на ней происходит возбуждение и ионизация молекул воды. В результате к концу протекания данной стадии образуются возбужденные ( $H_2O^*$ ) и сверхвозбужденные ( $H_2O^{**}$ ) молекулы воды, ионы ( $H_2O^+$ ) и возбужденные вторичные электроны. Физико-химическая стадия (II стадия) характеризуется реакциями диссоциации возбужденных и сверхвозбужденных молекул воды, гидратацией и сольватацией вторичных электронов, и ионно-молекулярными реакциями. Во время протекания химической стадии (III стадия) импульсного радиолиза происходит взаимодействие образованных по реакциям (1)–(4) веществ между собой.

Некоторые результаты воздействия мощных наносекундных электромагнитных импульсов (НЭМИ) на водные растворы приведены в работах [2, 3]. Суть метода заключается в том, что водный

раствор подвергается воздействию электромагнитных импульсов длительностью менее 1 нс, амплитудой более 5 кВ без высокочастотного заполнения. Импульсы генерируются специальными генераторами, которые имеют небольшие габариты и массу, потребляют от сети мощность менее 100 Вт.

В исследованиях по очистке воды с помощью НЭМИ использовался генератор НЭМИ типа GNP со следующими характеристиками: длительность импульса 0,5 нс, амплитуда более 6 кВ, импульсная мощность более 1 МВт, частота повторения импульсов до 1000 Гц. Генератор имеет малые габариты 270x90x30 мм, масса 0,5 кг, потребление энергии от источника 10 Вт [2].

Импульс с выхода генератора подается на излучатель. В исследовательских работах использовались следующие излучатели: излучатель в виде рупорной антенны, которая погружалась непосредственно в водный раствор; излучатель в виде отрезка коаксиальной линии (стержень в стакане); установка проточного типа в виде отрезка коаксиальной линии, через которую прогоняется распыленный форсунками водный раствор.

Под понятием водный раствор необходимо понимать любой водный раствор, который содержит соли различных металлов и другие химические соединения. Целесообразно провести деление по количеству содержащихся веществ. При малой концентрации веществ используется понятие природная (питьевая) вода, при большой - модельный раствор или сточная вода.

При экспериментальных исследованиях после влияния НЭМИ на водный раствор наблюдалось значительное изменение в содержании ионов металлов Fe, Zn, Ni, Co.

Крымским В. В. в своей работе [3] предлагает использовать данный способ при технологии переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО), который можно классифицировать как способ с использованием нанотехнологии воздействия, изменяющей химический состав раствора. Результаты воздействия мощных наносекундных электромагнитных импульсов (НЭМИ) на водные растворы радионуклеидов и радиоактивные расплавы металлов приведены в работе [3].

Многие исследования и работы с положительными результатами применения данного метода позволяют судить о возможности использования способа НЭМИ при очистке сточных вод промышленных предприятий.

При настройке оборудования для электрохимической очистки на производстве учитываются все факторы: скорость потока, сила тока и напряжение, состав очищаемой воды, материал электродов, температура среды и так далее.

Конечно, при высокой степени загрязнений, или необходимой большой производительности, количество потраченной электроэнергии больше, но иногда этот метод наилучшим образом вписывается в задачи очистки промышленных сточных вод, и относительно легко реализуется в предложенных обстоятельствах.

Таким образом, происходит очистка воды без вводимых реагентов, количество солей не увеличивается, как в случае дозирования реагентов, есть возможность использовать очищенную воду в замкнутом цикле, после монтажа системы для очистки требуется только электроэнергия и материалы для электродов.

В настоящее время становится понятно, что наряду с привычными методами водоочистки в комплексе можно использовать технологию электрохимической очистки воды.

### Список литературы:

1. Журба М. Г., Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Т.2 Очистка и кондиционирование природных вод. – М.: Издательство АСВ, 2004. - 496 с.
2. Крымский В. В., Литвинова Е. В. «Электротехнологические способы изменения свойств воды». Башкирский химический журнал № 4 (том 17), 2012
3. Крымский В. В. «Воздействие наносекундных импульсов на водные растворы радионуклеидов». Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 10 (114) 2012 Научно-технический центр «ТАТА», 2012

УДК 628.16

**Синежук И.Б.,**  
доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
**Дину М. О.**  
манистрант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
ГОУ ВПО «ДонНАСА»

### **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗЫ КОАГУЛЯНТА**

На сегодняшний день основным технологическим приемом удаления из воды грубодисперсных примесей, находящихся во взвешенном состоянии и коллоидных органических загрязнений, присутствующих в воде в растворенном виде, является процесс коагуляции [1, с.4], важной особенностью которого является то, что в зависимости от условий проведения процесса коагуляции определяется эффективность дальнейшей очистки воды. Сам процесс коагуляции достаточно сложный, многостадийный и многофакторный на который влияют следующие факторы: качество исходной воды, величина дозы коагулянта, величина рН-среды, условия перемешивания воды с коагулянтом, температура обрабатываемой воды, применение вспомогательных реагентов, их дозы, порядок ввода реагентов в обрабатываемую воду [4, с.120].

В результате многочисленных исследований подтверждено, что глубина удаления примесей при очистке воды существенно зависит от дозы коагулянта, при этом необходимая степень очистки по разным показателям достигается при разных дозах коагулянта [1, с.235]. Следовательно, оптимальная доза коагулянта – это минимальное количество коагулянта, которое обеспечивает максимальное снижение концентрации грубо- и коллоидно-дисперсных примесей в обрабатываемой воде [2, с.11]. Оптимальная доза коагулянта зависит от свойств дисперсной системы; температуры, количества взвешенных и коллоидно-дисперсных веществ, ионного состава дисперсионной среды, значения рН коагулируемой воды. Как правило, требуемые дозы коагулянта находятся в пределах 0,3-1,5 мг-экв/л, устанавливаются экспериментально для каждого водоисточника в различные характерные периоды года в лабораторных условиях и уточняются при эксплуатации по результатам обработки воды [3, с.4].

В настоящее время теоретические разработки не дают возможности точного расчетного выбора необходимой дозы коагулянта. Это связано с очень многими факторами: отсутствие количественных характеристик различных по составу коллоидных примесей в водах различных типов; сложность формирования коагулированной взвеси и т.д.

Так, на процесс коагуляции большое влияние оказывает температура. При повышении температуры увеличивается скорость формирования и отделение твердых фазы и глубина гидролиза, что ускоряет и углубляет коагуляцию примесей, что должно приводить к снижению дозы коагулянта, однако чрезмерное повышение температуры увеличивает броуновское движение, что приводит к разрушению хлопьев. Так же и недостаточное или наоборот чрезмерно интенсивное перемешивание приводит к увеличению оптимальной дозы коагулянта.

По многочисленным наблюдениям в производственных условиях водоподготовки и анализе коагуляционной обработки рекомендованы оптимальные значения рН при обработке воды различного состава с использованием сернокислого алюминия [4, с.123]. Данные приведены в таблице 1.

В обработке воды часто прибегают к корректировке величины рН, используя подщелачивающие и подкисляющие реагенты.

Согласно исследованиям Е.Д. Бабенкова определено, что величина щелочности воды активно влияет на глубину гидролиза коагулянта, так что изменение общей щелочности воды может привести к увеличению или уменьшению потребности в коагулянте, причем коагуляция иногда



улучшается, если проводить лишь частичную нейтрализацию кислотности коагулянта, а величина остаточной щелочности может быть более надежным критерием для оценки результатов коагулирования, чем величина рН.

Таблица 1 - Оптимальные значения рН воды различного состава с использованием сернокислого алюминия [4, с.123]

| Качественная характеристика воды   | Оптимальные значения рН |
|--|-------------------------|
| Осветление и обесцвечивание мягких цветных вод со щелочностью до 1,5 мг-экв/л и цветностью более 50 град.                  | 5.0-6.0                 |
| Осветление и обесцвечивание вод средней жесткости (4-5 мг-экв/л) со щелочностью 3-4 мг-экв/л и цветностью до 40 град.      | 6.0-7.2                 |
| Осветление жестких (6-8 мг-экв/л) мало-цветных вод с повышенным содержанием (800-1000 мг/л) и щелочностью более 5 мг-экв/л | 6.5-7.5                 |

В исследованиях И.Э. Апельцина, Л.А. кульского, И.Т. Горонковского и др. было установлено, что анионный состав воды оказывает существенное влияние на процесс коагулирования. Особое значение следует придавать коагулирующему влиянию сульфат-иона  $SO_4^{2-}$  [4, с.125]. При коагулировании воды с содержанием 100 мг/л и более хлопьеобразование и гидролиз замедляется. Для ускорения процесса коагуляции рекомендуется добавление в воду сульфат-ионов [4, с.125]. А также влияние оказывает на процесс коагуляции такие ионы: хлор-ион, гидроксид-ион и бикарбонат-ион. Концентрации этих ионов в природных водах чаще всего минимальных значениях и за счет этого процесс коагулирования протекает недостаточно полно и быстро [4, с.125].

При повышении интенсивности перемешивания коагулянта с водой увеличивается плотность хлопьев и ускоряется их процесс осаждения. Но назначение смесителей состоит не только в равномерном распределении коагулянта в обрабатываемой воде до момента образования хлопьев во всей массе, но и в быстром смешении, чтобы коагулянт вступил в контакт с максимальным числом частиц загрязнений до того, как закончится реакция. Это имеет значение для последующей стадии коагуляции и экономии коагулянта [1, с.259].

Следовательно, в каждом конкретном случае оптимальной дозой коагулянта будет та, при которой все контролируемые показатели достигают нормируемых значений. Причем в зависимости от качества исходной воды и условий ее обработки диктующие показатели, по которым выбирается необходимая доза коагулянта, для разных водоисточников может быть разными и меняться при изменении качества воды в течение года.

### Список литературы

1. В.Л. Драгинский. Коагуляция в технологии очистки природных вод / Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. - Москва : 2005. - 571 с.
2. РД153-34.1-37.502-2000 Методические указания по очистке исходной воды на ТЭС. Разработано ОАО "Всероссийским дважды ордена Трудового Красного Знамени научно-техническим институтом (ОАО «ВТИ»). - М., 2003. - 27с.
3. Коагуляционный метод водообработки: теоретической основы и практической использовани / С.Н. Линевиц, С.В. Гетманцев ; Минобрнауки России ; Федер. агентство по образованию ; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т) ; ОАО «АУРАТ». – М. : Наука, 2007. – 230 с.

4. Е.Д. Бабенков. Очистка воды коагулянтами / Бабенков Е.Д. - М. : Наука, 1977. – 356 с.



УДК 628.113

Чернышев Г.И.,

магистрант кафедры «Водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов  
ГОУ ВПО «ДонНАСА»

## ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ АЗОТА ИЗ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ СТУПЕНЧАТОЙ НИТРИ-ДЕНИТРИФИКАЦИИ

Одним из требований к технологиям очистки городских сточных вод в настоящее время является необходимость удаления соединений азота с целью предотвращения эвтрофикации водоемов при сбросе в них сточных вод. Их расчетное содержание в очищенных стоках определяется процессами смешения и предельно-допустимыми концентрациями разных форм азота в воде водоёма [2, с.121].

Наибольшее распространение в практике удаления азота получила технология предшествующей денитрификации [3, с.8]. Такая технология позволяет использовать в качестве источников органического питания денитрифицирующих бактерий загрязнения сточных вод, что упрощает процесс очистки. Однако для их снабжения окисленными формами азота в этой технологии приходится предусматривать рециркуляцию иловых смесей. Значительная часть рециркуляционных потоков приходится на внутренний рецикл иловой смеси, который производится из нитрификаторов в денитрификаторы, при этом степень рециркуляции этой смеси резко возрастает при увеличении исходной концентрации в сточных водах аммонийного азота. Это увеличивает эксплуатационные затраты при эксплуатации такой технологии.

Свободной от такого недостатка является ступенчатая технологическая схема предшествующей денитрификации. При этом отпадает необходимость применения внутреннего рецикла иловой смеси [1, с.430]. Схема трехступенчатой технологии приведена на рис.1.

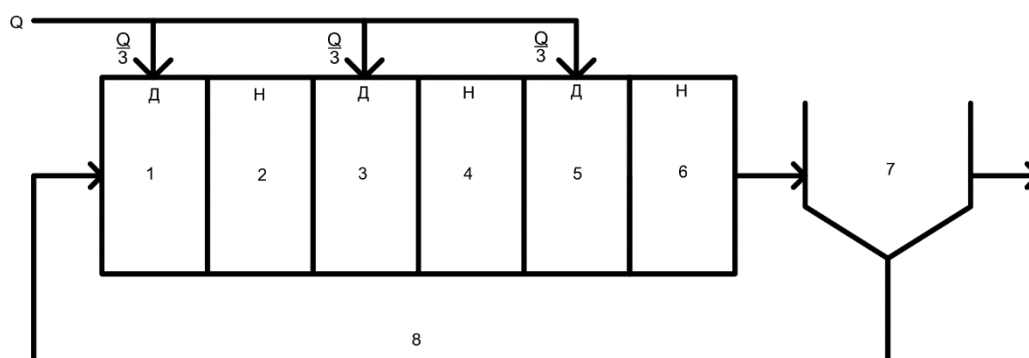


Рисунок 1. Схема трёхступенчатой предшествующей денитрификации

1 – денитрификатор 1-й ступени; 2 – аэротенк-нитрификатор 1-й ступени; 3 – денитрификатор 2-й ступени; 4 – аэротенк-нитрификатор 2-й ступени; 5 – денитрификатор 3-й ступени; 6 – аэротенк-нитрификатор 3-й ступени; 7 – вторичный отстойник; 8 – рециркуляция иловой смеси.

Однако, в литературе для такой технологической схемы развёрнутой методики расчёта нами не обнаружено. При проработке различных вариантов проектирования установлено, что расчёт сооружений необходимо начинать с определения концентраций азота аммонийного и азота нитратов, как после нитрификации, так и после денитрификации на каждой ступени технологии, используя уравнения материального баланса по аммонийному азоту. Определение этих показателей должно последовательно выполняться от последней ступени к первой. При расчёте последней ступени требуется исходить из заданных концентраций азота аммонийного и азота нитратов в очищенных сточных водах после нитрификации. Поскольку при нитрификации удаление азота не происходит, суммарное количество азота аммонийного и азота нитратов перед нитрификацией

должно равняться суммарному количеству этих компонентов в очищенных сточных водах, т.е. после нитрификации. Для определения конкретных концентраций этих компонентов после денитрификации должно быть составлено уравнение материального баланса для денитрификатора по аммонийному азоту, считая, что эта концентрация в ходе денитрификации не изменяется. При этом концентрация азота нитратов должна соответствовать условию равенства суммарному содержанию компонентов в очищенных стоках.

Расчёт концентраций азота для второй ступени требуется начинать с составления уравнения материального баланса для денитрификатора по аммонийному азоту, учитывая неизменность величины его концентрации при денитрификации. Так как, при нитрификации удаление азота из сточных вод не происходит, концентрация азота аммонийного перед нитрификацией равна концентрации азота нитратов после нитрификации.

Расчёт первой ступени аналогичен расчёту второй ступени технологии. В табл.1 приведены рассчитанные концентрации всех форм азота после каждого сооружения рассматриваемой технологии на примере сточных вод с расходом 25000 м<sup>3</sup>/сут с исходным содержанием азота аммонийного 30 мг/л и отсутствием нитратов, при БПК<sub>20</sub> сточных вод 220 мг О<sub>2</sub>/л. Требуемая концентрация в очищенных сточных водах азота аммонийного - 0,5 мг/л, азота нитратов - 9 мг/л. Степень рециркуляции ила из вторичного отстойника 1,0.

Таблица 1. Распределение концентраций форм азота после каждого сооружения технологии ступенчатой предшествующей денитрификации.

|                 | Денитрификатор 1-й ступени (мг/л) |       | Нитриф. 1-й ступ. (мг/л) | Денитрификатор 2-й ступени (мг/л) |       | Нитриф. 2-й ступ. (мг/л) | Денитрификатор 3-й ступени (мг/л) |       | Нитриф. 3-й ступ. (мг/л) |
|-----------------|-----------------------------------|-------|--------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------|
|                 | ход                               | выход |                          | ход                               | выход |                          | ход                               | выход |                          |
| NH <sub>4</sub> | 7,88                              |       | 1                        | 7,2                               |       | 1                        | 6,25                              |       | 0                        |
| O <sub>3</sub>  | ,75                               | ,5    | ,88                      | ,3                                | ,5    | ,2                       | ,0                                | ,25   | ,9                       |

Далее объёмы отдельных сооружений определяются исходя из удельных скоростей процессов денитрификации и нитрификации. Изучение влияния на общий объём сооружений концентраций аммонийного азота показало, что суммарные объёмы сооружений принимают минимальные значения при концентрации аммонийного азота после нитрификации на 1-й и 2-й ступенях равной 1,5 – 2 мг/л (рис.2.)

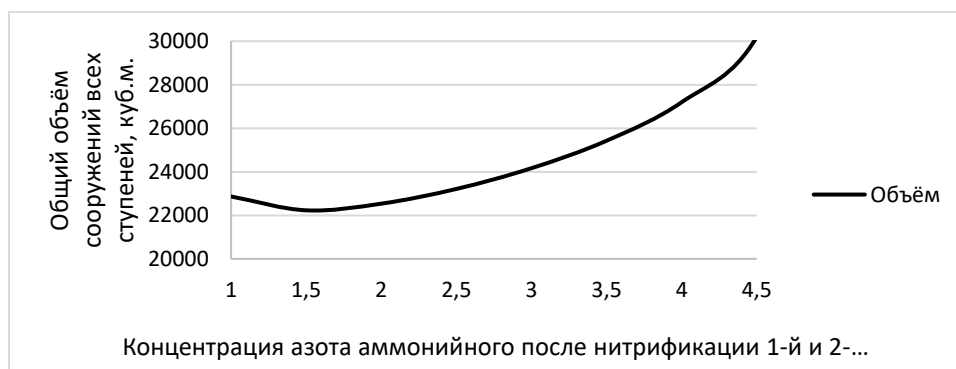


Рисунок 2. Зависимость общего объёма сооружений от концентрации азота аммонийного после нитрификации 1-й и 2-й ступеней.

Таким образом, разработанная методика проектирования позволяет принимать инженерные решения, минимизирующие капитальные затраты на строительство сооружений. Кроме того, расчеты показывают, что из-за отсутствия внутреннего рецикла иловой смеси при эксплуатации очистных сооружений со ступенчатой технологией значительно экономится электроэнергия. Так, при производительности сооружений 25000 м<sup>3</sup>/сут экономия составляет 4 850 тыс руб./год по сравнению с одноступенчатой технологией [4, с.12].

#### Список литературы

1. Ковальчук В.А. Очистка сточных вод. – Ровно: Ровенское издательство, 2002
2. Лихачев Н.И. Канализация населённых мест и промышленных предприятий/ Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин, и др.// Под общ. Ред.; - Москва: Стройиздат, 1981.
3. Мишуков Б.Г. Перспективные схемы биологической очистки сточных вод от азота и фосфора. Вода и экология, №1 1999 г.
4. Методические рекомендации по определению потребности в электрической энергии на технологические нужды в сфере водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод. Москва, 2007 г. Актуализация 2019 г.

УДК 628.1

**Деминов П.Е.,**  
аспирант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
**Джанков Д.А.**  
магистрант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
**ГОУ ВПО «ДонНАСА»**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА ДРОБЛЕНОМ АНТРАЦИТЕ**

В соответствии с концепцией очистки сточных вод, разработанной на кафедре ВВ и ОВР ГОУ ВПО «ДонНАСА» [1,2], для сброса очищенных сточных вод в водоемы первой категории, а также в водоемы второй категории при производительности систем очистки сточных вод более 2000 м<sup>3</sup>/сут, обязательным условием является доочистка на зернистых фильтрах. Само требование по доведению качества воды исходит из нормативов, предложенных Справочником по наилучшим доступным технологиям Российской Федерации [3].

Выбор способа доочистки на зернистых фильтрах связан с тем фактом, что наиболее прогрессивный в настоящее время метод илоразделения – мембранные технологии, обладает рядом технологических и экономических недостатков [4] и зачастую подразумевает высокие концентрации ила в сооружениях биологической очистки. При всех преимуществах такого процесса, в большинстве случаев, поддерживать концентрацию активного ила в биореакторах 5-7 мг/л не только не целесообразно (ввиду малых концентраций органических загрязнений в поступающих стоках), но и может негативно отразиться на степени удаления азота в биореакторах с эрлифтной системой аэрации.

Кроме того, исходя из требований по очистке от соединений фосфора, при комбинированном биологическо-химическом методе, являющемся наилучшим согласно [3], после введения реагента необходимо фильтрование сточных вод для отделения кристаллизованных соединений фосфора. Таким образом, доочистка на зернистых фильтрах может являться перспективной при использовании аэротенков-осветлителей с затопленной эрлифтной системой аэрации.

В качестве фильтрующего материала в данном исследовании принят дробленый антрацит, как ввиду специфики регионального ресурсооборота ДНР, так и в силу его перспективности как фильтрующего материала не только для систем очистки сточных вод [5].

Целью данной работы являлись поисковые исследования по нескольким направлениям:

1. Исследование эффективной степени задержания взвешенных веществ в аэротенках-осветлителях с самообновляющимся взвешенным слоем по [6]. Исследования Заворотного Д.В., которые в настоящее время исчерпывают весь научно-практический опыт работы таких сооружений, не распространялись на указанный выше показатель.
2. Определение задерживающей способности дробленого антрацита в качестве загрузки зернистых фильтров доочистки и его илоемкости.

Для комплексного решения поставленных целей была собрана пилотная установка комплексной биологической очистки в аэротенке-осветлителе с эрлифтной системой аэрации и доочистки на дробленном антраците (рис. 1)

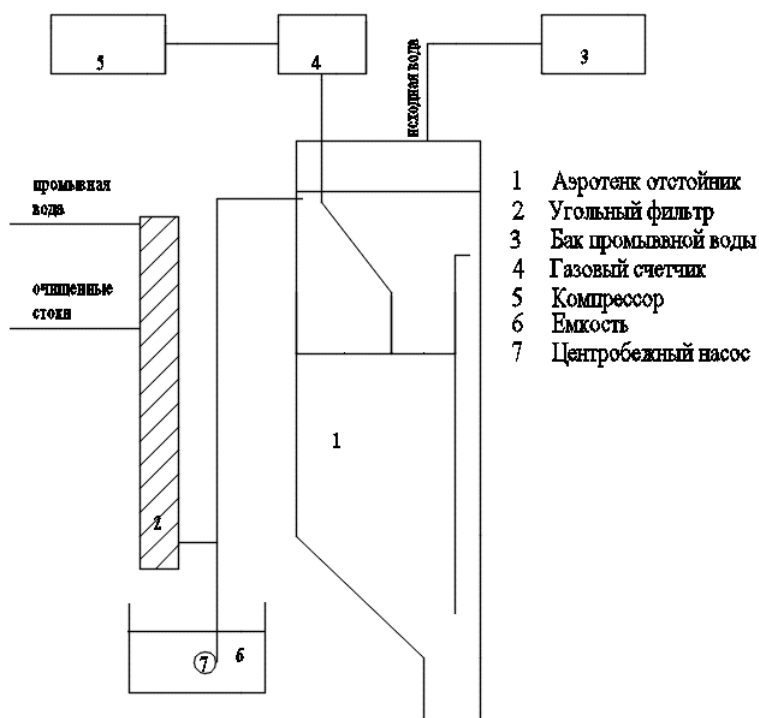


Рис. 1 Фото и схема пилотной установки комплексной очистки сточных вод.

Исходная вода из ёмкости 3 подаётся в аэротенк отстойник 1. Подача воздуха в аэротенк обеспечивается компрессором 5 и контролируется газовым счётчиком 4. Границей между осветлителем и отстойником является поверхность илоразделения, визуально наблюдаемая через прозрачные стенки корпуса 1 модели аэротенка осветлителя. После очистки в аэротенке осветлителе стоки отправляются проходят доочистку на угольном фильтре.

Скорость восходящего потока жидкости в осветлителе зависит от расхода жидкости, который подаётся в сооружение. Фильтрация осуществлялась снизу-вверх исходя из общеизвестных условий повышения грязеемкости зернистых фильтров.

Промывка осуществлялась также восходящим потоком повышенной интенсивности ( $15 \text{ л/с/м}^2$ ) в течение 7 минут.

Измерению подвергались: расход очищаемой жидкости, концентрация до фильтра, после фильтра с дробленой антрацитовой загрузкой.

Эффективность аэротенка-осветлителя позволила поддерживать концентрацию взвешенных веществ на выходе из биореактора в пределах 17-19 мг/л.

Концентрация взвешенных веществ в фильтрате составляла 3-4 мг/л.

Не характерная для фильтров (высокая) концентрация остаточных загрязнений в данном случае может быть объяснена небольшой высотой фильтрующего слоя (25см) на пилотной установке. Следует предположить, что при увеличении фильтрующего слоя до 1 м проскок частиц ила значительно снизится, что нуждается в проверке на полномасштабных сооружениях.

Снижение скорости фильтрования во времени представлено на рис.2 и описано классической экспоненциальной зависимостью с достаточной степенью достоверности.

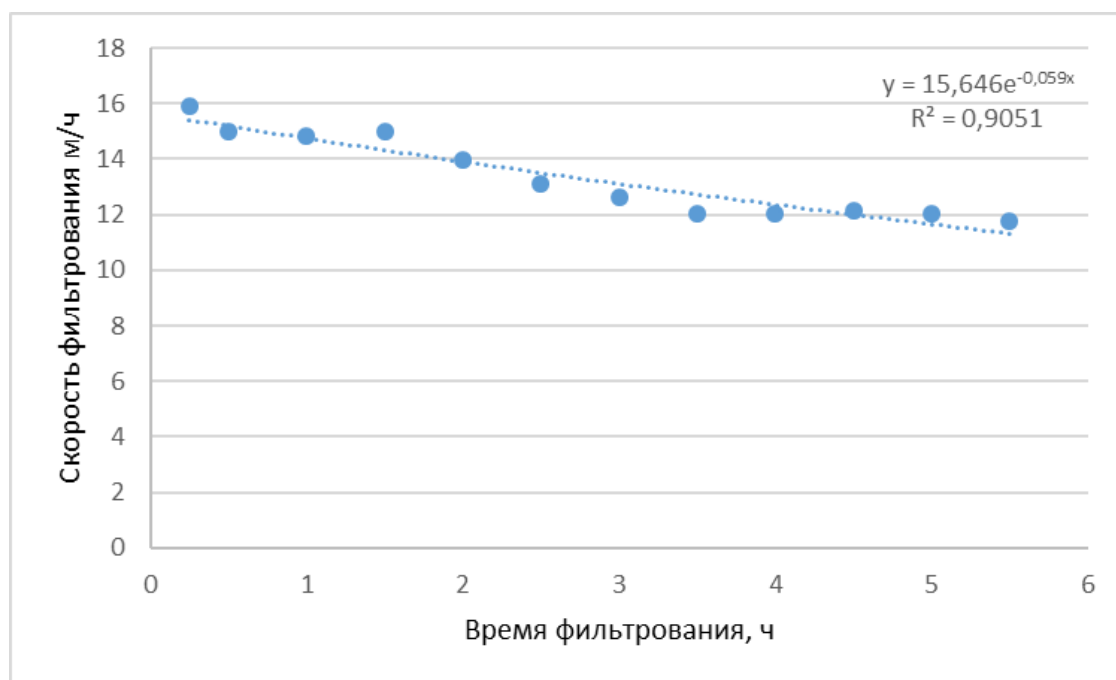


Рисунок 2. Зависимость скорости фильтрации от продолжительности

Полученные данные позволяют говорить о возможности работы зернистой загрузки из дробленого антрацита на доочистке сточных вод в системах с эрлифтными биореакторами в характерных для таких сооружений продолжительностях фильтроцикла.

Илоемкость зернистой загрузки для 3х опытов составила 4,3-4,6 кг/м<sup>3</sup> что также вполне приемлемо для зернистых фильтров.

Полученные данные позволяют говорить о перспективности использования дробленого антрацита в качестве фильтрующей загрузки при доочистке сточных вод в системах с эрлифтными биореакторами.

### Список литературы

1. Нездойминов В.И. [и др.] Концепция биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами. - Новочеркасск: Лик, 2018. – С. 57-61.
2. Нездойминов В.И., Рожков В.С., Заворотный Д.В. Биологическая очистка городских сточных вод с эрлифтными биореакторами-осветлителями. Строитель Донбасса. 2018. № 4 (5). С. 17-21.
3. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов: ИТС 10-2015 [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативной технической документации – 01.07.2016. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200128670> - частичный.
4. Жибоедов А. В. Применение тканевых материалов в доочистке бытовых сточных вод. [Текст] / Жибоедов А. В., Нездойминов В. И., Рожков В. С. // Науковий вісник будівництва ХДТУБА. - Х.: ХОТВ АБУ, 2010. - №57. - С. 336-340
5. Рожков В.С., Акулова Ю.Г., Гребенюк Н.А. Определение параметров фильтрации природных вод на дробленном антраците Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. № 5 (133). С. 73-78.
6. Заворотный Д.В., Жибоедов А.В. Обеспечение циркуляции иловой смеси в аэротенках-отстойниках со взвешенным слоем Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 3 (119). С. 186-189.



УДК 628.355.2

Рожков В.С.,

доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Сюзяева В.С.

магистрант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

ГОУ ВПО «ДонНАСА»

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВНУТРЕННЕГО НАГРЕВА ПОРЦИОННОГО РЕАКТОРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ АКТИВНОСТИ ИЛА

Температура сточной воды во многом определяет течение процесса очистки сточной воды, так как оказывает существенное влияние на растворимость веществ, скорость протекания реакций и механического разделения фаз, а также на жизнедеятельность экосистемы активного ила, связанностью с обменом веществ и потреблением растворенного кислорода бактериями и организмами, составляющими его биомассу.

Биохимический процесс очистки сточных вод сопровождается реакциями ферментативного катализа. Основным фактором, определяющим длительность процесса биохимического окисления загрязняющего вещества, является скорость реакции, т.е. скорость разрушения последнего на более простые метаболиты. Поэтому необходимо рассмотреть пути использования основных положений химической кинетики для оценки скорости метаболических превращений. Исследования кинетики биохимических превращений включают изучение зависимости скорости реакции от концентрации реагирующего вещества и от других параметров, которые обуславливают ферментативную активность.

Активность ферментов зависит от температуры окружающей среды. Со снижением температуры прогрессивно уменьшается ферментативная активность до полного подавления. Этот процесс является обратимым, так как при низких температурах ферменты не разрушаются. С повышением температуры действие фермента усиливается, если она не превышает предельное значение. При дальнейшем повышении температуры активность фермента снижается, а затем происходит полное необратимое подавление активности и разрушение фермента. Необходимо также отметить, что для микроорганизмов каждого вида имеется область температур, для которой характерна максимальная их ферментативная активность. [4,5]

Изменение температуры влияет на ферментативную реакцию или на торможение потому, что при этом изменяются константы скорости отдельных стадий, например константы образования и диссоциации комплексов. Процесс биологической очистки сточных вод, как результируемая ферментами реакция достаточно четко описывается уравнением Аррениуса, определяющим зависимость скорости химической реакции от температуры.

$$k(T) = A \cdot \exp \left[ -\frac{[E]}{RT} \right], \quad (1)$$

где  $k$  – константа скорости реакции;

$A$  – константа специфическая для данной реакции;

$E$  – энергия активации;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – абсолютная температура.

Это уравнение содержит два параметра, характеризующих химическую реакцию:  $A$  – предэкспоненциальный множитель, который не зависит от температуры, а определяется только видом реакции;  $E_A$  – энергия активации, которую можно охарактеризовать как некоторую пороговую энергию, характеризующую высоту энергетического барьера на пути реакции. Энергия активации также не зависит от температуры. Экспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса можно интерпретировать, как долю молекул, энергия которых превышает  $E_A$  при температуре  $T$ .

Скорость роста микроорганизмов оценивается уравнением Моно:

$$\mu = \mu_{max} \cdot C_c / (C_c + K_c), \quad (2)$$

где  $C_c$  – концентрация субстрата;



$K_s$  – константа полунасыщения;  
 $\mu_{max}$  – максимальная удельная скорость роста.

Зависимость скорости роста  $\mu_{max}$  биологического процесса от температуры  $t$  описывается уравнением Ван-Гоффа:

$$\mu_{max}^t = \mu_{max}^{20} \cdot \exp(\chi(t-20)), \quad (3)$$

где  $\mu_{max}^t$  – скорость реакции при температуре  $t$ ,  
 $\mu_{max}^{20}$  – максимальная удельная скорость роста биомассы при температуре 20°C  
 $\chi$  – температурный коэффициент. [2,3]

Температура оказывает сильное влияние на обмен веществ ФАО и их конкурентов (например, ГАО) [1]. Следовательно, подходящие и стабильные терморегулируемые условия рекомендуется для выполнения периодических лабораторных тестов. Усовершенствованные биореакторы обычно оснащены двойными стеклянными стенками (реакторы с двойной оболочкой) и обычно вода (повышенной температуры близкой к контрольному значению температуры в биореакторе) рециркулирует через двойную стенку.

Представлены результаты исследования внутреннего нагрева порционного реактора до требуемой температуры 20 °С. Для нагрева используется погружной обогреватель для аквариума Xilong XL-025, мощностью 50W. Реактор представляет собой сосуд цилиндрической формы объемом 2л, диаметр 120мм, оснащенный магнитной мешалкой для перемешивания (частота вращения 24об/мин). Исходные параметры: температура в помещении 13 °С, начальная температура воды 16 °С, наполнение реактора 18см. Представлены результаты исследований на четырех уровнях (0 см (у дна реактора); 6см; 12см; 18см- у поверхности воды) для возможности оценки равномерности нагрева по глубине. Полученная в ходе эксперимента зависимость представлена на рисунке 2.

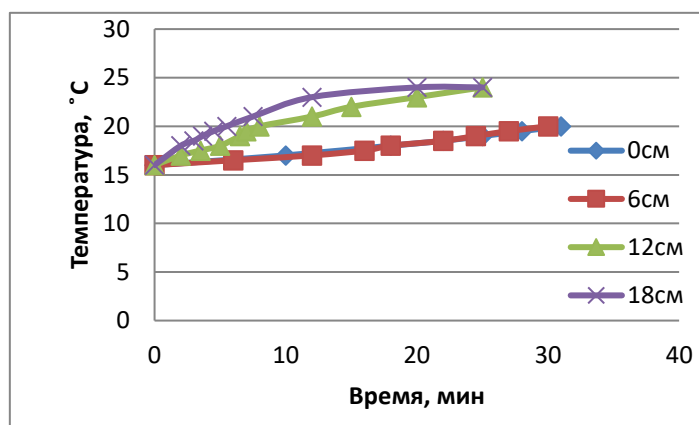


Рис.1. Экспериментальная установка Рис.2. Зависимость изменения температуры от времени нагрева.

**Выводы.** Возможно использование погружного обогревателя для внутреннего нагрева порционного реактора небольшого объема, а также для поддержания требуемой температуры, когда рабочая температура значительно отличается от температуры окружающей среды (комнатной).

Список использованных источников

1. Brdjanovic, D., van Loosdrecht, M.C.M., Hooijmans, C.M., Alaerst, G. J. and Heijnen, J. J. (1997). Temperature effects on physiology of biological phosphorous removal systems. ASCE Journal of Environmental Engineering, 123: 144-154.
2. Henze M., Grady C.P.L., Gujer W., Marais G.V.R., Matsuo T. Activated sludge model No. 1 // Scientific and Technicsl Report London: IAWPRC, 1987. N 1. 37p.
3. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической чистки сточных вод активным илом. М: Наука. 1979. 118с

4. Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ. Учебное пособие для вузов. — 3-е изд. испр. и доп. — М., Химия, 1985. 592 с.

5. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. — М., Химия, 1977. 464 с.

УДК 628.381.1

Могукало А.В.,  
ассистент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
Гамеляк Д.В., Кондратюк А.В.  
магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
ГОУ ВПО «ДонНАСА»

### ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЫДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА ИЗ АКТИВНОГО ИЛА

В процессах механической и биологической очистки городских стоков образуются различные виды осадков, содержащие органические и минеральные компоненты. К таким осадкам относятся грубодисперсные примеси, сырой осадок, выделяемый из воды в ходе механической очистки, а также избыточный активный ил, образующийся после биологической очистки сточных вод. Основная масса осадков складывается и хранится на иловых площадках. Но в связи с тем, что такие осадки не стабильны, быстро загнивают, выделяя газообразные продукты, в том числе токсичные, условия их хранения, как правило, приводят к загрязнению поверхностных и подземных вод, почв. Поэтому вопрос утилизации осадков, образующихся на очистных станциях, весьма актуален. По своему составу избыточный активный ил обладает хорошими удобрительными свойствами. В осадках высокое содержание биогенных элементов таких как: азот, фосфор и калий, что позволяет использовать его в качестве удобрения. Однако, несмотря на полезные свойства активного ила, он включает в себя патогенные микроорганизмы и ионы тяжелых металлов. Поэтому из-за присутствия вредных примесей в составе активного ила, его утилизация в качестве удобрения является не до конца реализованной [1, с.70].

Существует ряд методов по выделению ионов тяжелых металлов из активного ила, к которым относятся: химические, физико-химические и реагентно-биологические. Химический и физико-химический метод заключается в обработке активного ила различными кислотами, в процессе которой образуются растворимые соли в кислой среде (рН 2-3), а ионы тяжелых металлов переходят в иловую воду. Жидкую фракцию осадка, полученную фильтрованием, в дальнейшем подвергают обработке щелочными реагентами для выделения тяжелых металлов [3, с.166].

Реагентно-биологический метод основан на сочетании биологических процессов и реагентной обработки осадка. Биологический метод включает анаэробную стабилизацию осадков в метантенке, последующую промывку сброженного осадка, аэробную биологическую обработку ацидофильными микроорганизмами в кислой среде с добавлением железного купороса.

Так же наряду с традиционными методами для обезвреживания и снижения концентрации, ионов тяжелых металлов в активном иле используют: термический, ионообменный и метод физического воздействия. К термическому методу относится высокотемпературная обработка активных илов, позволяющая наиболее полно переводить, тяжелые металлы к условно не опасным [4, с.25].

Пановым В.П., Зыковой И.В. с сотрудниками [2], для извлечения тяжелых металлов из активных илов предложен ионообменный метод, основанный на замещении тяжелых металлов на кальций при введении в избыточный ил малорастворимых соединений кальция –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  и др.

Под физическим воздействием подразумевается ультразвуковая обработка. Некоторые считают, что одним из результатов ультразвуковой обработки является дезинтеграция надклеточных образований и выделение в жидкую фазу внеклеточных биополимеров [5, с.126]. В связи с тем, что часть тяжелых металлов, накапливаемых биомассой активного ила,

сконцентрирована на поверхности клеточной стенки, капсулы или слизистого слоя, то следует ожидать, что они перейдут в составе мелкодисперсных частиц в водную фазу.

Целью исследований является определение влияния физического и теплового воздействия на выделение ионов металлов из активного ила на примере железа.

Работы проводились по извлечению ионов железа из активного ила промышленного аэротенка Макеевских очистных сооружений. Предварительно было определено общее содержание ионов железа в активном иле. Удельное содержание ионов общего железа в активном иле составило 0,71 мг/г.

Второй этап исследований направлен на выделение ионов железа из активного ила под воздействием ультразвука. Для этого был взят активный ил, прошедший сушку до постоянной массы. После сушки навески определенной массы поместили в дистиллированную воду объемом 300 мл. После чего каждая проба подверглась обработке ультразвуковым аппаратом «Биосоник» при частоте 80 кГц. Полученные данные занесены в таблицу 1.

**Таблица 1 - Выделение ионов железа из активного ила Макеевских очистных сооружений ультразвуковым воздействием в течение двух часов**

| № п/п | Обработка смеси активного ила и дистиллированной воды ультразвуковым при частоте 80 кГц в течение двух часов | Удельное содержание ионов железа в активном иле, мг/г | Выход железа в водную среду, % |
|-------|--|---|--------------------------------|
| 1     | Высушенный активный ил при $T = 95^{\circ}\text{C}$  | 0,5   | 28                             |
| 2     | Высушенный активный ил при $T = 18^{\circ}\text{C}$  | 0,6   | 14                             |

В результате лабораторных исследований было установлено, что выход ионов железа зависит от температуры, при которой был высушен активный ил. Так на примере ультразвуковой обработки активного ила, высушенного при температуре  $95^{\circ}\text{C}$ , выход ионов железа составил 28 %, при этом выход металла из высушенного активного ила при температуре  $18^{\circ}\text{C}$  составил 14 %.

#### Список литературы

1. Валеев В.Х. Исследование возможности использования осадков сточных вод очистных сооружений в качестве удобрения / Валеев В.Х, Сомова Ю.В., Сомов В.А./ Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – Выпуск №3(14). – 2015. – С. 69-73.
2. Зыкова И.В. Обезвреживание избыточных активных илов и осадков сточных вод от тяжелых металлов: Автореф.дис. .канд.хим.наук: 03.0016 / Зыкова Ирина Викторовна; Санкт-Петербург 2008.- 32с.
3. Котюк Ф.А. Разработка методов удаления тяжёлых металлов из осадков городских сточных вод/ Котюк Ф.А., Штонда Ю.И. / Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство. – 2004. - №72. – с.165-169
4. Кулаев И.С. Неорганические полифосфаты и их биологическая роль / И.С. Кулаев – М.: Наука, 1975. – 33 с.

5. Марцунь В. Н. Изменение состава фаз суспензии активного ила очистных сооружений канализации при ультразвуковой обработке / В. Н. Марцунь, И. Э. Головнев // Вестник Витебского государственного технологического университета. - 2010. - Вып. 19. - С. 122-128.

## СЕКЦИЯ 2. ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОТРАСЛИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

УДК 628.164

**Балинченко О.И.**

доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

**Гресь А.Е.**

магистрант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

**ГОУ ВПО «ДонНАСА»**

### ОБРАБОТКА ВОДЫ УЛЬТРАЗВУКОМ ДЛЯ БОРЬБЫ С НАКИПЬЮ В ОБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Теплообменная поверхность, как известно, практически из любого материала и в любой по составу (кроме дистиллированной) воде, подвергается покрытию пленкой накипи. При этом в процессе участвуют множественные факторы, как физические, так и химические, воздействием на которые возможно способствовать ослаблению его интенсивности. Химические факторы (в основном, содержание ионов кальция и карбоната), требуют либо их удаления до попадания воды в обратную систему водоснабжения, либо поддержание кальция, уже находящегося в этой системе, в неосождаемом состоянии [2].

Ультразвуковая обработка воды воздействует на процесс выпадения накипи по второму варианту. То есть происходит волновое, вернее микроволновое действие на молекулы бикарбоната кальция, не позволяя им превратиться в карбонат, составляющий основную долю состава накипи.

В литературе описаны много успешно действующих, по мнению авторов, ультразвуковых или электроакустических противонакипных установок, в частности типа «Экоакустик-Т», «Волна» или «Vulkan». Однако вполне разработанной технология не считается и вызывает нарекания [1].

Недостатками являются:

- большая разница в эффективности, в зависимости от сочетания амплитуды и частоты сигнала;
- большая разница – в зависимости от условий работы и практически непредсказуемая заранее;
- излучатели, в холостом режиме дающие требуемые 20-35 кГц, в рабочих условиях «размазываются по спектру», выдавая нужных частот лишь малую часть, то ли гасясь, то ли «растягиваясь» до звуковых бесполезных частот [4].

Определялись оптимальные параметры ультразвуковых установок. Из литературных данных [3] были выбраны следующие параметры и приборы: частота колебаний 33 кГц. Время опыта 8-12 часов, эффект обработки – по уменьшению кальция до и после опыта. Источником сигнала был использован лабораторный генератор ГС-33 с контролем осциллографом сигнала на выходе и входе на излучатель. В качестве излучателя использованы пьезокерамические пластины. Напряжение на электродах 1,5-2 В, не дающее растворения электродов. Лабораторная установка показана на рисунке 1.



Рисунок 1. Лабораторная ультразвуковая установка.

Полученные данные занесены в таблицу 1.

Таблица 1. Данные по поиску оптимальных параметров ультразвуковой обработки воды

| № п/п | Время опыта, часов                    | Начальное количество кальция, мг-экв/л | Конечное количество кальция, мг-экв/л | Примечания  |
|-------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| 1     | 2                                     | 3                                      | 4                                     | 5   |
| 1     | 12                                    | 7                                      | 6,8                                   | без видимых изменений   |
| 2     | 12                                    | 7,1                                    | 7,0                                   | -, -  |
| 3     | 12                                    | 7,3                                    | 7,2                                   | -, -  |
| 4     | 11                                    | 7,1                                    | 6,9                                   | плюс 1 сутки отстаивания и концентрация кальция уменьшилась до 5,9 мг-экв/л |
| 5     | 12                                    | 25                                     | 17,6                                  | 30% уменьшения  |
| 6     | 10                                    | 20                                     | 16,2                                  | 18% уменьшения  |
| 7     | 8 обработок и 24 отстаивания          | 23                                     | 18                                    | 22% уменьшения  |
| 8     | 8                                     | 15                                     | 12,4                                  | 17% уменьшения  |
| 9     | 24                                    | 17                                     | 16                                    | холостой опыт без обработки: уменьшение на 6%                               |
| 10    | 8 обработок 24 отстаивания            | 17                                     | 10                                    | 41% снижения  |
| 11    | 8 обработок плюс 2 недели отстаивания | 17                                     | 0                                     | полное (100%) - ное удаление кальция  |

### Выводы.

1. Накипеобразование наметно не зависит от времени обработки ультразвуком.



2. Снижение накипеобразования более ощутимо при больших концентрациях накипного агента
3. На эффективность противонакипной обработки не влияет фильтрование воды после противонакипной обработки. Возможно, кристаллы накипи получаются слишком мелкие.
4. Последующее отстаивание увеличивает противонакипное действие ультразвуковой обработки.

### Список литературы

1. В. Банников, Л.Гаврилов. Нетрадиционный метод устранения накипи и солевых наслоений// Наука и технология в промышленности. 2002. № 2. — с. 94-96.
2. Баскаков А.П., Щелоков Я.М. Качество воды в системах отопления и ГВС // Екатеринбург: УГТУ-УПИ. 2001. — с. 34.
3. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. Пер. с англ.// М.: Техносфера. 2005.— с. 65-75.
4. Федоткин. И.М. Использование ультразвука для предотвращения образования накипи в выпарных аппаратах// Сахарная промышленность. 1975. [Электронный ресурс.] Режим доступа UPLI:[vniir@vniir.ru](mailto:vniir@vniir.ru)(Дата обращения 20.12.19.)

УДК 628.164

Балинченко О.И.

доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Гресь А.Е.

магистрант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

ГОУ ВПО «ДонНАСА»

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ БОРЬБЫ С НАКИПЕОБРАЗОВАНИЕМ В ОБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Данный физический метод уменьшения интенсивности накипеобразования – физический, то есть безреагентный, способный воздействовать с помощью микроволн на микропроцессы, происходящие в среде накипеобразования, подавляя центры кристаллизации карбоната кальция. Или же наоборот, создавая их великое множество, не позволяя кристаллам укрупняться и осаждаться в виде пленок. Очевидно, правомерны обе тенденции, в зависимости от длины волны излучателя, то есть от частоты излучения. Немалую роль играют и другие факторы: рН, определяющее кислотно-щелочное равновесие, время обработки, температура и динамика среды. Однако в наших исследованиях было уделено внимание именно волновому воздействию на процесс накипеобразования, считая другие факторы относительно стабильными. Ультразвуковой метод борьбы с накипью имеет следующие преимущества:

- не требует добавки в воду дополнительных веществ, исключая загрязнение окружающей среды водоподготовительными установками,
- не предусматривает очистки теплообменной аппаратуры,
- энергетически выгоден: - требует минимальных энергозатрат при работе с микротоками. С
- в противоположность магнитному способу, не зависит от скорости воды в трубопроводе и мало зависит от химического состава воды.
- в несколько десятков раз дешевле, чем применение химической антинакипной обработки воды [1,2].

Ультразвуковой метод борьбы с накипью был разработан в СССР еще в 30-х годах прошлого века. Однако на практике оказалось, что успешность использование его зависит от качественного подбора генераторно - излучательного оборудования в каждом конкретном случае использования указанного метода. Одни и те же установки давали неконтролируемый разброс эффектов воздействия, что позволило предположить некоторый резонансный фактор, который крайне трудно уловить и невозможно предсказать. Возможно, кристаллы карбоната кальция разрушаются при получении внешней частоты колебаний, равной собственной колебательной частоте.

Поэтому литературные источники рекомендуют генераторы (УГИР, АУН, УЗУ и др.) широкой полосы излучаемых частот порядка 20-25 кГц., которые еще в начале полупроводниковой эпохи были слишком дорогостоящими для масштабной технологии ультразвуковой борьбы с накипью. Теперь же они стали весьма доступны для практики и для экспериментов. Есть данные, что успешнее установки с генераторами еще больших частот излучения ультразвука. Все эти частоты безопасны для конструкций самих установок и обслуживающего персонала по причине малости амплитуды сигнала [3,4].

Целью проведенных исследований стало исследование основных параметров противонакипной обработки воды ультразвуком.

На рисунке 1 дана на серийно выпускаемая и допущенная в розничную продажу установка для стирки белья. Она, по словам производителя, способна разрушить все виды конгломератов

загрязнений, путем воздействия ультразвуком. Частотный спектр являлся тайной фирмы, однако был измерен и составил диапазон 50-110 кГц. Была предпринята попытка противонакипной обработки пробы воды из водопровода г. Макеевка. Опыты проводились в июне месяце при температуре воды около 25°C. Установка включалась в электрическую сеть, трехгранный излучатель погружался в емкость с водой. Измерялись значения pH и содержание кальция –иона до и после обработки воды ультразвуком. Результаты опытов представлены на рисунке 2.



Рисунок 1. Лабораторная противонакипная установка. Вверху-генератор колебаний 50-110 кГц, внизу – излучатель этих колебаний, помещаемый в воду.

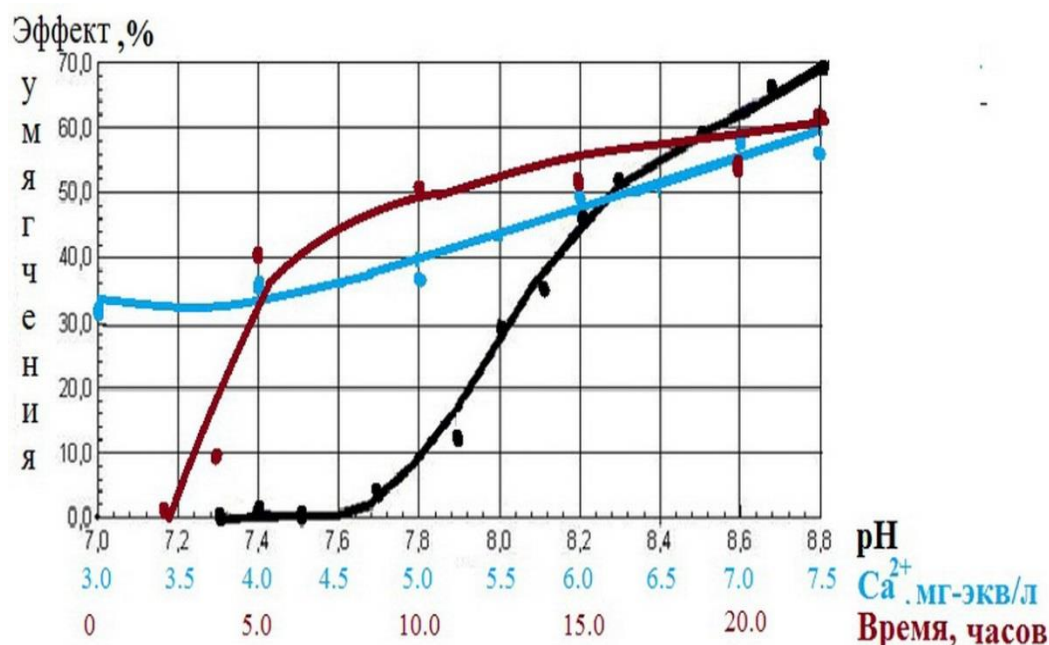


Рисунок 2. Влияние начальной концентрации ионов кальция, pH и времени обработки на эффект умягчения.

**Выводы:**

1. Ультразвуковая противонакипная обработка воды эффективна только в щелочной среде, с увеличением **pH** до 8-9;
2. Длительность обработки способствует ее эффективности;
3. Серийная установка для ультразвуковой стирки белья может служить прототипом установки для противонакипной обработки воды оборотных систем водоснабжения.
4. При противонакипной ультразвуковой обработке возрастает **pH** воды, что похоже на химическое подщелачивания воды.
5. За счет создавшегося избытка щелочности среды возможно продолжение противонакипного эффекта после прекращения обработки воды.

#### Список литературы

1. Гурвич, Ю.М. Оператор водоподготовки// Ю.М. Гурвич,О.Б., Кострикин // М.: Энергоиздат, 1981.– 221с.
2. Сагань И.И. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках //И.И.Сагань, Ю.С.Разладин // Киев.: Техніка, 1986.– 218 с.
- 3.Ультразвуковые системы «Дженерус». [Электронный ресурс] Режим доступа :URL: <http://generussystems.ru> (дата обращения 10.01.2020).
4. Ультразвуковая технология защиты от накипи. Принципы и методы. <https://grandenergo.by/>[Электронный ресурс] Режим доступа:URL: <https://grandenergo.by/> (дата обращения 10.01.2020).

УДК 691.462

Золотухина Н. В.

Бендерский политехнический филиал

ГОУ ПГУ им. Т.Г. Шевченко

Приднестровская Молдавская Республика, г. Бендеры

## КАЧЕСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КАНАЛИЗАЦИОННЫХ САМОТЕЧНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

С начала 21 столетия в странах СНГ строительная отрасль вступила в пик увеличения строительного производства, возобновлено возведение объектов самого разного назначения. Практически все современное строительство включает в числе прочих систем инженерного оборудования также системы канализации и ливнеотоков. Требования охраны окружающей среды диктуют необходимость устройства современных, т.е. централизованных, систем канализации. Прокладку и ремонтные работы систем водоотведения следует осуществлять в соответствии с установленными нормами государства [1, с. 237].

Мировая практика эксплуатации безнапорных канализационных сетей отмечает тревожный симптом: засоры трубопроводов диаметром до 300 мм носят настолько массовый характер, что ликвидация засоров и их последствий перерастает в проблему социальную. В связи с беспрецедентными объемами строительства протяженность канализационных сетей, как и сетей ливнеотоков, быстро растет и оттого, насколько надежно будут работать самотечные трубопроводы, зависят и экологическая обстановка на объектах, и комфортность проживания. В соответствии со статистическими данными, в 95% случаев засоры происходят из-за попадания в канализационную сеть крупногабаритных предметов, не являющихся компонентами сточной жидкости. Чтобы они двигались, необходимо обеспечить в трубопроводе достаточные величины его наполнения и скорости течения жидкости.

Представляется бесспорным, что оптимальным из имеющихся материалов для самотечных сетей является пластмасса - легкая, удобная в монтаже, имеющая очень низкий коэффициент шероховатости. А из пластмассовых труб, предназначенных для подземных прокладок, оптимальными являются двухслойные гофрированные трубы, поскольку при весьма малой толщине стенок они имеют достаточную кольцевую жесткость и обладают всеми достоинствами пластмассовых труб [2, с.2].

Производителем таких труб является НПО «Стройполимер». Предприятие выпускает для строительства подземных самотечных сетей гофрированные трубы из полиэтилена низкого давления и комплектующие, необходимые для качественного строительства канализационных самотечных трубопроводов. Внутренний слой труб представляет собой круглоцилиндрическую оболочку (рис.1), толщина которой в зависимости от диаметра представлена в таблице 1. Трубы и комплектующие трубопроводов допускается применять для транспортировки жидкостей с температурой до 60°C и веществ, неагрессивных к полиэтилену. Химическая стойкость труб из ПНД представлена в [2]. Основные физико-механические свойства труб представлены в таблице 2. Трубы поставляются отрезками длиной 6 метров и соединяются между собой с помощью двухраструбной муфты (рис. 2) и резиновых уплотнительных колец, которые перед монтажом вставляются во второй от торца трубы паз [2, с. 2].

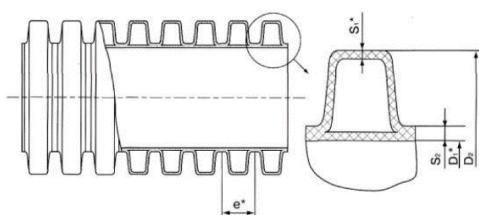


Рис. 1. Конструкция и основные размеры гофрированной двухслойной трубы из полиэтилена

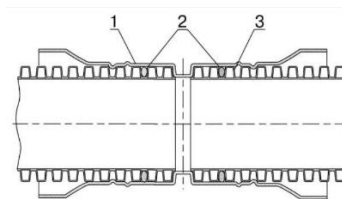


Рис. 2. Узел соединения гофрированных труб муфтой с резиновым уплотнением: 1 – муфта; 2 – уплотняемое кольцо; 3 – труба гофрированная двухслойная

Внешняя стенка гофрирована, что придает трубам жесткость и прочность. Гладкая внутренняя стенка значительно повышает скорость стока воды. Трубы не подвержены коррозии и зарастанию внутренней поверхности, кроме того имеют следующие преимущества: надежность и долговечность (срок службы не менее 50 лет); прочность (глубина заложения труб до 5 м); легкость и удобство транспортировки и монтажа; сравнительно невысокая стоимость [3, с.28].

Научно-производственное объединение «Стройполимер» не только выпускает изделия, но в обязательном порядке издает дополнительную документацию, позволяющую проектировщикам и строителям легко адаптировать эту продукцию к проектам нового строительства, а также реконструкции жилого фонда. Для канализационных труб выпущено руководство «Наружная самотечная канализация из гофрированных двухслойных полиэтиленовых труб» [2], которое содержит материалы, необходимые проектным организациям для определения расчетных секундных расходов сточной жидкости с учетом аккумулирующей емкости отводных трубопроводов, а также номограммы и таблицы, предназначенные для гидравлических расчетов самотечных трубопроводов.

Таблица 1.

| DN  | D1, мм                | D2, мм                 | S1, мм | S2, мм               | e, мм |
|-----|-----------------------|------------------------|--------|----------------------|-------|
| 100 | 100,0 <sup>±2,2</sup> | 120,0 <sup>±2,2</sup>  | 0,6    | 1,3 <sup>+0,6</sup>  | 13,0  |
| 150 | 148,8 <sup>±2,5</sup> | 177,0 <sup>±2,5</sup>  | 0,9    | 1,95 <sup>+0,6</sup> | 17,7  |
| 200 | 196,3 <sup>±2,9</sup> | 232,00 <sup>±2,9</sup> | 0,9    | 2,4 <sup>+0,6</sup>  | 21,2  |
| 250 | 245,2 <sup>±2,9</sup> | 287,5 <sup>±2,9</sup>  | 1,3    | 2,8 <sup>+0,6</sup>  | 26,5  |
| 300 | 295,7 <sup>±3,2</sup> | 345,0 <sup>±3,2</sup>  | 1,3    | 3,0 <sup>+0,6</sup>  | 35,3  |
| 350 | 348,0 <sup>±3,2</sup> | 397,0 <sup>±3,2</sup>  | 1,4    | 3,2 <sup>+0,8</sup>  | 35,3  |
| 400 | 398,0 <sup>±4,0</sup> | 446,0 <sup>±4,0</sup>  | 1,6    | 3,4 <sup>+1,0</sup>  | 44,0  |
| 450 | 448,0 <sup>±4,0</sup> | 496,0 <sup>±4,0</sup>  | 1,8    | 3,6 <sup>+1,0</sup>  | 44,0  |

Комплектность поставки труб в сборе: - труба, двухраструбная муфта с одной стороны трубы и два резиновых уплотнительных кольца. Трубы транспортируют всеми видами транспорта в соответствии с правилами перевозки грузов, действующих на данном виде транспорта. Транспортировка, погрузка и разгрузка труб допускается при температуре наружного воздуха до минус 40 °С [2, с.5].

Таблица 2.

| Параметр   | Значение параметра    | Параметр  | Значение параметра |
|--|-----------------------|---|--------------------|
| Герметичность в сборе с соединительными муфтами при давлении 0,05 МПа, мин., не менее                    | 10                    | Изменение длины после прогрева, %, не более           | 3                  |
| Кольцевая жесткость, КПа, не менее   | 4,0                   | Теплопроводность, Вт/м <sup>°С</sup> *                | 0,21               |
| Стойкость к удару, кол-во ударов, не менее   | 10                    | Предел текучести при растяжении, МПа*                 | 16,7               |
| Стойкость к воздействию (1 час) горячей (80 <sup>°С</sup> ) воды, деформации площади сечения, не более % | 5,0                   | Относительное удлинение при разрыве,%*                | 250                |
| Стойкость к растрескиванию в водных растворах ПАВ при 50 <sup>°С</sup> *                                 | отсут-вие растрес-ния | Плотность г/см <sup>3</sup>                           | 0,93               |
| Коэффициент теплового расширения, мм/(м <sup>°С</sup> ) *  | 0,2 (2 10-4)          | *-показатели материала, из которого изготовлены трубы |                    |

### Список литературы

1. Варфоломеев Ю. М., Орлов В. А. Санитарно-техническое оборудование зданий/ под общей редакцией профессора Ю. М. Варфоломеева. – М.: ИНФА, 2008. -249 с. 237-238
2. Наружная самотечная канализация из гофрированных двухслойных полиэтиленовых труб. Руководство по проектированию и строительству. НПО «СТРОЙПОЛИМЕР». – М.: 2004. -72
3. Устюгова О. В. «Полиэтиленовые гофрированные двухслойные трубы для наружной самотечной канализации, дренажа и защиты телекоммуникаций» Информационный научно-технический журнал «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в.» №4 (63). 2004 с.28



УДК 628.17

**Хапчук Ф.Н.,**  
ассистент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
**ГОУ ВПО «ДонНАСА»**

### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НОРМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЕМ БЕЗ ВОДОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

Актуальное значение приобретают вопросы рационального потребления воды населением, проживающим в благоустроенном жилом секторе. Также возникает проблема в разработке нормативов удельного водопотребления для населения у которого отсутствуют приоры учета, обосновании процента неучтенных расходов систем водоснабжения и водоотведения, и как результат – пересмотр тарифной политики в водопотреблении.

Согласно данных о потреблении питьевой воды населением г. Донецка, предоставленных ГП «Вода Донбасса», за период 2013-2017 общее количество потребителей в 2013 году составляло 744тыс потребителей ,73% при этом потребителей без приборов учета.

В 2014 году в результате боевых действий общее количество потребителей уменьшилось и составило 741тыс потребителей ,71% при этом потребители без приборов учета в то время как суммарный объем водопотребления по всем удельным нормам потребления составил 29200 л/год чел. Наблюдалась тенденция к уменьшению общего количества потребителей, в то время как количество потребителей без приборов учета увеличивалось, по состоянию на 2017 год общего количества потребителей составило 719тыс потребителей ,72% при этом потребители без приборов учета, а суммарный объем водопотребления по всем удельным нормам потребления составил 28000л/год чел.

Существенное увеличение количества потребителей без приборов учета в сочетании с увеличением объема потребляемой воды вызвало необходимость в изменение всех существующих норм водопотребления для потребителей без приборов учета.

На данный момент существует несколько методик определения норм водопотребления для потребителей без приборов учета. Существующие методы расчета были разработаны относительно давно, с тех пор нормативная литература, использованная для выполнения анализа и расчета, подверглась переработке неоднократно, в то время как способы и результаты расчетов оставались неизменными.

При расчете нормативов питьевого водоснабжения используются несколько моделей.

Одними из первых являются, модели, разработанные НИИ санитарной техники, ЦНИИЭП инженерного оборудования, МосжилНИИпроекте и МГСУ им. В.В.Куйбышева (1968). [1]

Разработанная модель дает возможность определить расчетные расходы воды в зависимости от этажности здания и секундного расхода воды одним прибором. Упрощенная методика дала возможность решать основную задачу - определение максимальных расчетных секундных и часовых расходов, для определения диаметров труб и типоразмеров оборудования.

Позже модель была переработана МосводоканалНИИпроектом (1987) [2], что привело к тому, что в результате снизилась точность описания процесса, и на начальных участках расчетные расходы воды получились меньше расхода воды одним прибором. Чтобы устранить этот недостаток, авторы предлагают «...прибавлять к вычисленному значению секунднй расход прибора...» для искусственного приближения модели к реальному процессу потребления воды.

В дальнейшем появилась методика определения нормативов питьевого водоснабжения населения, разработанная Госжилкоммунхоза Украины (2004) [3]

Положительные стороны «Методики определения нормативов питьевого водоснабжения населения» Госжилкоммунхоза Украины состоят в том, что расчеты опираются на результаты выборочных измерений расходов воды в зданиях, размещенных в разных частях города и с разным удалением от водопроводных насосных станций. Измерения проводятся только после устранения

всех утечек в зданиях. Недостатки состоят в том, что нормы водопотребления не учитывают реальные утечки воды.

Вызывает интерес модель, разработанная НИИ КВОВ АКХ (2011) [4] Данная методика является действующей в России и Республике Казахстан. Она позволяет вычислить суточные расходы в зависимости от степени благоустройства зданий, величины удельного часового ночного расхода для средней заселенности квартир. К преимуществам данной модели можно отнести выделение полезных расходов и утечек, возможность оценки усредненного полезного водопотребления и потерь, качества эксплуатации систем и получение экономического эффекта в различных проектных решениях. К недостаткам следует отнести невысокую точность определения расходов, отсутствие данных отдельно по холодной и горячей воде, невозможность применения ее к зданиям других типов благоустройства.

Детальный анализ данных методик [5], проведенный В.Н. Исаевым и М.Р. Мхитаряном, показал, что при определении эксплуатационных норм водопотребления следует отдавать предпочтение «...более подробным, сложным, поэтому более точным методикам...». По их мнению, наиболее успешными являются исследования Л.А. Шопенского [12-16] [6-10], проведенные на объектах различного назначения.

Величины удельного водопотребления, вычисляемые для действующих водопроводов по вышеперечисленным методикам, принято называть эксплуатационными нормами водопотребления. Величины же удельных расходов, найденные по показаниям квартирных или домовых водомеров, иногда называют фактическими эксплуатационными нормами водопотребления (фактическим удельным водопотреблением).

В основу разработанной методики расчета норм водопотребления для потребителей без приборов учета взята модель НИИ КВиОВ академии ЖКХ К.Д.Памфилова, которая по состоянию на данный момент является актуальной. В результате модернизации модели отдельно можно выделить последовательность выполнения подготовки к расчету, путем составления карточек и проведения натуральных исследований; утверждение разработанной модели расчета в вышестоящих организациях.

Специалистами кафедры ВВ для решения поставленной задачи по определению удельного водопотребления питьевой воды населением без приборов учета была составлена программа расчета средствами Microsoft Excel с использованием статистических функций. Расчёт произведён по двум разработанным на кафедре методам – метод «3 сигмы» и метод нормальности распределения частот.

Для расчета взяты выборочные измерения расходов воды в зданиях, размещенных в разных частях города Донецка и с разными удельными нормами потребляемой воды за пятилетний период. При помощи разработанного математического комплекса был смоделирован предполагаемый объем потребления воды населением без приборов учета. После расчета предполагаемой нормы водопотребления для различных зданий с разной удельной нормой был сделан сравнительный анализ с контрольными замерами.

Например, для жилых зданий с действующей нормой водопотребления 375 л/сут чел в таблице 1 приведено удельное водопотребление за пятилетний период.

Таблица 1 Показания фактического удельного водопотребления (л/сут чел)

| Год  | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |
|------|--------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
| 2013 | 319    | 355     | 297  | 312    | 302 | 308  | 301  | 306    | 316      | 325     | 322    | 318     |

|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2014 | 289 | 314 | 290 | 300 | 297 | 295 | 265 | 283 | 313 | 322 | 330 | 316 |
| 2015 | 328 | 360 | 268 | 334 | 318 | 329 | 314 | 304 | 315 | 297 | 321 | 303 |
| 2016 | 314 | 349 | 315 | 324 | 311 | 322 | 310 | 311 | 322 | 325 | 313 | 302 |
| 2017 | 334 | 368 | 335 | 333 | 323 | 356 | 348 | 319 | 335 | 347 | 349 | 344 |

По данным таблицы 1 был выполнен расчет и обоснована рекомендованная норма водопотребления для потребителей без приборов учета, приведенная в таблице 2.

Таблица 2 Результаты расчетов норм водопотребления для потребителей без приборов учета (л/сут чел)

| Исходные данные за период | Метод 3 сигма, л/сут. чел | Метод распределения частот, л/сут. чел | Среднее расчетное значение, л/сут. чел |
|---------------------------|---------------------------|--|--|
| 2013-2017                 | 318,27                    | 318,17                                 | 318,22                                 |
| 2014-2017                 | 319,05                    | 319,03                                 | 319,04                                 |
| 2015-2017                 | 325,00                    | 325,00                                 | 325,00                                 |
| 2016-2017                 | 329,57                    | 329,55                                 | 329,56                                 |
| 2017                      | 340,91                    | 340,91                                 | 340,91                                 |

В результате сравнения полученных расчетных значений с контрольными замерами при использовании данных за пятилетний период отклонение составило 10%, наиболее точный результат получен при использовании исходных данных за один год отклонение в пределах от 1 до 3%.

**Выводы.** Одним из радикальных путей снижения затрат и стабилизации тарифов является строгий учет водопотребления населением. Кафедрой разработана математическая модель для расчета норм водопотребления для населения без приборов учета. Для использования разработанных методов в качестве исходных данных достаточно исходных данных за 1 год.

### Список литературы

1. Рекомендации по определению расходов воды в системах холодного и горячего водоснабжения [Текст] // Экспресс-информация. - М., 1987. - Вып. 1, 2. (Строительство и архитектура).
2. Методические рекомендации, по установлению эксплуатационных норм водопотребления [Текст]. Дата введения: 01.10.1981; Дата актуализации: 17.06.2011. / МЖКХ РСФСР. - М., - 1981.
3. Методика визначення нормативів питного водопостачання населення. Затверджено наказом державного комітету України з питань житлово комунального господарства від 27 вересня 2005 р. № 148. [Электронный ресурс]
4. Методика определения эксплуатационных норм водопотребления и водоотведения (ЭНВН) населенных пунктов [Текст] / Агентство Республики Казахстан по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Астана -2011. -с. 115.
5. Исаев, В.Н. Анализ методик определения расходов во внутреннем водопроводе [Электронный ресурс] / В.Н. Исаев, М.Г. Мхитарян // Библиотека научных статей – Сантехника. – 2003. – №5 URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2234](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2234) (Дата обращения: 07.08.2017).

УДК 628.161

**Лесной В.И.,**  
доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
**Переверзев В.Э.**  
магистрант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
**ГОУ ВПО «ДонНАСА»**

### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ БАССЕЙНОВ.**

Развитие системы физкультурно-оздоровительных сооружений, в том числе плавательных бассейнов, водных аттракционов и аквапарков, приобретает все большее значение. В связи с чем возникает необходимость обеспечить доступность оздоровительных, спортивных и развлекательных мероприятий для всех возрастных групп населения независимо от их физического состояния (в т.ч. маломобильные группы населения).

Согласно [1], бассейны по своему назначению подразделяются на следующие виды:

- плескательные - для приобщения к воде детей дошкольного возраста;
- детские - для обучения плаванию детей младшего и среднего возраста;
- учебные - для обучения плаванию детей старшего возраста и взрослых, для занятий детей младшего и среднего возраста при переходе из детской в основную ванну, а также для оздоровительного плавания людей старшего возраста;
- бассейны для плавания, предназначенные для тренировок спортсменов и занятий обучающихся;
- бассейны для прыжков в воду;
- универсальные учебно-тренировочные бассейны, оборудованные для плавания, водного поло, прыжков в воду и предназначенные для обучения плаванию, оздоровительных занятий, тренировок, а также для проведения соревнований местного значения без зрителей или в присутствии ограниченного числа зрителей;
- универсальные демонстрационные бассейны, рассчитанные на проведение крупных соревнований с числом мест более 600 в крытых и 1200 мест в открытых бассейнах.

Все бассейны с точки зрения [2] подразделяются в зависимости от общего или индивидуального подхода к способу водообмена, к выбору технологии водоподготовки, к оценке допустимой нагрузки на воду, к расчету процессов циркуляции и водоподготовки, а также подбору и установке оборудования, контролю качества воды, режимам и условиям их эксплуатации как водных объектов

В то время, когда и зарубежные, и отечественные технологии индустрии плавательных и купальных бассейнов развиваются и совершенствуются в соответствии с растущими потребностями и возможностями населения, существующие действующие и подлежащие реконструкции бассейны безнадежно устарели и не отвечают ни уровню, ни возможностям современных технологий и бассейнового оборудования. К тому же их эксплуатация не позволяет обеспечить купающимся право на комфорт и санитарно-эпидемиологическую безопасность.

Современная технология водоподготовки бассейнов согласно [2], должна включать в себя этапы очистки, дезинфекции и кондиционирования воды, под которыми подразумевается:

- а) очистка - сочетание способов коагуляции, фильтрования, окисления (хлорирования, озонирования);
- б) дезинфекция - хлорирование в сочетании, как правило, с озонированием или обеззараживанием ультрафиолетовым (УФ) излучением;
- в) кондиционирование:

- регулирование водородного показателя (рН) методом добавления химреагентов, понижающих/повышающих рН,
- установку и поддержание требуемой температуры воды,
- доочистку методом сорбционного фильтрования и, при необходимости, корректировку химического состава (жесткости, щелочности и т.п.) воды бассейна.

Выбор технологии водоподготовки определяется, в основном, назначением бассейна, его конструктивными решениями, а также химическим составом и органолептическими свойствами исходной воды. Технология водоподготовки должна удовлетворять производственным, технологическим, санитарно-эпидемиологическим, потребительским и экологическим требованиям безопасности [2, 3].

В целях эффективной реализации выбранной технологии при проектировании системы водоподготовки необходимо учитывать следующее [1-11]:

а) заполнение и подпитка бассейна должны быть обеспечены водой только питьевого качества;

б) система отвода сточных вод должна обеспечивать опорожнение ванны бассейна за нормируемое время, а также эффективную промывку фильтров в полном объеме;

в) прохождение воды в бассейне должно обеспечивать отсутствие «застойных» зон и завихрений;

г) расчет процесса водоподготовки, а также подбор технологического оборудования систем циркуляции, водоподготовки, дозирования реагентов и контроля качества воды, равно как и режимов и условий их эксплуатации, следует осуществлять в соответствии с требованиями и рекомендациями современных стандартов, нормативов и рекомендаций;

д) своевременность проведения очистки и профилактической обработки ванн и залов (помещений) бассейнов, технологического оборудования систем циркуляции и водоподготовки, а также регламентных работ и технического обслуживания (техобслуживания) указанных систем.

Система циркуляции должна включать в себя [1-3, 11]:

- а) узел заполнения и подпитки бассейна;
- б) балансный резервуар;
- в) циркуляционные насосы;
- г) ванну с устройствами подачи и отвода воды;
- д) систему перелива;
- е) трубопроводы.

Трубопровод подачи исходной воды от водопроводной сети должен завершаться свободным изливом в балансный резервуар или другое приемное устройство, так как подача воды в бассейн от водопроводной сети без разрыва струи недопустима [1-3, 8-10]. Поэтому для подачи исходной воды следует применять арматуру, устойчивую к последствиям гидроударов.

Полезный объем балансного резервуара включает в себя запас воды на промывку фильтров и объем воды, который необходимо принять при погружении в бассейн посетителей и от волн. Также необходимо учитывать объем воды, который находится в циркуляционной системе во время её работы и который возвращается в балансный резервуар в случае остановки циркуляции. Уровень воды в балансном резервуаре должен быть завязан с автоматической системой регулирования уровня воды в бассейне и с системой управления и контроля работы циркуляционных насосов.

Циркуляционные насосы служат для подачи воды из балансного резервуара на фильтры и далее в систему водоподготовки, обеспечивая циркуляцию воды бассейна, а также промывку фильтров. Насосы должны быть защищены от попадания механических загрязнений предварительными сетчатыми фильтрами, а также иметь защиту от «сухого хода» [7].

При размещении фильтров и балансного резервуара необходимо учитывать следующее [1-4, 7]:

а) общая площадь и высота помещения, предназначенного для фильтровальной установки, балансного резервуара, их технического обслуживания и ревизии, должна быть определена при проектировании исходя из габаритных и установочных размеров выбранного оборудования;

б) высота помещения, где монтируют фильтры, должна быть больше высоты фильтра на 0,8 м, но не менее 2 м в целом. Пространство над фильтром (высотой не менее 0,6 м) должно быть свободно от другого оборудования, коммуникаций и конструкций/перекрытий;

в) для загрузки и разгрузки фильтра возле него следует предусмотреть пространство для обслуживающего персонала, оборудования и материалов, определяемое габаритными размерами фильтра, со свободным подходом к фильтру шириной от 1,0 до 1,5 м.

Таким образом, назрела серьезная необходимость в разработке современных технологий водоподготовки для бассейнов и аквапарков, которые в полном объеме отвечали бы современным отечественным и зарубежным нормативным требованиям, правилам и рекомендациям. Особое внимание, по нашему мнению, следует уделить вопросам обоснования и расчета режимов и условий проведения процессов очистки, обеззараживания и кондиционирования воды бассейнов, а также условий эксплуатации плавательных и купальных бассейнов всех видов в целях обеспечения надлежащего качества воды.

### Список литературы

1. СП 31-113-2004 Бассейны для плавания. Свод правил по проектированию и строительству. Бассейны для плавания
2. ГОСТ Р 53491.1- 2009 Бассейны. Подготовка воды. Часть 1. Общие требования
3. ГОСТ Р 53491.2-2012 Бассейны. Подготовка воды. Часть 2. Требования безопасности.
4. ГОСТ Р 51641-2000 Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия
5. ГОСТ Р 51706-2001 Оборудование озонаторное. Требования безопасности
6. ГОСТ Р 52603-2006 Аквапарки. Водные горки высотой 2 м и выше. Безопасность конструкции и методы испытаний. Общие требования
7. ГОСТ Р 52743-2007 (ЕН 809:1998) Насосы и агрегаты насосные для перекачки жидкостей. Общие требования безопасности
8. СанПиН 2.1.2.1188-03 «Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества»
9. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода»
10. DIN № 19643-1. Подготовка воды для плавательных и купальных бассейнов (немецкий индустриальный стандарт)
11. В.С. Кедров, Ю.В. Кедров, В.А. Чухин «Плавательные бассейны». -М.: Стройиздат, 2002



УДК 628.16

Зятина В.И.,

доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Комарова А.В., Яцко В.А.

магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

ГОУ ВПО «ДонНАСА»

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕ-КАЛЬМИУССКОЙ ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Верхне-Кальмиусская фильтровальная станция предназначена для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Донецка, Макеевки, Ясиноватой. Расчетная производительность фильтровальной станции до 500 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

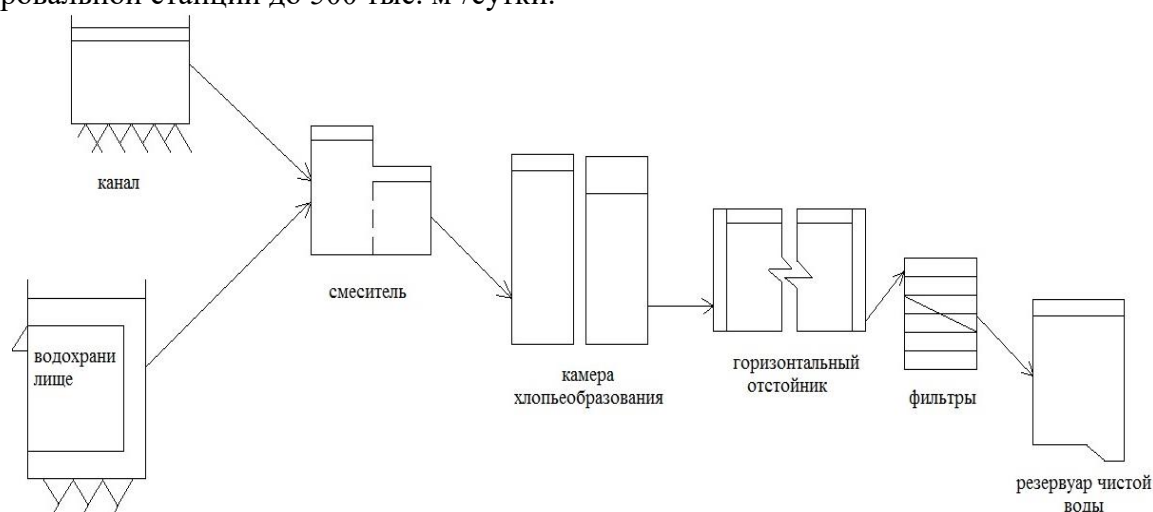


Рис. 1 Высотная схема фильтровальной станции

На Верхне-Кальмиусскую фильтровальную станцию вода поступает из канала Северский Донец-Донбасс (СДД) и Верхне-Кальмиусского водохранилища.

Многолетний мониторинг качества воды основного источника водоснабжения-канала СДД, свидетельствуют об ухудшении качества воды в связи с изменением климатических условий (теплые зимы, незначительное количество осадков), приведшие к отсутствию паводков, недостаточному водообмену в источнике и превышению в отдельные периоды года действующих нормативных требований таких показателей как жесткость, сухой остаток и сульфаты.

Основными факторами, определяющими параметры технологического процесса, являются:

- качество исходной воды (взвешенные вещества, органические вещества, бактериологические и гидробиологические показатели);
- объемный расход исходной воды.

При ухудшении качества воды в источниках водоснабжения по микробиологическим показателям (индексу лактозоположительной кишечной палочки - ЛКП) назначаются дополнительные технологические мероприятия увеличение не менее, чем на 15-25% массовой концентрации хлора на предварительное хлорирование и обеззараживание, коагулирование, применение полиакриламида (ПАА) и перманганата калия, сокращение фильтроцикла не менее чем на 5-10 % и другие.

Эффективность назначенных мероприятий проверяется на сооружениях под контролем лаборатории и территориальным органом СЭС.

Причины изменения качества исходной воды:



- сезонные изменения погодных условий (температура, уровень солнечной радиации, количество осадков);
- изменение объема и состава промышленных и хозяйственно-бытовых стоков;
- смыв с покрытий стоков сельхозпроизводства;
- изменение гидробиологического режима работы канала Северский Донец-Донбасс.

### Сезонная характеристика качества исходной воды

В работе фильтровальной станции прослеживаются 3 периода: *летняя межень* (май - октябрь), *зимняя межень* (ноябрь - первая половина марта) и *паводок* (вторая половина марта - апрель) [1,2].

#### Летняя межень

Основной частью периода отмечается температура воды выше 10°C (до 25.7°C), что обуславливает высокую интенсивность процессов окисления, минерализации, коагуляции примесей воды. В течение большей части периода отмечается высокое качество исходной воды: содержание взвешенных веществ 2-30 мг/дм<sup>3</sup>, цветность - 10-35 град., окисляемость - 4,4-7,1 мг/дм<sup>3</sup>, рН - 7,6-8,15, число микроорганизмов в 1 см<sup>3</sup> - 100-1100, ЛКП - до 6000.

Для очистки воды в этот период необходимо применять коагулянт дозой 5-30 мг/дм<sup>3</sup>, хлор на предварительное хлорирование 5,0-8,5 мг/дм<sup>3</sup>, на обеззараживание - 0,5-2,0 мг/дм<sup>3</sup>.

В отдельных случаях, в период затяжных дождей (май - июнь), отмечается значительное повышение концентрации взвеси в исходной воде (до 40 мг/дм<sup>3</sup>), содержащей до 80% мелкодисперсных и коллоидных частиц, что значительно затрудняет процесс очистки воды. В этих случаях дозы реагентов необходимо увеличить: коагулянт 10-40 мг/дм<sup>3</sup>, ПАА- 0,05-0,5 мг/дм<sup>3</sup>, хлор на предварительное хлорирование - 5,0 - 10,0 мг/дм<sup>3</sup>, на обеззараживание - 0,5-2,0 мг/дм<sup>3</sup>, KMnO<sub>4</sub> - 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Мутность воды после отстойников 2-14 мг/дм<sup>3</sup>. Мутность фильтрата не более 0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

#### Зимняя межень

В этот период отмечаются низкие температуры исходной воды 0,1 - 5,0 °C, что обуславливает резкое снижение, по сравнению с летним периодом, интенсивности процессов окисления, минерализации, коагуляции взвеси.

Для очистки воды применяется в этот период коагулянт с дозой - 5-30 мг/дм<sup>3</sup>, хлор на предварительное хлорирование - 5,0-8,0 мг/дм<sup>3</sup>, хлор на обеззараживание - 0,1 - 1,0 мг/дм<sup>3</sup>. В случаях продолжительных оттепелей или дождей (ноябрь- декабрь) содержание взвеси и микроорганизмов в исходной воде может значительно возрасти соответственно до 30 мг/дм<sup>3</sup> и 1100, ЛКП до 4500. Кроме того, при низких температурах увеличивается в воде содержание аммиака, связывающего хлор. Все это может вызвать затруднения в работе очистных сооружений.

В этих случаях необходимо применять реагенты дозами: коагулянт - 20-60 мг/дм<sup>3</sup>. ПАА - 0,05-1,2 мг/дм<sup>3</sup>, хлор на предварительное хлорирование - 5,5-8,5 мг/дм<sup>3</sup>, обеззараживание - 0,3-1,0 мг/дм<sup>3</sup>, АУ - 5-20 мг/дм<sup>3</sup>. При снижении бактериологических показателей воды рекомендуется сократить дозу хлора на предварительное хлорирование до 1,5-2,5 мг/дм<sup>3</sup> и проводить перманганирование воды дозой - до 0,3 мг/дм<sup>3</sup>. Мутность воды после отстойников 3-12 мг/дм<sup>3</sup>. Мутность фильтрата - 0,2-0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

#### Весенний паводок

Качество исходной воды, по сравнению с зимним периодом, резко ухудшается. В основном увеличивается содержание взвешенных веществ - 5-194 мг/дм<sup>3</sup>. Для обеспечения потребителей питьевой водой, в этот период производительность фильтровальной станции до 8670 м<sup>3</sup>/ч, нагрузка по секциям отстойников - 347 м<sup>3</sup>/ч, по фильтрам - 228 м<sup>3</sup>/ч, скорость фильтрования - 4,5 м/ч.

Для обработки воды применяются реагенты дозами: коагулянт - до 80 мг/дм<sup>3</sup>, ПАА - 0,2-1,2 мг/дм<sup>3</sup>, KMnO<sub>4</sub>, - до 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, АУ-5-20 мг/дм<sup>3</sup>, хлор (предварительное хлорирование) - 2-8 мг/дм<sup>3</sup>, на обеззараживание - 0,3-1,0 мг/дм<sup>3</sup>. Мутность воды после отстойников 8-15 мг/дм<sup>3</sup>, при

максимальном содержании взвешенных веществ в исходной воде-194 мг/дм<sup>3</sup>. Мутность фильтрата - до 1,0 мг/дм<sup>3</sup>. Результаты сведены в таблице 1.

Табл. 1. Сравнительная характеристика качества воды за 2019г. по сезонам

| Показатель  | Исходная<br>(канал СДД) | После обработки | Эффективность, % |
|---|-------------------------|-----------------|------------------|
| Средние значения на период зимней межени (01.11.2018-15.03.2019г.)      |                         |                 |                  |
| Мутность, мг/л  | 1,5                     | 0,45            | 70,0             |
| Цветность, град.  | 28,0                    | 13,0            | 53,6             |
| Фильтроцикл скорых фильтров, ч  | 48-72                   |                 |                  |
| Доза коагулянта (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , мг/л | 3,0                     |                 |                  |
| Средние значения на период паводка (16.03.2019-30.04.2019г.)            |                         |                 |                  |
| Мутность, мг/л  | 8,7                     | 0,71            | 92,0             |
| Цветность, град.  | 33,0                    | 14,0            | 57,6             |
| Фильтроцикл скорых фильтров, ч  | 72-24                   |                 |                  |
| Доза коагулянта (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , мг/л | 8,0                     |                 |                  |
| Средние значения на период летней межени (01.05.2019-31.10.2019г.)      |                         |                 |                  |
| Мутность, мг/л  | 6,3                     | 0,65            | 89,7             |
| Цветность, град.  | 31,0                    | 11,0            | 64,5             |
| Фильтроцикл скорых фильтров, ч  | 24-48                   |                 |                  |
| Доза коагулянта (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , мг/л | 12,0                    |                 |                  |

Биологические помехи механического характера выражаются в том, что на поверхности фильтрующей загрузки образуется пленка, уменьшается фильтроцикл, снижается водоотдача станций. Биомасса водорослей не должна превышать 0,3 мг/дм<sup>3</sup> при цветении. Биопомехи возникают на сооружениях при численности более 5 тыс. кл/см<sup>3</sup>[1,2].

Мероприятия по ограничению и устранению помех: 1) для оптимизации процесса осаждения водорослей в отстойниках увеличивают дозы коагулянта на 50-90 мг/дм<sup>3</sup>, с подщелачиванием известью; 2) обработка ПАА, доза 0,05-0,10мг/дм<sup>3</sup>; 3) варьирование дозами хлора при первичном хлорировании; 4) уменьшить фильтроцикл и увеличить время промывки; 5) при поступлении большого количества водорослей (свыше 10 тыс.кл/мл) осуществляется частичный забор воды из резервных водохранилищ с меньшим содержанием водорослей; 6) углевание различными дозами угля; 7) после прекращения «цветения» воды ароматичными водорослями производится промывка и дезинфекция сооружений с целью удаления накопившихся водорослей и их остатков, которые могут служить источником рыбного запаха.

Выбор мер по ограничению и устранению помех зависит от типа водорослей, поступающих на очистную станцию.

**Выводы:** в связи с сезонным изменением качества исходной воды в канале СДД, на Верхне-Кальмиусской фильтровальной станции применяется ряд мер для повышения эффективности водоподготовки. Наиболее распространенные мероприятия: варьирование доз реагентов (коагулянта, ПАА, хлора); дополнительная обработка воды различными видами углей и KMnO<sub>4</sub>; уменьшение фильтроцикла и увеличение времени промывки фильтров. Выбор способа очистки воды зависит от характера загрязнений, поступающих на фильтровальную станцию.

#### Список литературы

1. СТП 14.352-00.08.005-88 «Гидробиологический контроль качества воды».

2. ДСанПИН 2.2.4-171-10 «Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком»

УДК 628.1

**Зайченко Л.Г.,**  
доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
**Ильницкий Т.С., Мироненко М.В.**  
магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
**ГОУ ВПО «ДонНАСА»**

### **АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ ВОДОВОДОВ КОММУНАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «КОМПАНИЯ «ВОДА ДОНБАССА»**

Инженерные системы городов играют значительную роль в формировании экономической и социальной жизни любого региона. Они во многом характеризуют степень благоустройства и уровень коммунального обслуживания населения. Важнейшей компонентой инженерных систем являются трубопроводы водоснабжения, которые должны бесперебойно подавать воду потребителям в требуемых количествах с необходимым напором.

Старение коммунальных сетей водоснабжения, снижение их пропускной способности наступает уже через 5-10 лет. Основными факторами, влияющими на техническое состояние водопроводной сети в процессе ее эксплуатации, являются:

- качество материала труб;
- срок эксплуатации трубопроводов;
- неудовлетворительное регулирование напора воды в сети;
- интенсивная внутренняя и внешняя коррозия;
- геологические условия, просадки грунтов;
- резкие сезонные изменения температуры;
- некачественное выполнение строительно-монтажных работ.

Длительная эксплуатация трубопроводов в системах водоснабжения, приводит к потерям напора и снижению их пропускной способности из-за зарастания труб, ухудшению физико-химических показателей транспортируемой питьевой воды, к загрязнению подземных и поверхностных вод и почвы [4, 5]. Утечки воды из трубопроводов, вызванные их старением, являются причиной поднятия уровня грунтовых вод, что может привести к разрушению эксплуатируемых зданий и действующих сооружений инженерной инфраструктуры.

Коммунальным предприятием «КОМПАНИЯ «ВОДА ДОНБАССА» заключён договор с кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, предметом которого является расчёт индивидуальных технологических нормативов использования питьевой воды (ИТНИПВ) для всех подразделений, входящих в структуру Компании [2].

Увеличение динамических нагрузок на водопроводную линию или сооружение в сочетании с нарушениями требований по их прокладке приводит к возникновению аварийных ситуаций. На балансе КП «КОМПАНИЯ «ВОДА ДОНБАССА» состоит: 6193,86 км водопроводных сетей, из них требуют замены около 70 % трубопроводов. Средний возраст трубопроводов составляет 54,5 года. Самые аварийные водопроводные сети в городе Макеевка (6110 аварий за 2018 год). Все трубопроводы этого города были проложены ещё в 1950 году, то есть возраст труб на данный момент составляет 70 лет, что более чем в три раза превышает срок службы стального трубопровода. Для оценки нарушений в работе сетей водопровода г. Макеевки проведён статистический анализ аварий, который показал, что 54 % из них приходится на стальные трубы. В городе Горловка, средний возраст трубопроводов 56 лет (5183 аварии за 2018 год), 64 % из них приходится на чугунные трубы (рис. 1, 2).

Основным видом повреждений на стальных трубопроводах является образование свищей (67 % общего количества повреждений). На чугунных трубопроводах аварии связаны с нарушением герметичности раструбных соединениях (12 %) и переломами труб (16 %).

Заслуживает интереса анализ аварийности водоводов в зависимости от диаметра труб. На рис. 3-5 приведены показатели доли аварий трубопроводов в зависимости от их диаметров. Анализ причин аварий на трубопроводах показал, что причиной разрывов швов в большинстве случаев является гидравлический удар, а причиной образования сквозных отверстий – коррозия материала труб.

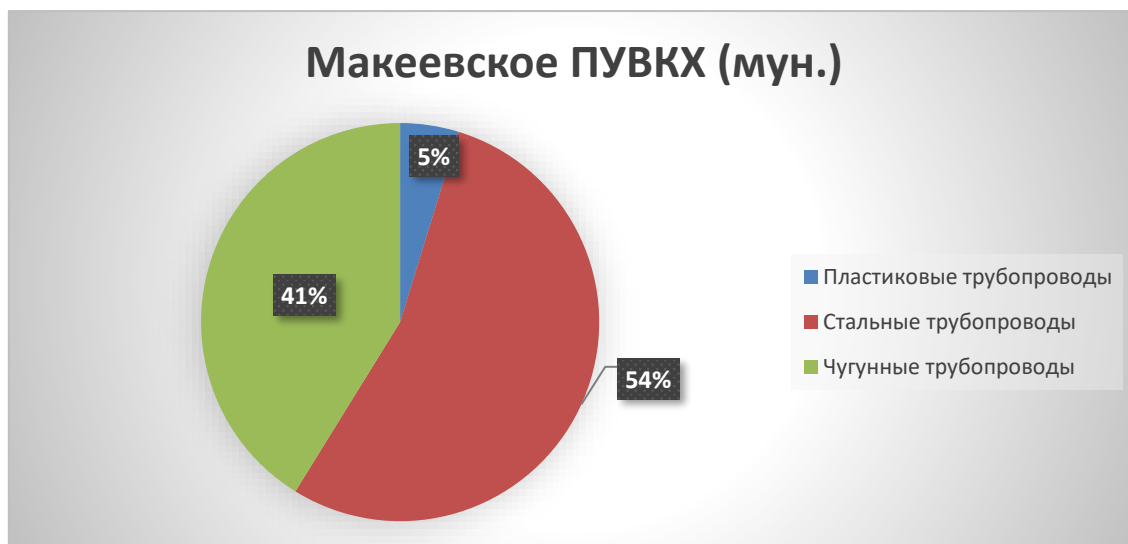


Рис. 1. Статистический анализ аварий на водопроводных сетях по материалам труб (г. Макеевка)



Рис. 2. Статистический анализ аварий на водопроводных сетях по материалам труб (г. Горловка)

В то же время основной причиной разломов и трещин в трубопроводах явилась деформация почвы. Анализ повреждений, связанных с гидравлическим ударом, показал, что в основном аварии этого вида происходят на трубопроводах малого (до 300 мм) диаметра, т. е. там, где уложены чугунные и стальные трубы. Согласно статистическим данным, аварии на трубах большого диаметра (1000–1200 мм) происходят реже, чем на трубах среднего диаметра, применяемых в системе распределения воды. Тем не менее, аварии на трубах большого диаметра, наносят больший

ущерб безопасности работы системе водоснабжения. Повреждения дорожных покрытий, размывы объёмных котлованов, ущерб рядом проходящим инженерным коммуникациям, большие потери воды создают дополнительные сложности в локализации повреждённых участков и приводят к нарушению водоснабжения. Как правило, эксплуатационные сроки восстановления таких трубопроводов не выдерживаются [1, 3].

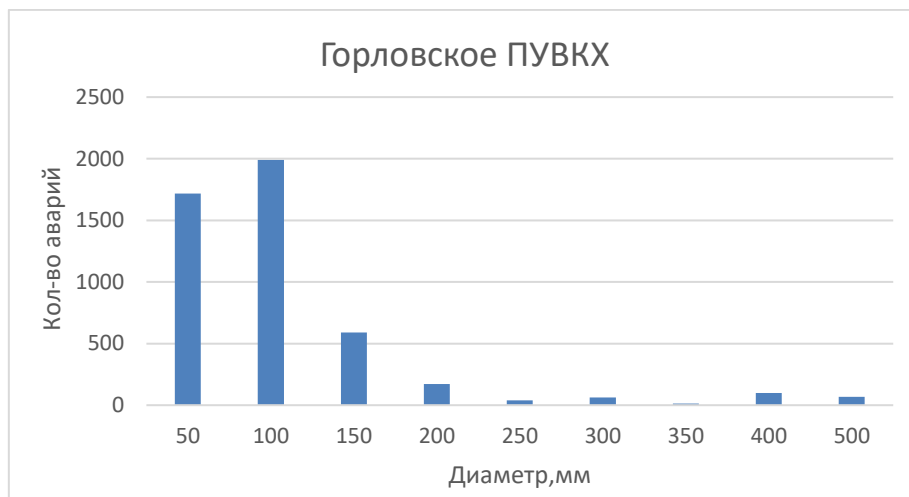


Рис. 3. Количество аварий трубопроводов различных диаметров (г. Горловка)

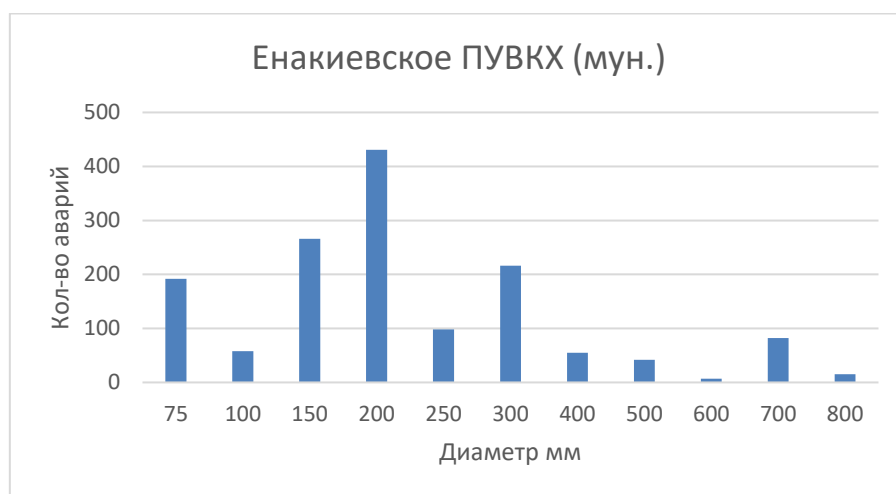


Рис. 4. Количество аварий трубопроводов различных диаметров (г. Енакиево)



Рис. 5. Количество аварий трубопроводов различных диаметров (г. Макеевка)

Учитывая тот факт, что изношенность водопроводных сетей составляет 70 %, а на восстановление требуются значительные средства, предприятиям водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) рекомендовано предложить качественно новые подходы по техническому обслуживанию сетей.

1. Применение труб из полимерных материалов технически и экономически целесообразно в системах централизованного водоснабжения. Большой ассортимент труб позволяет подобрать тип трубы, обеспечивающий создание долговечной системы для конкретных условий эксплуатации.

2. В системе ВКХ может быть создана комплексная диагностическая служба, в задачи которой входят:

- постоянный телевизионный контроль технического состояния с накоплением информации по разрушениям на трубопроводах;
- поиск трасс трубопроводов;
- обнаружение мест повреждений и утечек;
- определение расходов воды по участкам распределительной сети.

Службу диагностики необходимо оснастить современными телеустановками, передвижной лабораторией и укомплектовать квалифицированными специалистами, имеющими навыки работы на приборах и хорошо знающими схемы и устройство водопроводной сети. Их подготовка по заказам предприятий ВКХ может осуществляться по программам дополнительного профессионального образования на базе кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «ДОННАСА».

### Список литературы

1. Повышение надёжности работы систем водоснабжения на основе внедрения безопасных форм организации их эксплуатации и строительства: учеб. пособие /М. Б. Захаревич, А. Н. Ким, А. Ю. Мартянова; СПбГАСУ. – СПб., 2011. – 62 с. ISBN 978-5-9227-0316-1.

2. Научно-технический отчёт по расчёту фактических потерь воды по обособленным подразделениям КП «Компания «Вода Донбасса», находящихся на территории Донецкой Народной Республики: РУЭК, Донецкое РПУ, Амвросиевское ПУВКХ, Горловское ПУВКХ, Докучаевское ПУВКХ, Енакиевское ПУВКХ, Кировское ПУВКХ, Макеевское ПУВКХ, Снежнянское ПУВКХ, Тельмановское ПУВКХ, Торезское ПУВКХ, Харцызское ПУВКХ, Шахтёрское ПУВКХ и в целом по предприятию на территории Донецкой Народной Республики. Договору № 119-02 ТЭРС. – Макеевка, 2019. – 262 с.



3. Сомов М.А., Журба М.Г. Водоснабжение. Том 1. Системы забора, подачи и распределения воды. Учебник для вузов. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 2008 – 260с, 151 ил. – ISBN 978-5-93093-565-3.

4. Ющенко В.Д., Лесович Е.В. Изучение причин потерь воды в населённых пунктах с учётом работы инженерных сетей и сооружений // Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. Инженерные сети. – № 16. – 2017 – С. 150-154.

5. Музалевская Г.Н. Инженерные сети городов и населённых пунктов: Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 148с.

УДК 628.161

Касимов Э.Г., Болотина Н.И.

магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
ГОУ ВПО «ДонНАСА»**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ФИЛЬТРОЦИКЛА  
ДЕЙСТВУЮЩИХ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.**

Повышение продолжительности фильтроцикла скорых фильтров является актуальным для ряда действующих очистных сооружений. Частый выход сооружений на промывку увеличивает количество промывной воды, нуждающейся в последующей обработке или утилизации, приводит к увеличению энергетических затрат на перекачивание значительных объемов жидкости.

Так, для Енакиевской фильтровальной станции КП «Компания «Вода Донбасса» при суточной производительности порядка 100тыс. м<sup>3</sup>/сутки количество промывных вод составляет около 125 тыс. м<sup>3</sup>/мес., либо порядка 4% от производительности станции. При этом, качество поступающей воды после отстойников (предшествующая фильтрованию ступень обработки) колеблется в пределах 0,64-2,28 мг/л, что позволяет говорить о достаточно низкой нагрузке на фильтрующие элементы по взвешенным веществам. При этом, в разное время года фильтроцикл составляет 48-72 часа, что не соизмеримо с колебанием качества воды в источнике.

В общем случае продолжительность фильтроцикла зависит от ряда факторов – качества исходной воды, гидравлического режима работы сооружений фильтрации, характеристик фильтрующей загрузки [1,2]. Однако, учет зарастания скорых фильтров при значительных продолжительностях фильтроцикла и высоком качестве поступающей после осветления воды в литературе не освещен. Известно, что зарастание скорых фильтров связано в первую очередь с протеканием биологических процессов в зернистых загрузках [3], обусловленных ростом бактерий, микроводорослей и простейших [4].

Данные за 2019г действующих станций водоподготовки КП «Компания «Вода Донбасса» позволяют выдвинуть гипотезу о биообрастаниях в фильтрующей загрузке как основной причине снижения продолжительности фильтроцикла при малой нагрузке по фильтрующие элементы по взвешенным веществам.

Как видно из рис.1 в течение года качество осветленной воды, поступающей на скорые фильтры Енакиевской фильтровальной станции колеблется незначительно.

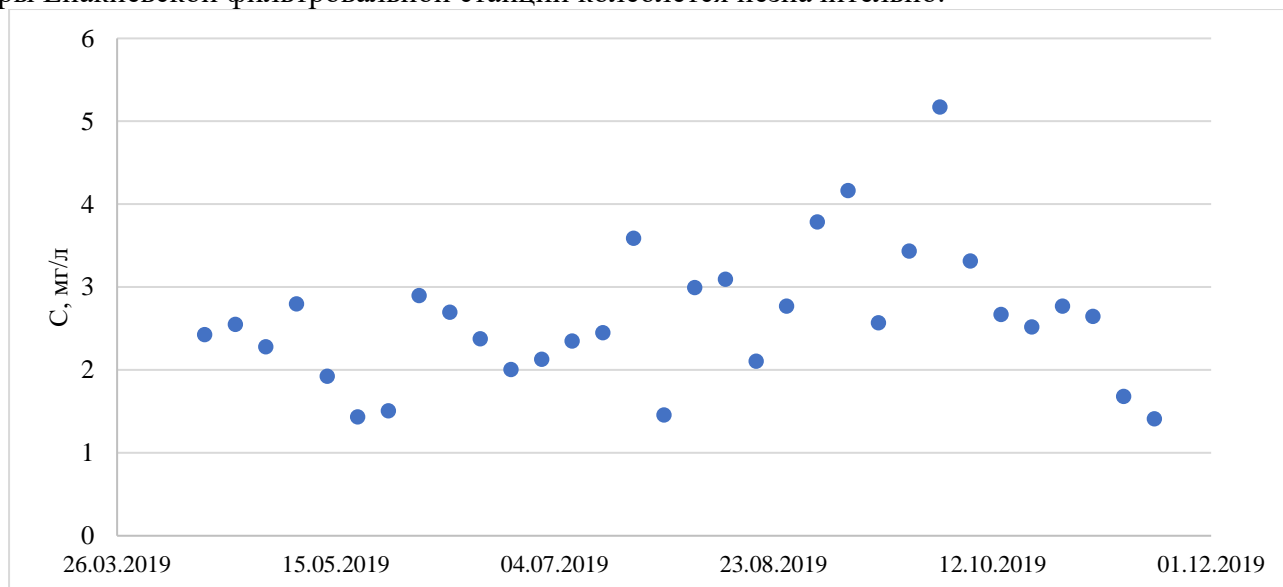


Рис. 1. Качество осветленной воды (по взвешенным веществам) на фильтрование.

В то же время в период с августа по октябрь, согласно производственным данным, продолжительность фильтроцикла в среднем снизилась с 60-70 часов до 48 часов. Подобное является наблюдается на большинстве действующих водоочистных станций из поверхностных источников и связывается с сезонным цветением воды.

Наибольший интерес в таком случае представляет показатель окисляемости поступающей воды, который характеризует наличие в воде органических примесей, в том числе обусловленных цветением воды. Данные за аналогичный период (рис.2) показывают, что окисляемость поступающей воды в течение исследуемого периода также не варьируется в пределах, позволяющих говорить о зарастании фильтров поступающими биологическими загрязнениями.

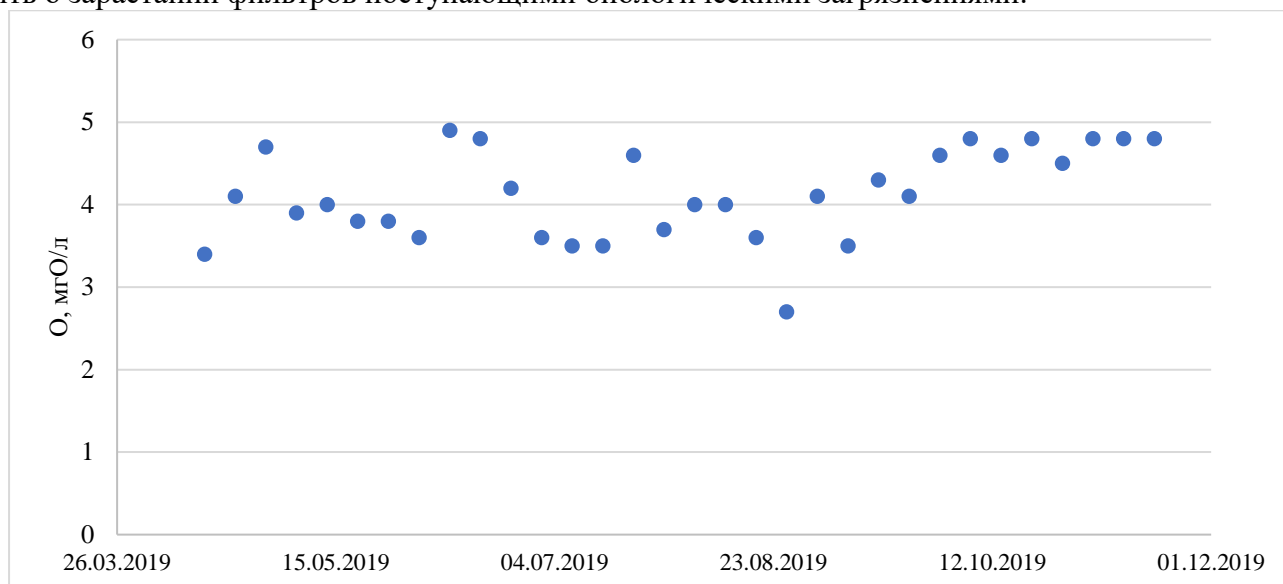


Рис. 2. Окисляемость поступающей на очистку воды.

Согласно известным методикам [1] рассчитана грязеемкость фильтрующей загрузки действующих фильтров по поступающим взвешенным веществам. (рис. 3).

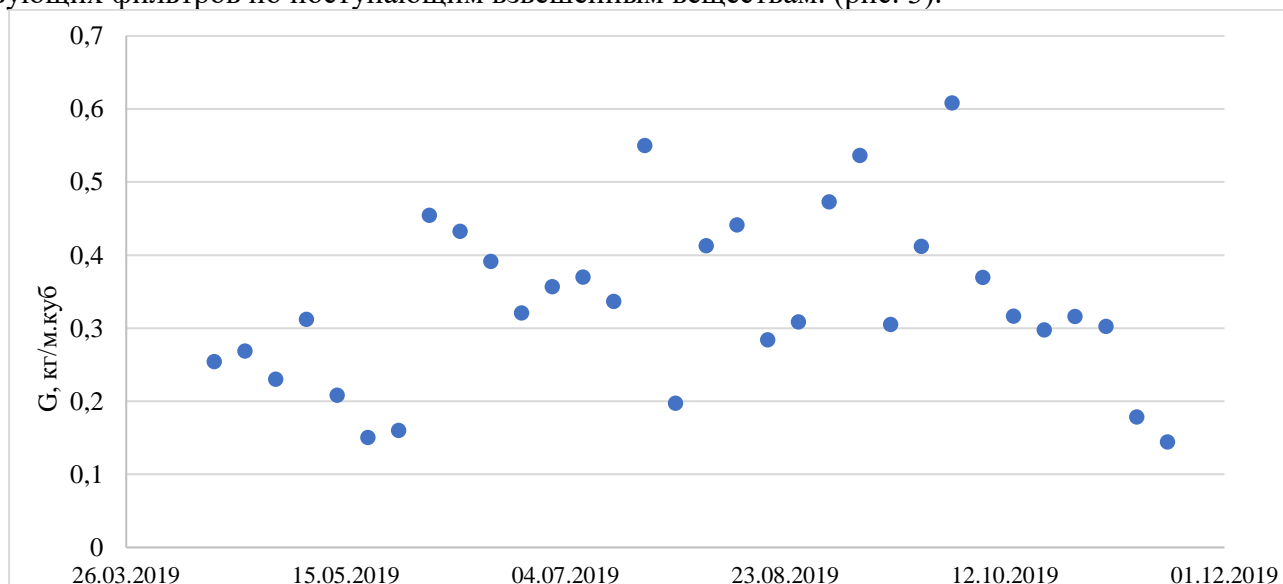


Рис. 3. Грязеемкость фильтрующей загрузки

Отсутствие растворенного кислорода в достаточном количестве в межпоровом пространстве фильтрующих загрузок, предположительно, исключает возможность развития автотрофных микроорганизмов, которые, к тому же, характеризуются низкими скоростями прироста. Таким образом, в фильтрующей загрузке возможно развитие гетеротрофных микроорганизмов и только

некоторых типов водорослей (ввиду очевидного отсутствия освещения). Диатомовые водоросли, с высокой долей вероятности, будут в таких условиях наиболее широко представлены [5]. Максимальные удельные скорости роста таких водорослей достигают 2-2,5 сут<sup>-1</sup>, что превосходит аналогичные показатели для гетеротрофов, даже без учета дефицита органического питания последних.

Таким образом, можно сделать вывод о причинах снижения фильтроцикла на станциях водоподготовки в условиях низкой нагрузки по взвешенным веществам: основным влияющим фактором является развитие диатомовых водорослей, устойчивых ко всем видам применяемого в настоящее время воздействия (хлор, перманганат калия) и усугубленное несовершенством распределительных систем промывки фильтров.

### Список литературы

1. Кузнецов Л. К., Габитов А. И. Технология фильтрования в физико-химических процессах водоподготовки // Баш. хим. ж.. 2009. №2 с. 84-92.
2. Алешин Александр Викторович, Середа Евгения Андреевна Исследования фильтрующего зернистого материала в фильтрах Эшкаконского водопровода // Вестник евразийской науки. 2013. №3 (16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-filtruyuschego-zernistogo-materiala-v-filtraheshkakonskogo-vodoprovoda> (дата обращения: 09.02.2020).
3. Кирилова Анна Вячеславовна, Глинская Елена Владимировна, Воронин Максим Юрьевич, Савельева Александра Сергеевна Бактериообрастания в системе технического водоснабжения Балаковской атомной электростанции // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. №4. С.451-454.
4. Немцева Наталия Вячеславовна Изучение образования биопленок в питьевой воде в процессе водоподготовки // БОНЦ УрО РАН. 2017. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-obrazovaniya-bioplenok-v-pitievoy-vode-v-protseesse-vodopodgotovki> (дата обращения: 09.02.2020).
5. Стельмах Л.В., Мансурова И.М. Унимодальная зависимость скорости роста от объема клеток в культурах черноморских видов микроводорослей // Вопросы современной альгологии. 2017. № 1 (13). URL: <http://algology.ru/1101>

УДК 628.16

**Найманов А.Я.**,  
 профессор кафедры «Городское строительство и хозяйство»,  
**Турчина Г.С.**,  
 ассистент кафедры «Городское строительство и хозяйство»,  
 ГОУ ВПО ДонНАСА

### ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

При изучении нормативной документации по оценке надежности систем водоснабжения обнаружилось, практически, полное отсутствие нормативов, связанных с оценкой надежности систем подачи и распределения воды. Небольшим исключением может служить отсылка о периодах перебоя в подаче воды в зависимости от категории города в СП (СП 31.13330.2012, Водоснабжение. Наружные сети и сооружения СНиП 2.04.02.-84\*, Москва, 2011). Иными словами, численные показатели надежности систем водоснабжения, как и утвержденная методика, в нормативных документах отсутствуют.

Также стоит обратить внимание, что большинство исследователей в своих работах считают участки сети одинаковыми, в то время как каждый трубопровод отличен от других: материалом, из которого изготовлен, длиной, преобладающей функцией (транзита или забора воды), расположением в сети, диаметрами, соответственно, количеством переносимой и подаваемой жидкости. Сегодня все еще остаются неразрешенными задачи по определению значимости участков сети водоснабжения. Так, существующие методики оценки надежности многокольцевых сетей, предложены, например, Гальпериным Е.М., Новохатным В.Г., Круценюк И.Ю. опираются либо на усредненные характеристики сети, либо на предположения об идентичности участков в системе водоснабжения [1, 7, 8, 10, 11]. Это не соответствует действительности в полной мере и требует дальнейшего совершенствования математических подходов [9]. Значительный шаг в этом направлении сделан в работе Панова М.Я., Щербакова В.И. и Петрова Ю.Ф. [12].

На данном этапе исследования можно выделить ряд специалистов, чьи разработки велись с учетом различной значимости элементов: Рябинин И.А., Горопашная А.В., Доронина Ю.В., Ионин А.А., в Самойленко Н.И. [2, 3, 6, 13, 14].

Функциональная составляющая надежности в системах подачи и распределения воды имеет двойственный характер для рассматриваемых участков. С одной стороны, они выполняют задачу транспортировки жидкости к другим участкам, с другой – отдачу воды из системы. Большинство существующих методов оценки надежности системы водоснабжения не учитывает эту особенность в полной мере.

Распределительную функцию достаточно хорошо отражает такой параметр как относительный вес участка  $g_i$

$$g_i = \frac{q_{\text{пут } i}}{Q}$$

где  $q_{\text{пут } i}$  – путевой расход на участке, л/с;

$Q$  – общий расход воды, подаваемой в сеть, л/с.

Величина  $g_i$  заключена в интервале от 0 до 1 ( $0 \leq g_i \leq 1$ ), а сумма всех  $g_i$  равна 1 ( $\sum g_i = 1$ ). Вес участка  $g_i$  показывает, на какую долю от  $Q$  (общего расхода) уменьшается отдача воды сетью при отказе данного участка. В соответствии с требованиями СП 31.13330.2012, необходимо, чтобы  $g_i \leq 0,3$  (снижение отдачи при аварии)

Роль участка в транспорте воды целесообразно оценивать таким параметром как относительное сечение трубопровода на участке  $S_i$

$$C_i = \frac{f_i}{F} = \left(\frac{d_i}{D}\right)^2$$

где  $f_i, d_i$  – площадь сечения и диаметр трубопровода на участке  $m^2, m$ ;

$F, D$  – площадь сечения и диаметр условного трубопровода для пропускания всего подаваемого в сеть расхода воды при скорости  $v = 1$  м/с.

На основе величины  $C_i$  можно ввести более удобный для оценки транспортной функции участка параметр – значимость участка  $Z_i$

$$Z_i = \frac{C_i}{\sum C_i}, 0 \leq Z_i \leq 1, \sum Z_i = 1$$

Величина  $Z_i$  показывает, на какую долю от общего расхода воды  $Q$  уменьшится транспорт воды при отказе данного участка. При этом, в соответствии с требованиями СП 31.13330.2012 должно соблюдаться неравенство  $Z_i \leq 0,3$ .

Сравнение величин  $g_i$  и  $Z_i$  позволяет выяснить, какая из функций участка преобладает. Если  $g_i > Z_i$ , то доминирует раздаточная функция, а при  $g_i < Z_i$  – транспортная. От величины  $g_i$  и  $Z_i$  зависит вклад отказа участка в отказ всей системы (сети).

Вероятность безотказной работы  $P$  и коэффициент готовности для трубопроводов определяется выражением

$$P_i = e^{-\lambda l_i}; K_{Г} = \frac{\mu}{\mu + \lambda l_i}$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов, 1/км·год, зависит от материала труб;

$l_i$  – длина трубопровода, км;

$t$  – продолжительность эксплуатации трубопровода, год.

$\mu$  – интенсивность восстановления трубопровода, 1/год.

Величины  $\lambda$  и  $\mu$  приводятся в справочной литературе, например, у Ильина Ю.В. и Журбы М.И. [4, 5]

Вероятность отказа трубопровода  $Q$  связана с  $P$  формулой

$$Q = 1 - P = 1 - e^{-\lambda l_i}$$

Далее можно вычислить вклад  $i$ -го участка  $Q_{iB}$  в отказы всей сети с учетом его веса  $g_i$  и значимости  $Z_i$

$$Q_{iB} = Q_i \cdot \left(\frac{g_i + z_i}{2}\right)$$

здесь  $\frac{g_i + z_i}{z}$  – усредненная оценка веса и значимости участка

Логично предположить, что вероятность отказов всей сети  $Q_{B(сети)}$  равна сумме вкладов всех участков в отказы.

$$Q_{сети} = \sum Q_{iB}$$

Тогда вероятность безотказной работы сети  $P_{B(сети)}$  с учетом вкладов всех участков составит

$$P_{сети} = 1 - Q_{B(сети)} = 1 - \sum Q_{iB}$$

Аналогичным путем может быть найден коэффициент готовности  $i$ -того трубопровода  $K_{Г(i)}$

$$K_{Г_i} = \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i}, K_{Г(B)} = K_{Г_i}(g_i + z_i) \cdot 0,5$$

Далее вычисляется коэффициент ремонтпригодности

$$K_{П_i} = 1 - K_{Г_i}, K_{П_i} = (g_i + z_i) \cdot 0,5$$

И в конечном итоге коэффициент готовности сети

$$K_{Г(B(сети))} = 1 - \sum K_{П_i(B)}$$

Для примера проведения расчета по оценке надежности системы водоснабжения с учетом значимости и веса была выбрана сеть, состоящая из 18 участков (Рисунок 1). На данной схеме

приведены номера узлов, длины участков и диаметры труб для двух вариантов: над чертой – чугунных, под чертой – полиэтиленовых

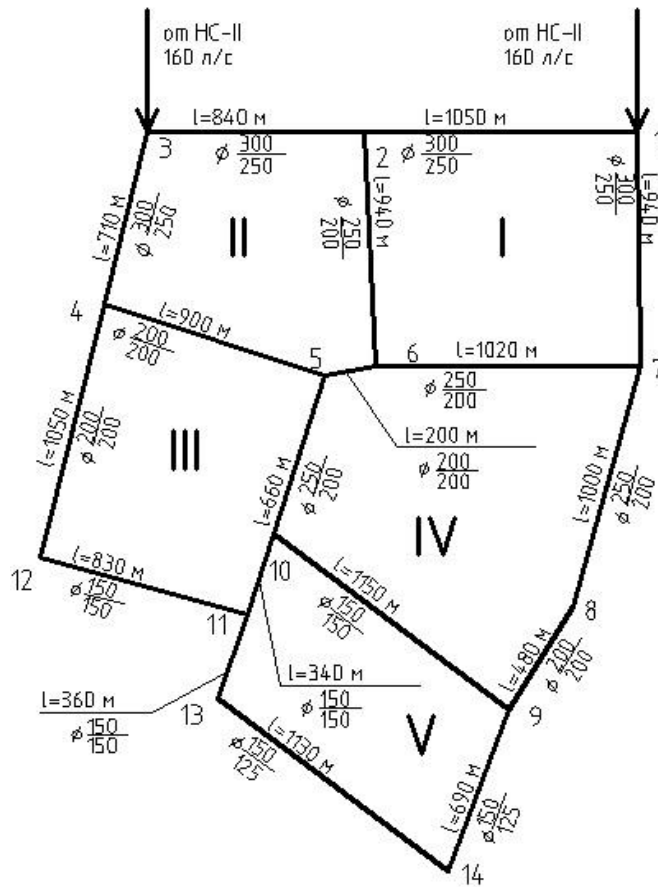


Рисунок 1 – Схема водопроводной сети

В таблице 1 приведены длины и диаметры труб, а также путевые расходы на участках сети. Далее вычислены вероятности безотказной работы участков  $P_i$ . Результаты вычислений в таблице 1 демонстрируют значительно большие величины параметров надежности у сети из полиэтиленовых труб, что и следовало ожидать.

Таблица 1 – Результаты расчета показателей надежности участков кольцевой сети без учета значимости и веса (для  $t=1$ год; для чугуна  $\lambda = 0,43$  (1/км · год), для полиэтилена  $\lambda = 0,02$  (1/км · год))

| Показатели трубопровода |       |                         | Для полиэтиленовых труб |                       | Для чугунных труб |                       |
|-------------------------|-------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| № уч.                   | l, км | Q <sub>пут.</sub> , л/с | d, мм                   | $P_i=e^{-\lambda lt}$ | d, мм             | $P_i=e^{-\lambda lt}$ |
| 1                       | 2     | 3                       | 4                       | 5                     | 6                 | 7                     |
| 1-2                     | 1,05  | 22                      | 300                     | 0,979221              | 250               | 0,636702              |
| 1-7                     | 0,94  | 20                      | 300                     | 0,981378              | 250               | 0,667539              |
| 6-7                     | 1,02  | 22                      | 250                     | 0,979809              | 200               | 0,644968              |
| 2-6                     | 0,94  | 21                      | 250                     | 0,981378              | 200               | 0,667539              |
| 5-6                     | 0,2   | 5                       | 200                     | 0,996008              | 200               | 0,917602              |
| 4-5                     | 0,9   | 20                      | 200                     | 0,982163              | 200               | 0,679118              |
| 3-4                     | 0,71  | 15                      | 300                     | 0,985902              | 250               | 0,736926              |
| 2-3                     | 0,84  | 18                      | 300                     | 0,983342              | 250               | 0,696866              |



|       |       |     |     |          |     |          |
|-------|-------|-----|-----|----------|-----|----------|
| 5-10  | 0,66  | 15  | 250 | 0,986888 | 200 | 0,752939 |
| 10-11 | 0,34  | 9   | 150 | 0,993224 | 150 | 0,863998 |
| 11-12 | 0,83  | 18  | 150 | 0,983539 | 150 | 0,699868 |
| 4-12  | 1,05  | 22  | 200 | 0,979221 | 200 | 0,636702 |
| 7-8   | 1     | 22  | 250 | 0,980201 | 200 | 0,650538 |
| 8-9   | 0,48  | 14  | 200 | 0,990447 | 200 | 0,813525 |
| 9-10  | 1,15  | 26  | 150 | 0,977265 | 150 | 0,609907 |
| 9-14  | 0,69  | 15  | 150 | 0,986296 | 125 | 0,743290 |
| 13-14 | 1,13  | 26  | 150 | 0,977656 | 125 | 0,615174 |
| 11-13 | 0,36  | 10  | 150 | 0,992827 | 150 | 0,856600 |
| Σ     | 14,29 | 320 |     |          |     |          |

В таблице 2 приведены значения веса  $g_i$  и значимости  $z_i$  участков этой же сети. Затем вычислены величины вероятности отказов  $Q_{iB}$  и вероятности безотказной работы  $P_{iB}$  участков с учетом их веса и значимости.

Таблица 2 – Результаты расчета показателей надежности участков кольцевой сети с учетом значимости и веса (для  $t=1$  год; для чугуна  $\lambda = 0,43$  (1/км · год), для полиэтилена  $\lambda = 0,02$  (1/км · год))

| Пок<br>азатели<br>трубопр-да | Для полиэтиленовых труб |        |                      |                   | Для чугунных труб |        |          |                   |
|------------------------------|-------------------------|--------|----------------------|-------------------|-------------------|--------|----------|-------------------|
|                              | $Z_i$                   | $g_i$  | $Q_{iB}$             | $P_{iB}=1-Q_{iB}$ | $Z_i$             | $g_i$  | $Q_{iB}$ | $P_{iB}=1-Q_{iB}$ |
| № уч.                        | 2                       | 3      | 4                    | 5                 | 6                 | 7      | 8        | 9                 |
| 1-2                          | 0,090                   | 0,0688 | $1,73 \cdot 10^{-3}$ | 0,99827           | 0,100             | 0,0688 | 0,031862 | 0,96814           |
| 1-7                          | 0,090                   | 0,0625 | $1,34 \cdot 10^{-3}$ | 0,99866           | 0,100             | 0,0625 | 0,025681 | 0,97432           |
| 6-7                          | 0,058                   | 0,0688 | $1,31 \cdot 10^{-3}$ | 0,99869           | 0,069             | 0,0688 | 0,02485  | 0,97515           |
| 2-6                          | 0,058                   | 0,0656 | $1,08 \cdot 10^{-3}$ | 0,99892           | 0,069             | 0,0656 | 0,021272 | 0,97873           |
| 5-6                          | 0,058                   | 0,0156 | $2,94 \cdot 10^{-5}$ | 0,99997           | 0,044             | 0,0156 | 0,000508 | 0,99949           |
| 4-5                          | 0,058                   | 0,0625 | $9,68 \cdot 10^{-4}$ | 0,99903           | 0,044             | 0,0625 | 0,015660 | 0,98434           |
| 3-4                          | 0,090                   | 0,0469 | $6,87 \cdot 10^{-4}$ | 0,99931           | 0,099             | 0,0469 | 0,014215 | 0,98578           |
| 2-3                          | 0,090                   | 0,0563 | $1,03 \cdot 10^{-3}$ | 0,99898           | 0,099             | 0,0563 | 0,020319 | 0,97968           |
| 5-10                         | 0,058                   | 0,0469 | $4,55 \cdot 10^{-4}$ | 0,99955           | 0,069             | 0,0469 | 0,009898 | 0,99010           |

|       |       |        |   |         |       |        |   |         |
|-------|-------|--------|---|---------|-------|--------|---|---------|
| 10-11 | 0,033 | 0,0281 | $7,05 \cdot 10^{-5}$  | 0,99993 | 0,025 | 0,0281 | 0,001287  | 0,99871 |
| 11-12 | 0,033 | 0,0563 | $6,11 \cdot 10^{-4}$  | 0,99939 | 0,025 | 0,0563 | 0,010421  | 0,98958 |
| 4-12  | 0,058 | 0,0688 | $1,38 \cdot 10^{-3}$  | 0,99862 | 0,044 | 0,0688 | 0,021291  | 0,97871 |
| 7-8   | 0,058 | 0,0688 | $1,25 \cdot 10^{-3}$  | 0,99874 | 0,069 | 0,0688 | 0,024078  | 0,97592 |
| 8-9   | 0,058 | 0,0438 | $2,34 \cdot 10^{-4}$  | 0,99977 | 0,044 | 0,0438 | 0,00414   | 0,99586 |
| 9-10  | 0,033 | 0,0813 | $1,49 \cdot 10^{-3}$  | 0,99851 | 0,025 | 0,0813 | 0,023051  | 0,97695 |
| 9-14  | 0,022 | 0,0469 | $3,26 \cdot 10^{-4}$  | 0,99967 | 0,025 | 0,0469 | 0,006655  | 0,99335 |
| 13-14 | 0,022 | 0,0813 | $1,30 \cdot 10^{-3}$  | 0,99870 | 0,025 | 0,0813 | 0,022455  | 0,97755 |
| 11-13 | 0,033 | 0,0313 | $8,32 \cdot 10^{-5}$  | 0,99992 | 0,025 | 0,0313 | 0,001526  | 0,99847 |
| Σ     | 1,000 |        | $\Sigma Q_{iB} = 0,01537$<br>$P_{iB} = 1 - \Sigma Q_{iB}$<br>$P_{iB} = 0,98463$ |         | 1,000 |        | $\Sigma Q_{iB} = 0,27917$<br>$P_{iB} = 1 - \Sigma Q_{iB}$<br>$P_{iB} = 0,72083$ |         |

Согласно первой таблице наименьшую надежность имели участки 9-10, 13-14, 1-2 и 4-12. Однако, после проведения оценки надежности с учетом функциональной загруженности участка, можно сделать выводы, что наибольшую степень опасности отказов из-за недостаточной

функциональной обеспеченности имеет участок 1-2, в меньшей степени – участки 1-7, 6-7, 7-8 и 8-9.

Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывает, что учет влияния веса и значимости участков приводит к повышению чисел, характеризующих вероятности безотказной работы участков

С помощью данного математического подхода в оценке надежности возможно отобразить влияние значимости и веса участка в зависимости от преобладающей функции трубопровода в сети.

### Список литературы

1. Гальперин, Е.М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1989. – 104 с.
2. Горопашная, А.В. Адаптация логико-вероятностных методов оценки веса, зависимости, вклада, ущерба и активности элементов для немонотонных логических функций. // International Scientific School. Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems, MA SR-2007. – S.-Petersburg, Russia. September 4-8, 2007. – Pp. 409 – 412.
3. Доронина, Ю.В., Рябовая, В. О. Метод модернизации информационных систем экологического мониторинга на основе анализа их функциональной нагрузки. – Санкт-Петербург: Тр. СПИИРАН, 2016. – № 44. – С. 133 – 152
4. Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное // Учебное пособие. Том 1. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 288 с.
5. Ильин, Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.
6. Ионин, А.А. Надежность систем тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1989. – 265 с.
7. Круценюк, И.Ю. Информационная система расчета, прогнозирования и управления состоянием системы водоснабжения НПР // Социально-экономическое развитие Норильского промышленного района и Таймыра: Материалы региональной научно-практической конференции (20-22 апреля 2004г.). – Норильск: Норильский индустр. Институт, 2004. – С. 108 – 111.
8. Круценюк, И.Ю. Математические методы получения численных показателей надежности простейших комбинаций элементов системы ТВС г. Норильска // Информационная среда вуза: Материалы XI Междунар. науч.- техн. конф. – Иваново: Иван. Гос. архит.-строит. Акад., 2004. – С. 531 – 535.
9. Найманов, А.Я. Особенности оценки надежности кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника, 2006. – №12. – С. 11 – 16.
10. Новохатный, В.Г. Водопроводные сети и сооружения. – Киев.: УМК — ВО, 1989. – 107 с.
11. Новохатный, В.Г., Калюжный А.П. Принципы зонирования и локализации систем оборотного водоснабжения // Новосибирск: Санитарная техника. Известия вузов. Строительство, 2000. – N 9. – С. 77 – 81.
12. Панов, М.Я., Петров, Ю.Ф., Щербатов, В.И. Модели управления функционированием систем подачи и распределения воды / М.Я. Панов, Ю.Ф. Петров, В.И. Щербатов. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2013. – 271 с.
13. Панов М.Я., Петров Ю. Ф., Щербатов В. И. Модели управления функционированием систем подачи и распределения воды. – Воронеж: Воронежский ГАСУ. 2013. 271 с.
14. Рябинин, И.А., Черкесов, Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с., ил. – (Б-ка инженера по надежности)
15. Самойленко, Н.И., Сенчук, Т. С. Функциональная надежность магистральных трубопроводных транспортных систем: Монография. / Н. И. Самойленко, Т. С. Сенчук. – Х.: Издательство «ХТМТ», ХНАГХ, 2009. – 276 с.

УДК 628.38

Половнева М.А.

ЦКИПИВЛ, КП «Компания «Вода Донбасса»

Лукьянчук Я.С., Клемешова А.В.

магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

ГОУ ВПО «ДонНАСА»

### УДОБРЕНИЕ ИЗ БИОГУМУСА, ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДСКИХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

При эксплуатации канализационных очистных сооружений города Макеевки образуются большие объёмы осадков сточных вод, в количестве 10 тыс. т/год, которые ежегодно накапливаются в местах удаления отходов, занимают огромные территории плодородных земель, площадью 253 тыс. м<sup>2</sup>, и представляют экологическую опасность ввиду загрязнения почвы, атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод. В связи с этим, актуальной задачей является разработка и внедрение экологически безопасной и экономически выгодной технологии утилизации осадков сточных вод.

Для определения возможности использования биогумуса в качестве удобрения, полученного на основе осадков сточных вод городских канализационных очистных сооружений Макеевского ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса», были выполнены исследования по ряду показателей, позволяющих установить их соответствие нормативным требованиям. Так, в результате определения качественного состава биогумуса, полученного путём вермикомпостирования ОСВ, было установлено, что данный продукт имеет высокие агрохимические показатели биогумуса и соответствует нормативным требованиям (таблица 1) [4].

Таблица 1 – Агрохимические показатели полученного биогумуса

| Показатели                                     | Ед. измерения | Величина     |             |
|--|---------------|--------------|-------------|
|  |               | нормативная  | фактическая |
| Реакция среды                                  | ед. рН        | 6,0-8,0      | 7,70        |
| Массовая доля общего азота на сухое вещество   | %             | не менее 0,6 | 4,79        |
| Массовая доля общего фосфора на сухое вещество | %             | не менее 0,7 | 2,25        |
| Массовая доля влажности                        | %             | не более 70  | 50,97       |

С точки зрения агрохимии, анализируемые показатели (таблица 1) являются основными, так как существенно влияют на плодородие почв, поглотительную способность почвы, активность биологических процессов в почве (увеличение почвенной микрофлоры и фауны, повышение деятельности почвенных организмов), процессы аэрации, водный, газовый и тепловой режимы, кислотно-щелочной баланс почвы, доступность питательных веществ растениям и перенос загрязняющих веществ [1].

Основными ограничениями при вторичном использовании осадков сточных вод в качестве удобрения являются их неблагоприятные санитарно-гигиенические показатели (наличие яиц гельминтов и патогенной микрофлоры) и токсические параметры (содержание тяжёлых металлов). Однако известно, что осадки сточных вод, подверженные вермикомпостированию, частично обезвреживаются от тяжёлых металлов (под ферментативной деятельностью червей, подвижные формы тяжёлых металлов переходят к неподвижным, то есть нерастворимым в воде) и полностью обеззараживаются патогенной микрофлоры (происходит их дегельминтизация) [2], что было подтверждено нами в ходе проведения экспериментов.

В таблице 2 приведены нормативные значения и экспериментально полученные величины отдельных токсикологических и санитарно-гигиенических показателей биогумуса, полученного из осадков сточных вод исследуемого предприятия, при утилизации данного отхода методом вермикомпостирования.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика соответствия токсикологических и санитарно-гигиенических показателей биогумуса нормативным требованиям

| Наименование показателя                            | Величина       |                |                 |
|--|----------------|----------------|-----------------|
|  | нормативная    |                | фактическая     |
|  | группа I*      | группа II*     |                 |
| Токсикологические показатели, мг/кг                |                |                |                 |
| Цинк   | 220,0          | 1750,0         | 660,0           |
| Медь   | 132,0          | 750,0          | 230,0           |
| Марганец   | не нормируется | не нормируется | 360,0           |
| Кадмий   | 2,0            | 15,0           | 4,0             |
| Свинец   | 130,0          | 250,0          | 78,0            |
| Никель   | 80,0           | 200,0          | 15,0            |
| Кобальт  | не нормируется | не нормируется | 18,0            |
| Хром   | 90,0           | 500,0          | 21,0            |
| Ртуть  | 2,1            | 7,5            | 1,3             |
| Санитарно-гигиенические показатели                 |                |                |                 |
| Наличие патогенных и болезнетв. микроорганиз. кл/г | не допускается | не допускается | не определялось |
| Наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов    | не допускается | не допускается | не обнаружено   |
| Цисты кишечных патогенных простейших               | не допускается | не допускается | не обнаружено   |

\*Удобрения группы I: удобрения на основе ОСВ, используемые для выращивания технических, кормовых, зерновых культур, в личном подсобном хозяйстве при выращивании рассады овощных и цветочных культур.

\*\* Удобрения группы II: удобрения на основе ОСВ, используемые под посадки лесохозяйственных культур, в питомниках лесных и декоративных культур, цветоводстве, для окультуривания истощённых почв, рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, рекультивации свалок твёрдых бытовых отходов.

Как видно из таблицы 2, по концентрации тяжёлых металлов и наличию неблагоприятных санитарно-гигиенических показателей, осадки сточных вод и удобрения, произведённые на их основе, при использовании подразделяют на две группы на основании результатов химического анализа по методам в соответствии с [5]. Если содержание хотя бы одного из нормируемых показателей превышает его допустимый уровень для группы I, то осадки и удобрения относят к группе II. В случае превышения содержания хотя бы одного из нормируемых показателей допустимого значения по группе II удобрение подвергается дополнительной переработке [4].

В пробах биогумуса наблюдаются превышения допустимых концентраций тяжёлых металлов для удобрений группы I по цинку, меди и кадмию, следовательно, полученный биогумус относится к удобрениям группы II и может использоваться в сферах, разрешённых данной группой, с учётом региональных и местных условий участка внесения удобрений.

Применение удобрений не должно приводить к сверхнормативному накоплению в почве элементов и соединений, приведённых в таблице 2. При применении удобрения не должны загрязнять почву, растительную продукцию и грунтовые воды токсичными элементами [4].

При сельскохозяйственном использовании осадков и удобрений, произведённых на их основе, допустимые дозы внесения в каждом конкретном случае рассчитывают с учётом фактического содержания нормируемых в таблице 2 загрязнений в удобрении и в почве (на участке внесения удобрения) [3]. При внесении удобрений в расчётных дозах качество выращиваемой сельскохозяйственной продукции должно соответствовать нормативным требованиям [6]. При содержании в почве любого из нормируемых загрязнений в концентрации свыше 0,8 ПДК внесение в почву осадков и удобрений, произведённых на их основе запрещается [3].

При несельскохозяйственном использовании осадков и удобрений, произведённых на их основе дозы внесения определяются технологиями выращивания культур и направлениями (технологиями) рекультивации. Во избежание накопления в почве токсичных компонентов вследствие применения удобрений группы II, на почвах среднего и тяжёлого механического состава норма внесения сухой массы удобрений не должна превышать 10 т/га при периодичности внесения не чаще одного раза в 5 лет; на лёгких песчаных и супесчаных почвах норма внесения удобрений не должна превышать 7 т/га при периодичности внесения не чаще одного раза в три года. Внесение удобрений на кислых почвах до их известкования не допускается [4].

Порядок применения удобрений, произведённых на основе осадков сточных вод, определяет технологический регламент, который разрабатывают специализированные организации с учётом региональных и местных условий, в том числе свойств и гидрологического режима почв, содержания в удобрениях и почве нормируемых загрязнений, общего и минерального азота, фосфора, калия, особенностей возделывания культур, принятого севооборота и других условий [4].

Таким образом, на фоне полученных положительных агрохимических, токсикологических и санитарно-гигиенических результатов, можно сделать благоприятный прогноз о возможности использования полученного биогумуса, в качестве удобрения для почв, и о возможности применения технологии вермикомпостирования для утилизации осадков сточных вод городских канализационных очистных сооружений Макеевского ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса».

### Список литературы

1. Вермикомпостирование и вермикультивирование как основа экологического земледелия в XXI веке. Сборник научных трудов. – Минск: НПЦ НАН Беларуси, 2013. – 250 с.
2. Разработка системы обращения с осадками сточных вод, доочистка сточных вод, предочистка поверхностных вод биотехнологическими методами (вермиккультура, биоплато и др.: Отчет годовой (программа 17)) / ЦКИПИВЛ КП «Компания «Вода Донбасса». – Донецк, 2015. – 82 с.
3. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. – М.: Госстандарт России, 2001. – 8 с.
4. ГОСТ Р 54651-2011 Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 16 с.
5. ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – М.: Национальный стандарт РФ, 2010. – 33 с.
6. СанПиН 2.3.2.560-96 Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. – М.: Госкомсанэпиднадзора РФ, 1996. – 227 с.



УДК 628.336

Потапова В.В., Ткаченко Н.С.

магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
ГОУ ВПО «ДонНАСА»**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
БИОСОРБЦИИ ИОНОВ МЕДИ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ДРОЖЖАМИ *SACCHAROMYCES  
CEREVISIAE***

При очистке сточных вод на городских очистных сооружениях образуется значительное количество органических осадков, которые требуют дальнейшей переработки. Существует несколько способов утилизации осадков сточных вод, наиболее рациональным является их использование в качестве органоминеральных удобрений. Однако, данный способ подразумевает предварительное обеззараживание осадков и извлечение из них токсических компонентов, в том числе ионов тяжелых металлов. На сегодняшний день актуальным вопросом является поиск эффективного и экологически безопасного способа утилизации осадков сточных вод и извлечения из них ионов тяжелых металлов. Это позволит сократить отвод земель для размещения осадка и снизит экологический ущерб от проникновения в почву и подземные источники токсических веществ.

Существующие методы удаления ионов тяжелых металлов можно подразделить на химические, физико-химические, реагентно-биологические.

Одним из эффективных способов удаления ионов тяжелых металлов из самих сточных вод считается метод биосорбции с применением дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, используемых в производстве пива и хлебопекарной продукции. Перспективной представляется разработка технологии, использующей способность дрожжей сорбировать ионы тяжелых металлов, для обработки осадков сточных вод. Преимуществами их использования является не только удаление тяжелых металлов из рассматриваемой среды, но и утилизация самих отходов производства [1].

Согласно [3] выход остаточных пивных дрожжей составляет 1,0–1,2% от массы пива и в большинстве случаев их дальнейшая переработка не предусмотрена. Интерес представляет использование отходов пивного производства ГП «Спирт Донбасса» для извлечения тяжелых металлов из осадков сточных вод канализационных очистных сооружений Донецкой Народной Республики.

Исследования показали, что дрожжи проявляют высокую сорбционную активность по отношению к тяжелым металлам. Итогом процесса биосорбции является связывание тяжелых металлов и образование малотоксичных соединений [2]. В литературе отражены результаты экспериментальных исследований с использованием дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* для удаления ионов свинца, никеля, цинка, меди, кадмия и др. [1,2,4]. Различают активную сорбцию или биоаккумуляцию, в которой участвуют живые клетки, и пассивную, при которой ионы тяжелых металлов сорбируются на поверхности как живых, так и неживых клеток дрожжей [1].

Целью данного исследования является на основании аналитического анализа определить факторы, влияющие на эффективность удаления ионов меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ) из модельной жидкости с помощью живых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и их клеточных стенок.

В работе [2] ряд опытов отражает результаты введения живых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в модельную жидкость. В итоге эксперимента было определено, что эффективность процесса биосорбции ионов меди уменьшалась при увеличении рН сточных вод и возрастала с двукратным увеличением количества вводимых дрожжей приблизительно на 20%.

Подобный эксперимент, однако с использованием высушенных и измельченных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, был проведен авторами работы [4] на сточной жидкости. Материал для экспериментов был получен методом центрифугирования пивных отходов при 3600 об/мин в течение 60 минут. Затем полученную массу дрожжей помещали в печь, нагретую до 80°C, на 28

часов до полного высушивания. После окончания указанного времени полученную биомассу растирали и просеивали через сито до порошкообразного состояния. Эксперименты показали, что увеличение рН тоже снижает эффективность биосорбции ионов меди высушенными дрожжами, а увеличение навески дрожжей в два раза также, как и для живой биомассы дрожжей повышает эффективность приблизительно на 20%.

Однако, в работе [4] также рассматривается влияние продолжительности процесса биосорбции на эффективность извлечения ионов меди из сточной воды. Для оптимальных значений рН (принято рН = 4) рекомендуемое время контакта составляет 120 мин. Именно в этот период навеска высушенных дрожжей достигает максимальной адсорбционной способности. При увеличении времени пребывания сорбента в сточных водах с повышенным содержанием меди приводит к снижению эффективности приблизительно на 5% каждые 30 мин.

Интересным фактором, влияющим на эффективность дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* считается взаимное влияние двух и более ионов тяжелых металлов в мультиионных системах. Согласно исследованиям авторов в работе [1] в целом адсорбция каждого из ионов в смеси меньше, чем для одиночного иона. Этот фактор важен не только для извлечения тяжелых металлов из сточных вод, но и из осадков, которые также являются многоионной средой.

Полное сравнение процессов биосорбции живыми дрожжами и их клеточными стенками на основании только лишь литературных данных не дает полной картины процесса, однако можно сделать вывод, что оптимальные значения рН и массы сорбента позволяют протекать биосорбции более эффективно. Кроме того, важно учитывать время контакта и наличие конкурентных ионов в рассматриваемой среде.

Данное аналитическое исследование механизма биосорбции ионов меди клетками дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* поможет сформировать задачи исследования и провести эксперимент не на сточной или модельной жидкости, а при разработке технологии извлечения ионов тяжелых металлов из осадков сточных вод.

#### Список литературы

1. Аронбаев С.Д., Насимов А.М., Аронбаев Д.М. Биосорбция тяжелых металлов клеточными оболочками дрожжей *saccharomyces cerevisiae*// Всероссийский журнал научных публикаций. – 2010. – с.13-15.
2. Гаранин Р.А., Лыков И.Н. Исследование возможности использования дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) в качестве биосорбента тяжелых металлов из промышленных сточных вод// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2008. - №1. – с.110-119.
3. ГОСТ 18–323–78 «Дрожжи пивные жидкие»
4. S A J Ririhena, A D Astuti, M F Fachrul, M D S Silalahi, R Hadisoebroto, A Rinanti. Biosorption of heavy metal copper (Cu<sup>2+</sup>) by *Saccharomyces cerevisiae* // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – P. 1-7.



УДК 628.1

Ручка В.В., Марченко В.В., Лысенко М.Г.

магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»  
ГОУ ВПО «ДонНАСА»**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ,  
СКРЫТЫЕ УТЕЧКИ ВОДЫ ИЗ ТРУБОПРОВОДОВ**

В большинстве городов Донецкой Народной Республики ситуация с обеспечением надёжности водопроводных сетей является достаточно напряжённой. Это связано с нарастающими темпами износа трубопроводов и оборудования коммунальных сетей водоснабжения, ограниченностью финансовых ресурсов на восстановление и обновление сетей. Срок эксплуатации водопроводных сетей, являющихся основным элементом систем водоснабжения составляет более 40–50 лет. Это свидетельствует о том, что они выработали свой технически допустимый амортизационный срок, гарантирующий их надёжную эксплуатацию. В результате физического износа трубопроводов и арматуры ежегодно имеет место тенденция увеличения количества прорывов, отключений и аварий, а, следовательно, и потерь воды.

Старение подземных трубопроводных коммуникаций различного назначения приводит:

- к ухудшению физико-химических показателей транспортируемой питьевой воды (например, цветности) по причине коррозии;
- возможности повторного загрязнения вод (в результате свищей, трещин, нарушения стыковых соединений);
- к утечке воды из трубопроводов, вызванной их старением, что является причиной поднятия уровня грунтовых вод и может привести к разрушению близлежащих зданий и сооружений [4, 5].

Кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ДонНАСА выполнен договор с КП «Компания «Вода Донбасса», предметом которого является расчёт фактических потерь воды по обособленным подразделениям КП «Компания «Вода Донбасса», находящихся на территории Донецкой Народной Республики [1]. Больше всего воды теряется при скрытых утечках, так как они связаны с возрастом трубопроводов. Эти утечки, в свою очередь, делятся на утечки через стыки и стенки трубопроводов, а также утечки через не выявленные свищи и составляют 50002 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Скрытые утечки из водоводов сырой воды включают утечки через стыки и стенки трубопроводов ( $W_1$ ) и наличие не выявленных свищей ( $W_2$ ). Первая составляющая рассчитывается по формуле:

$$W_1 = \frac{\sum 525,6 \cdot K \cdot L_i \cdot q_i \cdot \sqrt{H_{cp}/60}}{Q_{под}} \text{ м}^3/\text{тыс. м}^3,$$

где  $L_i$  – длина  $i$ -го участка трубопровода, км;

$q_i$  – допустимый уровень расходов воды при гидравлических испытаниях согласно строительным нормам;

$H_{cp}$  – средний напор воды в сети с учётом графика подачи воды, м. вод. ст.;

$K$  – коэффициент, зависящий от возраста трубопроводов, материала труб, типа стыков.

Вторая составляющая потерь воды из-за скрытых утечек рассчитывается по формуле:

$$W_2 = \frac{9568 \cdot N_{св} \cdot \sum t_i \cdot \omega_i \cdot \sqrt{H}}{Q_{под}} \text{ м}^3/\text{тыс. м}^3,$$

где  $N_{св}$  – количество невыявленных свищей, ед.;

$t_i$  – время истечения из-за не выявленных свищей в течение года;  
 $\omega_i$  – площадь отверстия свища, которая принимается равной  $2 \times 10^{-4} \text{ м}^2$ ;  
 $H$  – средний напор в сети, м. вод.ст.

Количество не выявленных свищей рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{св}} = 0,0007 \cdot TN$$

где  $T$  – средний срок службы трубопроводов в годах, лет;

$N$  – количество аварий в системе водоснабжения, ед.

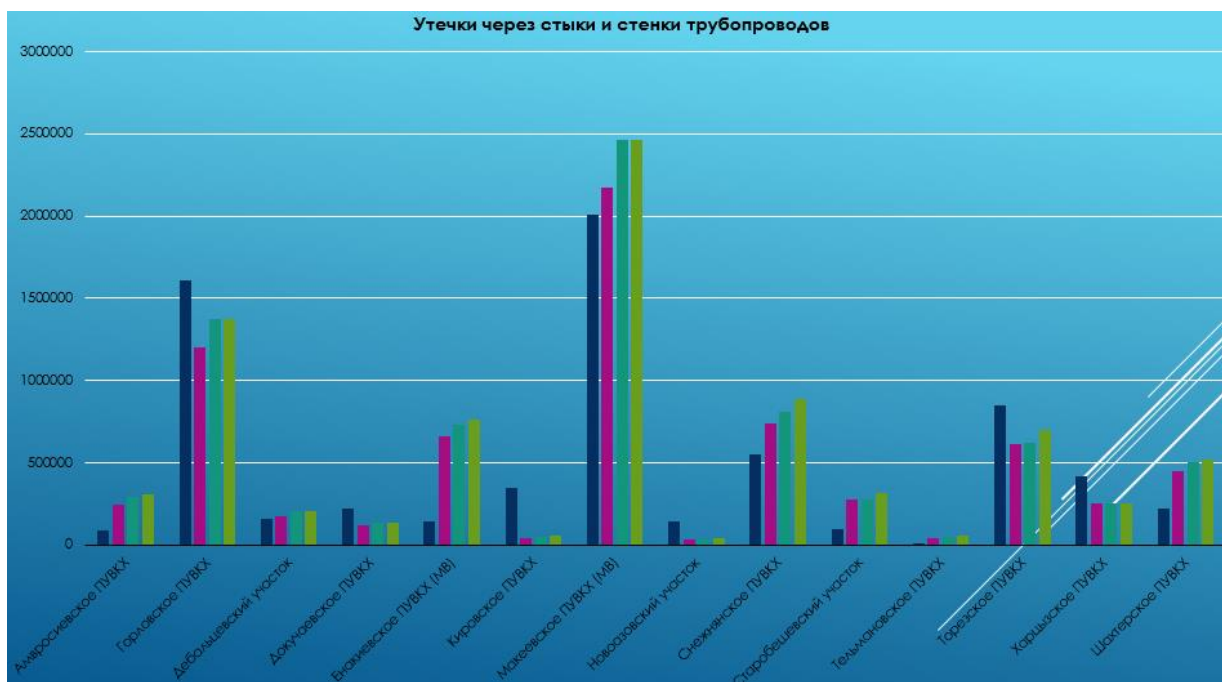


Рис. 1. Утечки воды через стыки и стенки трубопроводов

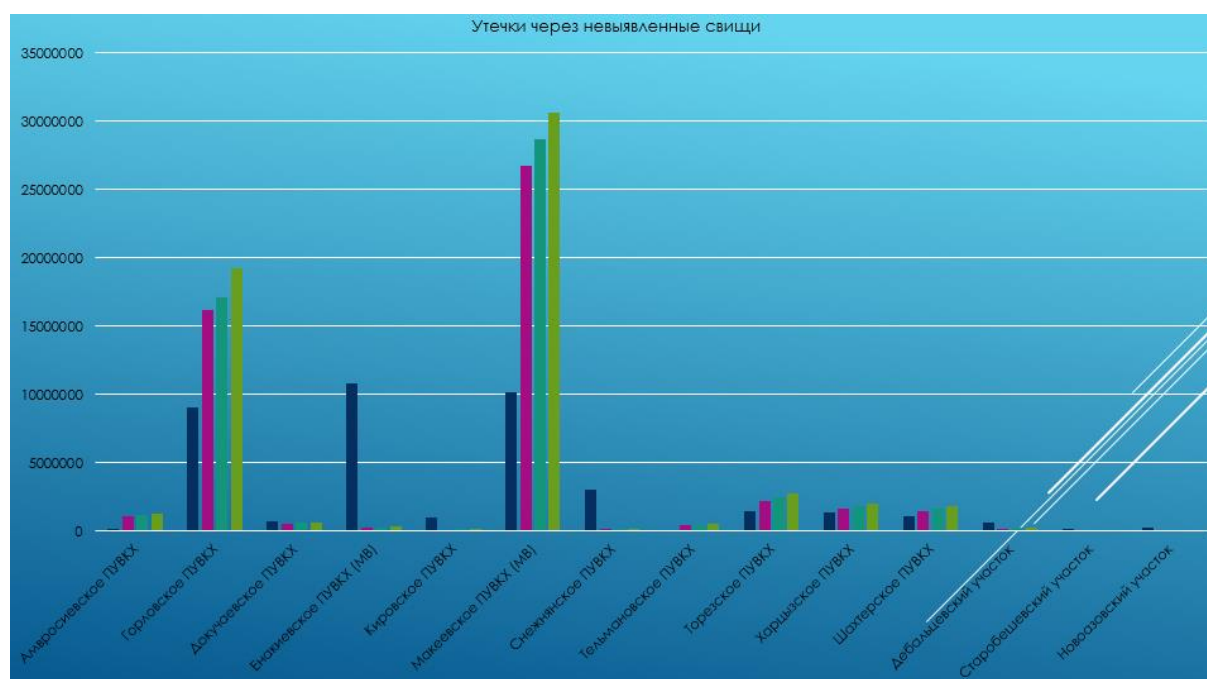


Рис. 2. Утечки воды через не выявленные свищи

Наиболее распространёнными причинами аварий являются свищи, которые в 95 % случаев

образуются в результате коррозионного разрушения металла трубопровода и только в 4-5 % действием блуждающих в земле токов. Разрушение металла является одним из проявлений внутренней коррозии. Коррозия приводит к снижению надёжности транспортировки воды и в целом ухудшает качество водоснабжения. Из-за внутренней коррозии на стенках трубопроводов образуется слой железистых отложений. Они увеличивают гидравлическое сопротивление трубопроводов. В результате этого, чтобы поддерживать необходимый гидравлический режим в системе водоснабжения, эксплуатационный персонал должен повышать давление в подающем трубопроводе. Из-за повышенного давления в трубопроводах вероятность появления свищей возрастает, надёжность транспортировки воды водопроводных сетей снижается.

Внутренняя коррозия водопроводов вызывается чаще всего попаданием кислорода в трубопровод. Кислород может попадать несколькими путями: это может произойти из-за плохой или некачественной работы деаэрационных установок; нередко он попадает через подсосы охлаждающей воды в охладителях деаэрированной воды или через сальниковые уплотнения на всасывающей линии насосов.

Основными видами повреждений на трубопроводах являются нарушение герметичности раструбных соединений и переломы труб. На чугунных трубах – это нарушение заделки раструбов. Заделка раструбов нарушается при незначительных гидравлических ударах в сети и подвижках грунта. Появляющаяся при этом капельная течь, как правило, быстро увеличивается, разрушая соединения стыков, вызывая подмыв основания трубы, а затем ее разрыв. Осадки грунтов в основании являются не менее важными причинами большинства повреждений [2, 3].

Разрыв сварных стыков – наиболее характерные повреждения стальных труб. Причинами разрывов сварных стыков являются потеря сцепления тела трубы с грунтом на большом протяжении и нарушение технологии сварочных работ при строительстве (непровары, шлаковые включения, прожоги, поры).

Кроме указанных причин разрывы стыков происходят вследствие:

- температурных изменений посезонно, наибольшее количество разрывов стыков на стальных трубопроводах наблюдается в осенние месяцы;
- напряжения от внутреннего напора в трубах и амплитуды его колебания во времени;
- напряжения, появляющегося в результате изгиба труб в траншее, а также от остаточных напряжений, которые наиболее опасны с точки зрения разрыва стыков стальных труб.

Полученные данные по потерям воды позволяют решать вопросы при разработке мероприятий по их снижению, которые должны привести к устранению потерь и существенно сократить объёмы водопотребления, повысив качество работы водопроводных систем без дополнительного расширения, в том числе нового строительства.

### Список литературы

1. Научно-технический отчёт по расчёту фактических потерь воды по обособленным подразделениям КП «Компания «Вода Донбасса», находящихся на территории Донецкой Народной Республики: РУЭК, Донецкое РПУ, Амвросиевское ПУВКХ, Горловское ПУВКХ, Докучаевское ПУВКХ, Енакиевское ПУВКХ, Кировское ПУВКХ, Макеевское ПУВКХ, Снежнянское ПУВКХ, Тельмановское ПУВКХ, Торезское ПУВКХ, Харцызское ПУВКХ, Шахтёрское ПУВКХ и в целом по предприятию на территории Донецкой Народной Республики. Договору № 119-02 ТЭРС. – Макеевка, 2019. – 262 с.

2. Примин О.Г., Орлов В.А. Оценка и прогноз технического состояния трубопроводов // ВиСТ. - 2006. - № 1. - С. 25-28.

3. Краснов В.И. Реконструкция трубопроводных инженерных сетей и сооружений. Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 238 с.

4. Зайченко Л.Г., Гутарова М.Ю. Сокращение потерь питьевой воды в жилищном фонде // Науковий вісник будівництва ХНУБА ХОТВ АБУ: Харків. – 2012. – Вип. № 70. – С. 298-301.

5. Лернер А.Д., Домнин К.В., Бойко С.В., Кочетова М.Г. Проблемы обоснования величин неучтённых расходов воды в системах водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. - 2012. – № 4. – С. 64-70.

УДК 628.356+532.51

Заворотный Д.В.,

ассистент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Голоденко Н.Н.

доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

ГОУ ВПО «ДонНАСА»

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЁТА СКОРОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ПОТОКОВ В ИЛОУДЕЛИТЕЛЕ ЭРЛИФТНОГО БИОРЕАКТОРА-ОСВЕТИТЕЛЯ

Решена стационарная двумерная задача по расчёту гидродинамических параметров эрлифтного биореактора-осветлителя. Представлены линии тока, построенные на основании полученного решения.

**Ключевые слова:** эрлифтный биореактор, илоотделитель, линии тока, уравнение Навье-Стокса, метод конечных разностей.

Эрлифтные биореакторы применяются при биологической очистке сточных вод от соединений азота, фосфора, серы, фенолов, и т.д. [2]. Циркуляция и контакт иловой смеси с воздухом в этих сооружениях осуществляется благодаря затопленным эрлифтам. В настоящее время многими отечественными и зарубежными учёными даны теоретические описания скалярных и векторных полей скоростей в эрлифтных биореакторах [1, 6].

Для снижения объёмов сооружений биологической очистки эрлифтные биореакторы целесообразно комбинировать с илоотделителями в эрлифтных биореакторах-осветлителях (рис. 1). Затопленный эрлифт 1 перекачивает жидкость внутри корпуса эрлифтного биореактора-осветлителя HGFNI, образуя замкнутую основную циркуляцию 6. Обтекание циркулирующей жидкостью разделительной перегородки 2 с наклонным козырьком 3, образует водоворотную зону 4. В ней поддерживается самообновляющийся взвешенный слой [3]. Очищенная жидкость отводится через сечение CG. Аналогичные процессы происходят с противоположной стороны от оси симметрии HI.

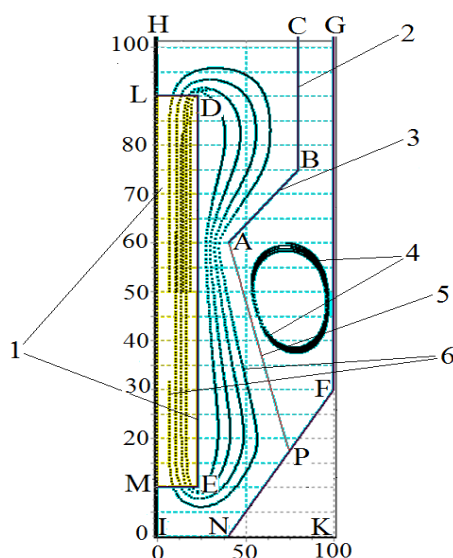


Рис. 1. Схема эрлифтного биореактора-осветлителя с теоретическими линиями тока.

1 - стенка затопленного эрлифта; 2 - разделительная перегородка; 3 - наклонный козырёк; 4 - водоворотная зона; 5 - граница нисходящей струи; 6 - основная циркуляция.

Существующие рекомендации для расчёта эрлифтных биореакторов-осветлителей основываются на эмпирических данных [3], что придаёт актуальность разработке современной математической модели гидродинамики данного сооружения.

По опытным данным, граница струи находится под углом  $\alpha$  относительно её оси,  $\operatorname{tg} \alpha \approx 0,25$  [4, с. 93]. Это учитывается разделением объёма биореактора границей нисходящей струи 5 (рис. 1). На основании уравнений Навье–Стокса и уравнения неразрывности, после преобразований и реализации итерационного процесса по методу Гаусса–Зайделя [5, с. 149, 162], получено уравнение переноса вихря  $\zeta$  в конечных разностях (1).

$$\zeta_{i,j}^{n+1} = \zeta_{i,j}^n - \frac{\tau}{2\xi} (u_{i+1,j}^n \zeta_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n \zeta_{i-1,j}^n) - \frac{\tau}{2\eta} (v_{i,j+1}^n \zeta_{i,j+1}^n - v_{i,j-1}^n \zeta_{i,j-1}^n) + \frac{\tau}{\operatorname{Re}} \left( \frac{\zeta_{i+1,j}^{n_1} - \zeta_{i,j}^n + \zeta_{i-1,j}^{n_2}}{\xi^2} + \frac{\zeta_{i,j+1}^{n_3} - \zeta_{i,j}^n + \zeta_{i,j-1}^{n_4}}{\eta^2} \right); \quad (1)$$

где  $n$  – номер шага времени;  $i, j$  – номера ячеек по горизонтали и вертикали;  $\tau$  – шаг итераций по времени, с;  $\xi$  – шаг координаты по горизонтали, м;  $u, v$  – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости, м/с;  $\eta$  – шаг координаты по вертикали, м;  $\operatorname{Re}$  – число Рейнольдса. При  $i \uparrow, j \uparrow$   $n_1=n, n_2=n+1, n_3=n, n_4=n+1$ ; при  $i \downarrow, j \downarrow$   $n_1=n+1, n_2=n, n_3=n+1, n_4=n$ ; при  $i \uparrow, j \downarrow$   $n_1=n, n_2=n+1, n_3=n+1, n_4=n$ ; при  $i \downarrow, j \uparrow$   $n_1=n+1, n_2=n, n_3=n, n_4=n+1$ .

Функция тока  $\psi$  выражена уравнением (2) [7, с. 179-180]. Функция тока на границах участка CGFPAVC принималась  $\psi = 0$ , на эрлифтной стенке DE  $\psi = 0$ , на всех остальных границах участка HCBAPNII  $\psi = 1$ . Вихревой поток создавался заданием функции тока  $\psi = 1$  в области Rectangle(70, 50, 75, 45).

$$\psi_{i,j}^{k+1} = \frac{1}{2(1+\beta^2)} (\psi_{i+1,j}^k + \psi_{i-1,j}^k + \beta^2 \psi_{i,j+1}^k + \beta^2 \psi_{i,j-1}^k - \xi^2 \zeta_{i,j}), \quad (2)$$

где  $k$  – номер итерации;  $\beta = \xi / \eta$  – отношение размеров ячеек сетки.

Вихрь на большинстве границ задавался условием прилипания. На линии симметрии ИИ, на свободных поверхностях жидкости HC и CG, а также на границе струи AP ставилось условие скольжения. Приток и отток жидкости не учитывался. Задача по расчёту гидродинамических параметров эрлифтного биореактора-осветлителя решалась методом последовательных приближений [5, с. 148] при помощи компьютерной программы, составленной в среде Delphi на языке Object Pascal. Результаты расчёта представлены на рис. 1 в виде линий тока в сечении аэратора.

Анализ результатов теоретических расчётов соответствует фактическому характеру движения иловой смеси, определённого на основании наблюдений за экспериментальной моделью эрлифтного биореактора-осветлителя. Подтверждено образование водоворотной зоны под козырьком эрлифтного биореактора-осветлителя. Разработанная компьютерная программа позволяет подобрать параметры и режимы работы эрлифтного биореактора-осветлителя на стадии проектирования.

### Список литературы

1. Al-Mashhadani M.K.H. Airlift bioreactor for biological applications with microbubble mediated transport processes / M. K. H. Al-Mashhadani, S. J. Wilkinson, W. B. Zimmerman // Chemical Engineering Science – 2015 – Vol. 137. – Pp. 243–253. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.06.032>
2. Cozma P. Airlift reactors: Applications in wastewater treatment / P. Cozma, M. Gavrilescu // Environmental Engineering and Management Journal – 2012. – Vol.11, № 8. – Pp. 1505-1515. Режим доступа: <https://doi.org/10.30638/eeemj.2012.189>
3. Permissible parameters for the circulation rate of the sludge mixture in airlift reactor-clarifier with suspended layer [Электронный ресурс] / V. Nezdoiminov, D. Zavorotnyi, V. Rozhkov, P. Deminov // MATEC Web of Conferences – 2018. – Vol. 245. Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824511009>
4. Абрамович Г.Н. Турбулентные свободные струи жидкостей и газов. / Г.Н. Абрамович – изд. 2-е, доп. – М.: Гос. энергетическое изд-во, 1948 – 288 с.

5. Безуглый В.Ю. Численные методы теории конвективного теплообмена / Н.М. Беляев, В.Ю. Безуглый. – Киев–Донецк: Вища школа, 1984. – 176 с.
6. Лучина А.Ю. Биологическая очистка сточных вод в аэротенках с затопленной пневматической системой аэрации / А.Ю. Лучина, Ф.В. Недопёкин // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки – 2018. – № 3 (44). – С. 68-75. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37219938>
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – М.: Мир, 1980. – 616 с.



УДК 628.381

Чернышев В.Н., Писный М.И.

магистранты кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

ГОУ ВПО «ДонНАСА»

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

В результате биохимической очистки муниципальных сточных вод ежегодно образуются миллионы тонн стабилизированных иловых отходов. В настоящее время основным методом утилизации образованных осадков является захоронение их в шламонакопителях. Только в России площадь действующих полигонов превышает 15 тыс. га, в том числе закрытых полигонов – более 40 тыс. га [1]. Постоянный рост используемых под иловые площадки территорий является значительной экологической проблемой.

На практике распространены методы термической и термохимической обработки избыточного активного ила. Данные методы не являются экологически безопасными и не предусматривают использование полезных органических веществ илов для восполнения почвенного гумуса. Другие методы утилизации избыточного активного ила до настоящего времени не нашли применения в практике работы очистных сооружений.

Стабилизированный осадок канализационных очистных сооружений представляет собой сложную коллоидную систему, включающую в себя биоценозы микроорганизмов, минеральные и органические вещества. Канализационный осадок считается ценным органическим удобрением с благоприятной реакцией среды, значительным содержанием органического вещества, витаминов, ферментов азота, фосфора кальция магния, но в большинстве случаев также содержит тяжёлые металлы, что не соответствует требованиям [2]. Вследствие этого наиболее целесообразным способом утилизации иловых осадков является использование их в качестве удобрения в сельском хозяйстве после извлечения тяжёлых металлов.

Воздействие ультразвуковых колебаний способствует возникновению в жидкой среде кавитации [3], что является одной из главных причин интенсификации технологических процессов. Также происходит изменение физико-химических свойств среды, её температуры, вязкости, химического количественного и качественного состава. При воздействии ультразвука на активный ил происходит увеличение ферментативной активности микроорганизмов, что обуславливается разрушением клеточной биомассы с последующим выделением в среду ферментов и обогащением среды биогенными веществами.

Одним из наиболее рациональных методов извлечения тяжёлых металлов из осадков канализационных очистных сооружений, с экологической и экономической точки зрения, является биовыщелачивание [1], основанное на инициации в иловом осадке микробиологического процесса, поставляющего в систему метаболиты, способные образовывать устойчивые комплексы с тяжёлыми металлами и переводить их из твёрдой фазы в жидкую. В результате удаления токсических тяжёлых металлов происходит обогащение илового осадка органическим веществом и полезными микроорганизмами, что повышает его агрономическую ценность. Одним из преимуществ биовыщелачивания является возможность извлечения тяжёлых металлов не только из осадка, образующегося на очистных сооружениях, но и из осадков на иловых площадках.

В работе [4] были выполнены исследования интенсификации процессов биовыщелачивания под воздействием ультразвуковых колебаний. Помимо увеличения скорости биовыщелачивания при ультразвуковом воздействии было выявлено увеличение выхода биомассы микроорганизмов и количества извлеченных тяжёлых металлов.

Большинство способов извлечения тяжёлых металлов являются деструктивными, с выделением тяжёлых металлов в водную среду, что требует извлечения тяжёлых металлов от

образовавшихся сточных вод. Одними из наиболее распространённых способов извлечения является сорбция и реагентное извлечение тяжёлых металлов.

Интенсификация процесса сорбции при ультразвуковой обработке происходит, в первую очередь, за счёт кавитации. На образование кавитационных пузырьков расходуется лишь часть энергии ультразвуковых волн, распространяющихся в жидкости. Остальная часть идёт на возникновение микропотоков, нагревание и распыление жидкости. В результате под воздействием источника ультразвуковых колебаний частицы сорбента создают кипящий слой.

В работе [5] было выполнено исследование воздействия ультразвуковых колебаний на сорбцию тяжёлых металлов. Использование ультразвука в процессах сорбции позволило резко сократить продолжительность насыщения сорбента и увеличить его ёмкость. Таким образом, ультразвуковая обработка приводит к значительному увеличению адсорбции ионов тяжёлых металлов.

Использование ультразвука позволяет интенсифицировать биологические, химические и физико-химические методы извлечения тяжёлых металлов из иловых осадков канализационных очистных сооружений.

### Список литературы

1. Зыкова И. В. ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ИЗБЫТОЧНЫХ АКТИВНЫХ ИЛОВ И ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ/ Санкт-Петербург, 2008. – 32 с.
2. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия.
3. Розенберг Л. Д. Физика и техника мощного ультразвука. Книга 2. Мощные ультразвуковые поля/ М.: Наука, 1968. – 268 с.
4. Мусихин, МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ БАКТЕРИАЛЬНО-ХИМИЧЕСКОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ/ Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – С. 351-355.
5. Шарапова А. В ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД/ Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2013. – № 1. – С. 109–111.

## Содержание

## СЕКЦИЯ 1. БИОХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

|  |    |
|--|----|
| <b>Надточей А.И., Чумак В.А.</b> Обзор методов доочистки воды от хлорорганических соединений (ХОС).....  | 4  |
| <b>Волкова В. Н.</b> Оценка и анализ работы канализационных очистных сооружений «Центральные».....   | 7  |
| <b>Золотухина Н. В., Дудник А. В.</b> Современная комплексная очистка воды «ECOSOFT».....  | 9  |
| <b>Золотухина Н. В., Дудник А. В.</b> Электрохимический метод очистки воды с помощью НЭМИ.....   | 11 |
| <b>Синежук И.Б., Дину М. О.</b> Влияние различных факторов на выбор оптимальной дозы коагулянта.....   | 13 |
| <b>Чернышев Г.И.</b> Технология биологического удаления азота из городских сточных вод методом ступенчатой нитри-денитрификации.....               | 16 |
| <b>Деминов П.Е., Джанков Д.А.</b> Исследование процесса фильтрования сточных вод на дробленом антраците.....                                       | 19 |
| <b>Рожков В.С., Сюзяева В.С.</b> Исследование возможности внутреннего нагрева порционного реактора при определении активности ила.....             | 22 |
| <b>Могукало А.В., Гамеляк Д.В., Кондратюк А.В.</b> Поисковые исследования физического воздействия на выделение ионов железа из активного ила ..... | 25 |

## СЕКЦИЯ 2. ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОТРАСЛИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

|  |    |
|--|----|
| <b>Балинченко О.И., Гресь А.Е.</b> Обработка воды ультразвуком для борьбы с накипью в оборотных системах водоснабжения.....  | 28 |
| <b>Балинченко О.И., Гресь А.Е.</b> Перспективы высокочастотной обработки воды для борьбы с накипеобразованием в оборотных системах водоснабжения.....                      | 31 |
| <b>Золотухина Н. В.</b> Качественное строительство канализационных самотечных трубопроводов..  | 34 |
| <b>Хапчук Ф.Н.</b> Усовершенствование методики расчета норм водопотребления населением без водоизмерительных приборов.....   | 37 |
| <b>Лесной В.И., Переверзев В.Э.</b> Современные технологические схемы оборотного водоснабжения общественных бассейнов.....   | 40 |
| <b>Зятин В.И., Комарова А.В., Яцко В.А.</b> Характеристика работы водопроводных очистных сооружений на примере верхне-кальмиусской фильтровальной станции.....             | 43 |
| <b>Зайченко Л.Г., Ильницкий Т.С., Мироненко М.В.</b> Анализ аварийности водоводов коммунального предприятия Компания «Вода Донбасса».....                                  | 47 |
| <b>Касимов Э.Г., Болотина Н.И.</b> Определение возможности повышения фильтроцикла действующих водопроводных очистных сооружений.....                                       | 52 |
| <b>Найманов А.Я., Турчина Г.С.</b> Оценка надежности сетей водоснабжения с учетом дополнительных параметров.....   | 55 |
| <b>Половнева М.А., Лукьянчук Я.С., Клемешова А.В.</b> Удобрение из биогумуса, полученного на основе осадков сточных вод городских канализационных очистных сооружений..... | 60 |
| <b>Потапова В.В., Ткаченко Н.С.</b> Определение факторов, влияющих на эффективность биосорбции ионов меди из сточных вод дрожжами <i>saccharomyces cerevisiae</i> .....    | 63 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Ручка В.В., Марченко В.В., Лысенко М.Г.</b> Анализ состояния водопроводных распределительных сетей, скрытые утечки воды из трубопроводов.....                                | 65 |
| <b>Заворотный Д.В., Голоденко Н.Н.</b> Применение метода конечных разностей для расчёта скоростей и направлений потоков в илоотделителе эрлифтного биореактора-осветлителя..... | 69 |
| <b>Чернышев В.Н., Писный М.И.</b> Использование ультразвука для интенсификации извлечения тяжёлых металлов из иловых осадков городских сточных вод.....                         | 72 |

Научное электронное издание

## **БИОТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

*Электронный сборник по материалам*

*I Международной очно-заочной конференции «БИОТЕХВОД – 2020 »*

*(Биотехнологии очистки воды)*

**(20-21 февраля 2020 г., г.Макеевка)**

Ответственные за издание:

e-mail

Компьютерная вёрстка: Васильева Ю.В.

Сайт: