



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

# ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Сборник докладов  
XIV Международной научно-технической конференции,  
посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева  
и 90-летию со дня создания факультета «ВиВ»

*(г. Москва, 14–15 марта 2019 г.)*

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2019

ISBN 978-5-7264-1957-2

Москва  
Издательство МИСИ – МГСУ  
2019

УДК 626 : 628 : 696

ББК 38.76 : 36.77

Я47

Я47        **Яковлевские чтения** [Электронный ресурс] : сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета «ВиВ» / М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (21 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdstupa/> — Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-1957-2

В сборник включены доклады XIV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения», посвященной памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева и проходившей 14–15 марта 2019 г. в Московском государственном строительном университете.

Для магистрантов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего профессионального образования в области строительства и экологии, а также для специалистов водной отрасли.

*Научное электронное издание*

*Доклады публикуются в авторской редакции.  
Авторы опубликованных докладов несут ответственность  
за достоверность приведенных в них сведений.*

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2019

Ответственный за выпуск *А.П. Андрианов*

Институт инженерно-экологического строительства и механизации  
(ИИЭСМ НИУ МГСУ).

Тел.: +7 (495) 730-62-53

E-mail: [iiesm@mgsu.ru](mailto:iiesm@mgsu.ru)

Сайт: [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru)

<http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Instituti/IIESM/kontakty/>

*Для создания электронного издания использовано:*

Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Верстка макета *Е.В. Орлова*

Подписано к использованию 08.05.2019. Объем данных 21 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет»

129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.

E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru)

### **Организатор конференции:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

### **Организационный комитет:**

#### **Председатель конференции:**

**А.А. Волков** – д-р. техн. наук, проф., исполняющий обязанности ректора НИУ МГСУ.

#### **Сопредседатели:**

**Е.И. Пупырев** – д-р. техн. наук, проф., президент СРО МРСП;

**В.И. Баженов** – д-р. техн. наук, проф., исполнительный директор ЗАО «ВиВ».

#### **Заместители председателя:**

**А.П. Пустовгар** – канд. техн. наук, проф., проректор по научной работе НИУ МГСУ;

**Е.С. Гогина** – канд. техн. наук, доц., проректор по международному сотрудничеству, молодежной и информационной политике НИУ МГСУ;

**К.И. Лушин** – директор института инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ) НИУ МГСУ;

**В.А. Орлов** – д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ.

#### **Члены организационного комитета:**

**А.П. Андрианов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**Е.М. Чеботаева**, начальник Управления молодежной и информационной политики НИУ МГСУ;

**М.В. Митькина**, директор Издательства МИСИ-МГСУ;

**Н.В. Самогосова**, начальник Управления по координации международного сотрудничества НИУ МГСУ.

#### **Рабочая группа организационного комитета:**

**А.П. Андрианов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**Н.А. Макиша** – канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**О.Н. Зубарева**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**Е.А. Королева**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;

**Е.В. Орлов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ.

## **КОНЦЕПЦИЯ СОХРАНЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ВОЛГИ (НА ПРИМЕРЕ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

**Л.В. Боронина**, доц., к.т.н., АГАСУ, г. Астрахань; **А.А. Медведев**, гл. инженер МУП «Астрводоканал», г. Астрахань

Окружающая среда является одной из важнейших детерминант здоровья человека.

По данным Роспотребнадзора, доброкачественной питьевой водой обеспечено 93% жителей страны, в том числе 95% городского населения и 77% сельских жителей. Дополнительная смертность населения, связанная с загрязнением питьевой воды, в 2015 г. составила 4,1 случая на 100 тыс. всего населения (0,5% от всей смертности), число дополнительных случаев заболеваний – 995,5 случая на 100 тыс. населения и 2212,4 случая на 100 тыс. детского населения, или соответственно 1,65% и 1,41% от всей заболеваемости населения соответствующих возрастов.

Сохранение и поддержание состояния здоровья населения на уровне, соответствующем критериям цивилизованного общества, является одной из стратегических задач социальной политики Российской Федерации. Данная проблема не может решаться в отрыве от проблем охраны и воспроизводства водных ресурсов, от обеспечения их чистоты в естественных условиях. Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» проект «Оздоровление Волги» включен в перечень приоритетных федеральных проектов.

Водный фонд Астраханской области представлен единство водных объектов в пределах территории Астраханской области: Волга в нижнем течении делится на 8 рукавов, образуя Волго-Ахтубинскую пойму и дельту.

Анализ многолетнего мониторинга экологической ситуации Нижне-волжского региона свидетельствует, что нынешнее состояние водных объектов – одна из главных причин дискомфорта населения и основной фактор обеспечения экологической безопасности Нижнего Поволжья. Астраханская область, в отличие от других областей бассейна Волги, полностью лежит в зоне пустынь и полупустынь, практически не располагает запасом альтернативных источников водоснабжения и целиком использует для питьевых нужд только поверхностные воды реки Волги.

С продвижением от истока к устью Волги происходит постепенное увеличение концентрации в воде различных загрязняющих компонентов, имеющих как фоновый, так и антропогенный характер. Как следствие, в нижнем течении реки достигается максимум по величине и разнообразию присутствия в воде токсических соединений, приходящих с верховьев транзитом.

Отрицательная динамика изменения качества воды р. Волга является важнейшей причиной для проведения мероприятий по охране и восстанов-

лению водных объектов до состояния, обеспечивающего экологически благоприятные условия жизни населения. Решить проблемы можно только путем комплексного подхода, позволяющего более рационально использовать водные ресурсы, эффективно управлять водохозяйственным комплексом Астраханской области.

В соответствии с этими положениями принято решение о разработке Концепции сохранения и предотвращения загрязнения р. Волги в рамках национального проекта «Экология» и федерального проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги».

Основополагающими целями Концепции является обеспечение сохранности водных ресурсов путем проведения на водных объектах хозяйственных работ по регулированию, обустройству, содержанию и охране от загрязнения водных объектов, ремонту, эксплуатации и надзору за безопасностью гидротехнических сооружений; удовлетворению потребности в качественной воде населения и объектов экономики (рост промышленного и сельскохозяйственного производства должен обеспечиваться необходимым количеством водных ресурсов соответствующего качества).

Для достижения указанных целей необходимо решить ряд основных задач:

- 1) сокращение сброса загрязненных сточных вод;
- 2) обеспечение своевременных работ по реконструкции и капитальному ремонту сооружений водоснабжения и канализации;
- 3) строительство объектов очистки хозяйственно-бытовых, промышленных сточных вод и ливневой канализации в населенных пунктах;
- 4) обеспечение научного и информационного обеспечения водохозяйственной деятельности;
- 5) подготовка высококвалифицированных кадров для водохозяйственной деятельности с обеспечением отраслевого научного потенциала;
- 6) развитие нормативной базы для проектирования водохозяйственных объектов путем разработки территориально-отраслевых нормативных документов, учитывающих особенности гидрометеорологических условий Астраханской области;
- 7) расширение научных исследований по оценке техногенных воздействий на водные объекты и по решению водохозяйственных задач.

Анализ структуры сбрасываемых в водные объекты сточных вод с 1999 по 2016 г. на территории Астраханской области, показывает некоторое снижение объемов водоотведения в поверхностные водные объекты. Однако доля загрязненных (недостаточно очищенных) сточных вод в общем объеме сточных вод возросла с 14 до 16,1 %.

При сбросе недостаточно очищенных сточных вод в объеме 70,2 млн м<sup>3</sup> (42,4 % общего объема сточных вод) с городских очистных сооружений в природные водотоки и водоемы вносится основная масса загрязняющих веществ (72,68 %). Удельная нагрузка (масса загрязняющих веществ в 1 м<sup>3</sup> стоков) от городских очистных сооружений составляет 1,072 кг/м<sup>3</sup> при региональной удельной нагрузке на природные поверхностные воды 0,62

кг/м<sup>3</sup>. Охват населения услугой водоотведения в централизованную систему канализации на сегодняшний день составляет порядка 75%.

В настоящий момент контроль очистки сточных вод на городских канализационных очистных сооружениях осуществляется по 19 показателям: аммоний-ион, БПК полное, взвешенные вещества, железо, марганец, минерализация воды, нефтепродукты, нитраты, нитриты, свинец, СПАВ, сульфаты, фенол, фосфаты, хлориды, хром, цинк, фосфаты, алюминий.

Нормативы сброса очищенных сточных вод очистных сооружений канализации не достигаются практически по 80% показателей. Причиной такого неудовлетворительного положения является то, что задача достижения современных требований по биогенным элементам не может быть решена без принципиального изменения существующей технологической схемы и без реализации современных технологий биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора. Полумеры, не затрагивающие изменение технологии, реализованной в биологическом блоке очистки сооружений (аэротенки и вторичные отстойники), не позволят обеспечить достижение современных требований к очистке сточных вод от биогенных элементов.

Переход на эффективные технологии очистки от биогенных элементов не может быть рациональным способом реализован как достройка сооружений, дополнительных к имеющимся, а требует изменения технологии очистки сточных вод в существующих сооружениях (либо создания новых).

Первоочередным мероприятием становится разработка проекта реконструкции сооружений, включающем реконструкцию отдельных элементов механической очистки, перевод сооружений на технологию удаления биогенных элементов, восстановление и ввод в эксплуатацию сооружений доочистки — биологических прудов, механическое обезвоживание осадков сточных вод с использованием последних в качестве почвогрунтов или удобрений.

Еще одна существенная проблема Астраханского региона – полное или частичное отсутствие системы для отвода и очистки поверхностных сточных вод. До настоящего времени ливневые и дренажные воды сбрасываются в р. Волгу без очистки. Также отсутствует канализационная система с локальными очистными сооружениями на ряде предприятий, которые проектировались и строились в первой половине прошлого столетия.

На городских очистных сооружениях водопровода согласно проектам, осуществляется сброс промывных вод от промывки контактных осветлителей и от профилактической промывки резервуаров чистой воды, в реку Волга через выпуски. Так же в водоём попадает остаточный алюминий. Несмотря на то, что алюминий является самым распространённым металлом в природе, это токсичный элемент, следовательно, оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Ввод в технологическую схему сооружений по очистке промывных вод, включая санитарную очистку, позволит предприятию исключить по-

падение неочищенных стоков в р. Волгу, тем самым исключается антропогенное воздействие на водоём.

Таким образом, в результате реализации мероприятий можно с уверенностью говорить о сохранении Волги и защите ее от негативного воздействия путем аннулирования точек сброса (выпуск) неочищенных сточных вод в водный объект; сокращении неканализованной жилой застройки, утилизации отходов (осадка сточных вод), высвобождении территорий и дальнейшем использовании их по иному, экологически чистому назначению (для строительства жилых и общественных зданий, дорог, улиц, площадей, лесопарковых зон).

#### Библиографический список

1. Saleh M., Boronina L.V., Shikulskaya O.M. EU enviromental policy // Перспективы развития строительного комплекса. 2017. № 1. С. 100-103.
2. Боронина Л.В. Оценка состояния водопотребления и водоотведения: региональный аспект // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 16-18.
3. Абуова Г.Б., Боронина Л.В., Рахметова М.К., Ситников С.Г. Оценка эффективности работы канализационных очистных сооружений в малых населенных пунктах аридной зоны // В сборнике: технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017» Материалы X-Юбилейной международной научно-практической конференции. 2017. С. 196-202.
4. Боронина Л.В., Усынина А.Э. Экологическое состояние водных источников аридной зоны Юга России // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2015. № 7 (7). С. 153-158.

## ОЧИСТКА ЖИРОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД В СКОРЫХ НАПОРНЫХ ФИЛЬТРАХ

**А.В. Бусарев**, доц., к.т.н.; **А.С. Селюгин**, доц., к.т.н.; **А.С. Гизатуллин**, студент магистратуры, КГАСУ, г. Казань

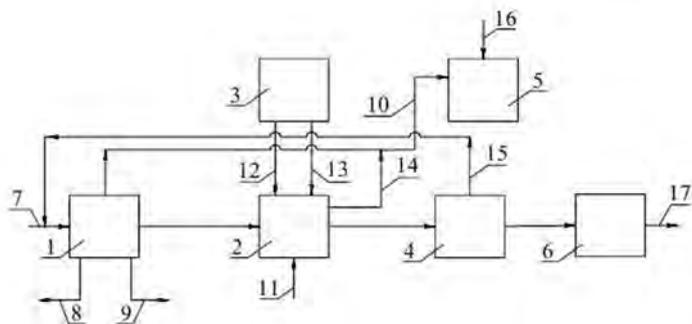
Сточные воды многих промышленных предприятий содержат различные жиры и масла. Сточные воды мясокомбинатов, молокозаводов, жировых комбинатов, предприятий по производству лекарственных и косметических препаратов, кожевенных заводов, фабрик первичной обработки шерсти (ПОШ) содержат жиры растительного или животного происхождения в эмульгированном или растворенном состоянии [1-3]. Концентрация жиров в сточных водах мясокомбинатов составляет от 700 до 2000 мг/л, а содержание взвешенных веществ от 650 до 2500 мг/л. Содержание жиров в стоках молокозаводов находятся в пределах от 100 до 200 мг/л, а концентрация взвешенных веществ не превышает 350–600 мг/л. На предприятиях масложировой промышленности концентрация жиров в сточной воде достигает 150–1200 мг/л, а содержание в них взвешенных веществ составляет 250–1500 мг/л [3]. На фабриках ПОШ концентрация загрязнений в сточных водах составляет: жиров 2–12 г/л, а взвешенных веществ 4–40 г/л. [2, 3]. Исследования процессов очистки жиросодержащих сточных вод, проводившиеся КГАСУ на Казанской фабрике ПОШ, показали, что содержание в сточных водах данного предприятия жиров составляет 500 мг/л, а концентрация твердых взвешенных веществ составляет 3000 мг/л [4].

При промывке шерсти в растворах соды, масла или других синтетических веществ методом непрерывного противотока с шерсти удаляются шерстный жир, овечий пот, частицы песка, пыли сорных растений и навоза [3]. Удельный расход воды на фабриках ПОШ на 1 тонну обрабатываемой шерсти составляет от 20 до 40 м<sup>3</sup> [2, 3].

Для очистки жиросодержащих сточных вод применяются механические, химические, физико-химические и биологические методы очистки. [1-3, 5, 6]. Механическая очистка применяется для предварительной очистки жиросодержащих стоков (решетки, песколовки, отстойники различных конструкций, жироловки) [2, 3, 5, 6], а также для глубокой очистки этого вида сточных вод (фльтрация) [3-5]. К химическим способам очистки жиросодержащих стоков относится окисление их озоном, а к физико-химическим методам относится коагуляция, флотация, сорбция и ультрафльтрация [1, 3, 5, 6]. Биологическая очистка жиросодержащих сточных вод производится в азротанках и биофильтрах, а также в биологических прудах (доочистка) [1, 2, 3, 6]. Очищенные жиросодержащие стоки либо сбрасываются в водоотводящие сети населенных пунктов, либо направляются в систему оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Значительно реже они сбрасываются в поверхностные источники [3, 4, 6].

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) разработана технология очистки жиросодержащих стоков,

образующихся на фабриках ПОШ. Технологическая схема установки очистки жиросодержащих сточных вод данных предприятий представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема очистки жиросодержащих сточных вод:

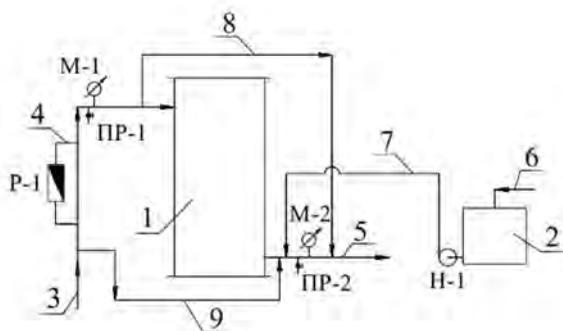
1 – блок предварительной очистки; 2 – блок флотационной очистки; 3 – реагентное хозяйство; 4 – фильтровальная станция; 5 – блок обработки жиромассы; 6 – блок глубокой очистки; 7 – подача сточных вод на очистку; 8 – отвод песка в песковые бункеры; 9 – отвод осадка на шламовые площадки; 10 – отвод жиромассы; 11 – подача сжатого воздуха; 12 – подача коагулянта; 13 – подача флокулянта; 14 – подача жиромассы в блок ее обработки; 15 – отвод промывных стоков; 16 – подача острого пара; 17 – отвод очищенной воды

В блоке 1 осуществляется снижение концентрации взвешенных веществ в жиросодержащих стоках перед их очисткой методом напорной флотации [1, 2, 5]. В состав блока 1 входят: тангенциальная песколовка и тонкослойный горизонтальный отстойник [4]. Песок, улавливаемый песколовкой, отводится на сушку в песковые бункеры. Осадок, накапливающийся в тонкослойном отстойнике, отводится на шламовые площадки [6]. Всплывающая в тонкослойном отстойнике жиромасса отводится в блок 5. В состав блока 2 входят сатуратор (напорный резервуар для растворения воздуха в сточной воде) и флотатор [3, 7]. Сжатый воздух подается в сатуратор от компрессора.

В блоке 3 готовятся и дозируются растворы коагулянта и флокулянта. В качестве коагулянта используется сернокислый алюминий, а в качестве флокулянта можно использовать реагенты «Флокагон» или «Праестол» [4, 6]. Растворы коагулянта и флокулянта насосами-дозаторами подаются во всасывающий трубопровод насоса, перекачивающего жиросодержащие сточные воды в сатураторы [7]. Коагуляция значительно интенсифицирует процесс очистки жиросодержащих стоков методом напорной флотации [3, 5-7]. Жиромасса, отделяемая от воды в блоке 2, подается в блок 5 где нагревается и доводится до кипения острым паром в результате чего происходит отделение воды от жиромассы. Отделенная вода подается насосом «в голову» сооружений. Жир нагревается и перекачивается насосом на утили-

зацию [4]. В состав блока 4 входят скорые напорные фильтры с зернистой двухслойной загрузкой [4, 5]. Их промывка осуществляется фильтратом из резервуара для промывной воды. В блоке 6 осуществляется доочистка сточных вод от жиров и СПАВ в напорных адсорбционных фильтрах, загруженные активированным древесным углем [3-5]. Регенерация загрузки адсорбционных фильтров не производится: по истечению сорбционной емкости активированного угля он выгружается из фильтров, высушивается и направляется на утилизацию (сжигание) [4]. Очищенные сточные воды отводятся в систему водоотведения населенного пункта. Установка очистки жиросодержащих сточных вод позволяет снизить концентрацию взвешенных веществ с 500 – 1000 мг/л до 5–10 мг/л, содержание жиров снизить с 200 – 500 мг/л до 1 – 8 мг/л, а концентрацию СПАВ уменьшить с 40 –50 мг/л до 1 –1,5 мг/л.

В КГАСУ проводились исследования по очистке жиросодержащих сточных вод от взвешенных веществ и жиров в скорых напорных фильтрах с зернистой загрузкой. Схема экспериментальной установки, на которой проводились эти исследования, представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема экспериментальной установки:

1 – модель фильтра; 2 – емкость для промывной воды; 3 – подача сточной воды; 4 – байпасная линия; 5 – отвод очищенной воды; 6 – подача водопроводной воды; 7 – подача воды на промывку фильтра; 8 – отвод промывной воды; 9 – отвод избыточной жидкости

Принята следующая схема загрузки модели фильтра: 1) дробленый керамзит  $d_{фр} = 0,8-1,8$  мм, высота слоя загрузки 0,4 м; 2) кварцевый песок  $d_{фр} = 0,7-1,5$  мм, высота слоя загрузки 0,6 м. Модель фильтра позволяет осуществлять очистку жиросодержащих стоков при скорости фильтрования до 10 м/ч.

Жиросодержащие сточные воды подаются в модель фильтра по трубопроводу 3, оборудованному манометром М-1 для измерения давления на входе в модель фильтра 1 и проботборником ПР-1 для отбора проб исходной воды. Расход воды, подводимой к модели фильтра, измеряется с

помощью расходомера Р–1, установленного на байпасной линии. Очищенная вода отводится в канализацию по трубопроводу 5, на котором установлены манометр М–2 для измерения давления на выходе из модели фильтра и пробоотборник ПР–2 для отбора проб очищенной воды. Модель фильтра промывается водопроводной водой, которая поступает в емкость 2 по трубопроводу 6. Вода на промывку фильтра подается насосом Н–1 по трубопроводу 7. Интенсивность промывки модели фильтра составляет 15 л/см·м<sup>2</sup> [8]. Загрязненная промывная вода отводится по трубопроводу 8. Отвод избытка жидкости при регулировании ее расхода, поступающего в модель фильтра, производится по трубопроводу 9.

Содержание взвешенных веществ в пробах жидкости определяется весовым методом согласно рекомендации [9]. Концентрация жиров в стоках определяется по методике, изложенной в работе [9]. Эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ  $\mathcal{E}_{\text{вв}}$ , %, определяется по формуле [8]:

$$\mathcal{E}_{\text{вв}} = \frac{C_{\text{вв}}^{\text{исх}} - C_{\text{вв}}^{\text{оч}}}{C_{\text{вв}}^{\text{исх}}} \times 100\%$$

где  $C_{\text{вв}}^{\text{исх}}$  – концентрация взвеси в исходной воде, мг/л;  $C_{\text{вв}}^{\text{оч}}$  – содержание взвешенных веществ в очищенной воде.

Эффект очистки стоков от жиров  $\mathcal{E}_{\text{жс}}$ , % определяется по формуле [8]:

$$\mathcal{E}_{\text{жс}} = \frac{C_{\text{жс}}^{\text{исх}} - C_{\text{жс}}^{\text{оч}}}{C_{\text{жс}}^{\text{исх}}} \times 100\%$$

где  $C_{\text{жс}}^{\text{исх}}$  – содержание жиров в воде поступающей на очистку, мг/л;  $C_{\text{жс}}^{\text{оч}}$  – содержание жиров в очищенной воде, мг/л.

Результаты исследований представлены в табл. 1. Они позволяют сделать следующие выводы:

- а) концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистку, составила 21 – 51 мг/л;
- б) содержание жиров в сточной воде, поступающей на очистку, составило 20 – 52 мг/л;
- в) эффективность очистки жиросодержащих стоков от взвеси в скорых напорных фильтрах составила 67 – 80%;
- г) эффективность очистки сточных вод от жиров в фильтрах составила 66 – 78 %;
- д) увеличение давления на входе в скорые фильтры к росту эффективности их работы не приводит;
- е) скорость фильтрования при очистке жиросодержащих стоков должна быть в пределах 7 – 8 м/ч;
- ж) в процессе фильтрования давление снижается на 0,02 – 0,05 МПа или 2 – 5 м.

## Результаты исследований очистки жиросодержащих сточных вод

№ п/п	Давление, МПа		Концентрация взвеси, мг/л		Э <sub>в.в.</sub> %	Концентрация жиров, мг/л		Э <sub>ж.</sub> %	Скорость фильтрования, м/ч
	на входе в фильтр	на выходе из фильтра	в исходной воде	в очищенной воде		в исходной воде	в очищенной воде		
1	0,2	0,17	51	10	80	45	10	78	6
		0,18	46	9	80	41	9	78	
	0,2	0,16	42	10	76	42	10	76	
		0,17	45	10	78	44	11	75	
2	0,2	0,16	43	11	74	39	10	74	8
		0,16	47	12	74	43	11	74	
	0,2	0,15	50	16	68	49	16	67	
		0,16	48	16	67	50	17	66	
3	0,2	0,17	21	5	76	20	5	75	8
		0,18	31	8	74	32	8	75	
		0,17	40	10	75	41	11	73	
		0,16	49	12	76	52	14	73	

Таким образом, можно рекомендовать для доочистки жиросодержащих сточных вод скорые напорные фильтры с двухслойной зернистой загрузкой. В фильтрах концентрация жиров снижается с 20 – 50 мг/л до 5 – 10 мг/л.

## Библиографический список

1. Спирин М.И., Сапронова Ж.А., Шайхиев И.Г. Очистка жиросодержащих сточных вод // Вестник Казанского Технологического Университета. 2016. №13. т.10.С. 174–175.
2. Кулаков Е.А. Сточные воды фабрик первичной обработки шерсти, их очистка и извлечение шерстного жира (ланолина): URL: <http://www.chem21.info/article/572817>: (дата обращения 15.01.19).
3. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С, А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В. Н. Самохина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1981. 639 с., ил. (Справочник проектировщика).

4. Бусарев А.В., Селюгин А.С., Трофименко В.К. К вопросу очистки жиросодержащих стоков // Сб. трудов VIII международного конгресса «Чистая вода. Казань». – Казань: ООО «Новые знания», 2016. С. 236–238.
5. Водоотводящие системы промышленных предприятий Учебник для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. Под редакцией С.В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1990. 511 с.
6. Теплых С.Ю. Очистка масло – и жиросодержащих сточных вод: дис. канд. техн. наук. – Самара, 2000. 154 с.
7. Дикаревский В.С., Караваев Н.И., Краснянский И.И. Канализационные очистные сооружения железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1973. 283 с.
8. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений: учебное пособие. – М.: ИД «Альянс», 2008. 255 с.
9. Калицун В.И., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Алексеев Е.В. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 2000. 272 с.

## НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРЕХОДА СИСТЕМЫ РЕГЛАМЕНТАЦИИ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И МИКРООРГАНИЗМОВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ОСНОВЕ НДТ

**Е.В. Веницианов**, проф., д.ф.-м.н., зав. лаб. ФГБУН ИВП РАН, г. Москва;  
**А.П. Лепихин**, проф., д.г.н., зав. лаб. ФГБУН Ги ПФИЦ РАН, г. Москва

В 2019 году должен быть осуществлен переход к системе регламентации антропогенных воздействий на водные объекты, основанный на комплексных экологических разрешениях (КЭР).

В статье 31.1 Федерального закона «Об охране окружающей среды» № 219-ФЗ указано (п.3), что заявка на получение комплексного экологического разрешения должна содержать следующую информацию: расчеты технологических нормативов и расчеты ... нормативов допустимых сбросов радиоактивных, высокотоксичных веществ, веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными свойствами (веществ I, II класса опасности), при наличии таких веществ в сбросах загрязняющих веществ.

К заявке на получение комплексного экологического разрешения при **невозможности** соблюдения технологических нормативов, ... нормативов допустимых сбросов высокотоксичных веществ, веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными свойствами (веществ I, II класса опасности), прилагаются:

- проект программы повышения экологической эффективности, разработанной в соответствии со статьей 67.1 настоящего Федерального закона;
- планируемые ... временно разрешенные сбросы с указанием объема или массы выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ на текущий момент, на период реализации программы повышения экологической эффективности и после ее реализации.

В статье 28.1 219-ФЗ указано, что Информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям, применяемым в отнесенных к областям применения наилучших доступных технологий видах хозяйственной и (или) иной деятельности, содержат следующие сведения:

- оценка преимуществ внедрения наилучшей доступной технологии для окружающей среды;
- экономические показатели, характеризующие наилучшую доступную технологию.

В статье 11 219-ФЗ указано, что:

1. Разрешения... на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду, лимиты на сбросы загрязняющих веществ..., полученные юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и относящихся к областям применения наилучших доступных технологий, до 1 января 2019 года, действуют до дня получения комплексного экологического разрешения.

6. Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах I категории, включенных в утвержденный уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти перечень объектов, обязаны обратиться в уполномоченный Правительством Российской Федерации федеральный орган исполнительной власти с заявкой на получение комплексного экологического разрешения в период с 1 января 2019 года по 31 декабря 2022 года включительно.

Таким образом, к началу 2019 года должны быть подготовлены нормативно-методические акты, на основе которых будет осуществляться регулирование в соответствии с Федеральным законом от 21.07.2014 г. (№ 219-ФЗ). Однако эта работа только начата и водопользователи не имеют необходимых инструктивных документов.

В соответствии с пунктом 19 статьи 31.1 ФЗ 219 утверждено Постановление Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. №143 «О порядке выдачи комплексных экологических разрешений, их переоформления, пересмотра, внесения в них изменений, а также отзыва» устанавливает порядок выдачи комплексных экологических разрешений (КЭР), однако методические указания по разработке КЭР там отсутствуют, в том числе экономическое обоснование КЭР.

В настоящее время основой действующей системы регламентации сбросов является «Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей», утвержденная приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 17 декабря 2007 г. № 333, которая остается и при разработке КЭР.

В соответствии со ст. 22 (п.1) ФЗ 219 (в редакции от 25.12.2018) «Об охране окружающей среды» установлено:

1. Нормативы ... допустимых сбросов определяются для стационарного источника и (или) совокупности стационарных источников в отношении загрязняющих веществ, включенных в перечень загрязняющих веществ, установленный Правительством Российской Федерации, расчетным путем на основе **нормативов качества окружающей среды**, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций, с учетом фоновое состояние компонентов природной среды.

Таким нормативом является норматив допустимого воздействия (НДВ) на водные объекты. «Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты» утверждены Приказом МПР от 12 декабря 2007 года № 328 в соответствии со ст. 35 Водного кодекса и Постановлением Правительства России от 30.12.2006 г. № 881. На их основании на текущий момент разработаны и утверждены НДВ практически по всем речным бассейнам страны, в качестве расчетной единицы приняты водохозяйственные участки (ВХУ). Практика использования НДВ, несмотря на почти 15-летний период введения данного норматива небольшая.

Оценка допустимых значений сбросов при внедрения наилучшей доступной технологии, очевидно, также должна опираться на нормативы допустимых воздействий (НДВ).

В соответствии с Постановлением Правительства России № 469 от 23.07.07 г. нормативы НДС должны разрабатываться на основе НДВ для конкретного расчетного участка. НДС должны устанавливаться для каждого выпуска сточных вод действующего или проектируемого предприятия водопользователя, исходя из условий недопустимости превышения нормативов качества воды в контрольном створе и/или сохранения (не ухудшения) состава и свойств воды, сформировавшихся под влиянием природных факторов.

Однако до сих пор отсутствует нормативно-методический документ, устанавливающий расчет НДС на основе НДВ.

Учитывая фактические природно-обусловленные повышенные концентрации в воде водных объектов, для которых установлен НДВ по ряду ингредиентов, необходимо обосновать перечень показателей, по которым в зависимости от особенностей водного объекта целесообразно сохранение сформировавшегося диапазона концентраций указанных ингредиентов сверх традиционных нормативов качества воды (ПДК). Однако и этот порядок не установлен.

При разработке Методических указаний по разработке НДВ не были учтены важные особенности нормирования качества вод: загрязнение водных объектов загрязняющими веществами от неконтролируемых, в основном диффузных источников.

В статье 23 219-ФЗ Нормативы допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов указано:

Технологические нормативы устанавливаются на основе технологических показателей, не превышающих технологических показателей наилучших доступных технологий, комплексным экологическим разрешением...

Постановление Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 № 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий» оставляет в силе действующие правила установления нормативов качества природных вод в отношении объектов рыбохозяйственного значения (п. 13), в отношении нормативов на уровне фоновых концентраций, но в п. 16 это правило не касается объектов рыбохозяйственного значения, т.е. практически всех водных объектов, причем эти нормативы устанавливаются МПР РФ.

В методических указаниях по разработке рыбохозяйственных ПДК фиксировалось, что данные ПДК разрабатываются на характерной для данной местности воде из поверхностных водных объектов с низкой жесткостью, при этом содержание рассматриваемого токсиканта задавалось методом долива [1]. Таким образом, рассматриваемые рыбохозяйственные ПДК являются предельно допустимым превышением над естественным фоновым содержанием.

Так как необходимость учета естественного фоновое содержания токсикантов существенно усложняла оценку состояния водных объектов, тем более что ПДК разрабатывались на воде из совершенно различных водных объектов с существенно различным гидрохимическим режимом, было принято решение, исходя из принципа санитарного максимализма, не учитывать фоновое содержание токсикантов. При этом определяемые концентрации рассматривались как абсолютные значения ПДК, а не как превышение над фоном.

Данный подход вполне оправдан для техногенных, экзогенных поллютантов для конкретного водного объекта, но совершенно неприемлем для веществ двойного генезиса в водных объектах, протекающих в сложных геохимических провинциях с повышенным содержанием эндогенных поллютантов, которое часто значительно превышает установленные ПДКрв.

На практике стало очевидным, что эти нормативы, разработанные в отрыве от гидрологических, гидрохимических, гидробиологических особенностей конкретных водных объектов, совершенно не эффективны. Первым, но весьма звонким сигналом стала ситуация с Байкальским ЦБК. Построенный в строгом соответствии с действующими в то время нормативными документами он стал оказывать очень серьёзное угнетающее воздействие на гидробионты озера, хотя качество воды на выходе с очистных сооружений комбината удовлетворяло всем действующим в то время нормативным требованиям.

Действующие в настоящее время в РФ нормативы ПДКрв обычно превышают соответствующие показатели ЕС. При этом в действующей системе ПДК не оговаривается ни форма нахождения поллютантов, ни продолжительность непрерывного «стояния» данных концентраций в водном объекте.

Кроме того, разработка ПДК ведется для каждого загрязняющего ингредиента отдельно, в то время как сточные воды могут включать в себя десятки и даже сотни поллютантов. При этом возникает необходимость учета возникающих комбинаторных эффектов.

В указанном Постановлении № 149 не указывается порядок разработки и установления технологических нормативов, вопреки наименованию документа.

Здесь не указано другое основание, определяемое статьей 21. Нормативы качества окружающей среды: при установлении нормативов качества окружающей среды учитываются природные особенности территорий и акваторий, т.е. природоохранный фактор.

Нормирование допустимой антропогенной нагрузки (НДАН) не имеет четко выраженных критериев и утвержденной нормативно-методической основы, несмотря на закрепление в законодательстве. В связи с этим при разработке НДАН необходимо установить состав показателей, диапазон их допустимого изменений и критериев оценки антропогенной нагрузки.

Методической основой для установления НДАН могут быть НДВ, разработанные для ВХУ основных водных объектов с использованием Методических указаний по разработке НДВ после необходимых корректировок.

В связи с недостатками существующей системы мониторинга водных объектов, в задачи предлагаемой НИР входит также разработка научно-

обоснованных предложений по организации мониторинга, который должен обеспечить контроль за соблюдением НДС и НДСВ.

Таким образом, возникает правовая коллизия. Одновременно действуют несколько правовых актов при отсутствии механизма их согласованного использования.

При переходе к новой системе регламентации должны быть задействованы три независимые системы ПДК:

- санитарно-гигиенические ПДКв;
- рыбохозяйственные ПДКвр;

– технологические нормативы, определяемые по справочникам НДТ (Информационно-техническим справочникам – ИТС).

В настоящее время разработано более 50 ИТС. Анализ этих документов показывает, что во многих из них отсутствуют Технологические показатели (ТП) НДТ, на основе которых должны быть разработаны технологические нормативы.

До сих пор отсутствуют правовые документы, на основании которых устанавливается норматив платы за сброс загрязняющих веществ, поскольку плата проводится в пределах:

- допустимых законом нормативов;
- установленных лимитов (временно разрешенных сбросов).

Нерешенность вопроса о тарифах платы за загрязнение водного объекта является важным следствием правовой неопределенности введения КЭР. Этот вопрос имеет важное для водопользователей значение, так как внедрение НДТ осуществляется за счет средств водопользователя.

**Таким образом, ситуация с нормативно-методическим обеспечением системы регулирования качества поверхностных вод является неудовлетворительной. Требуется большая работа по гармонизации этой системы при переходе к системе НДТ и КЭР.**

Достижение этой цели основано на выполнении следующих задач:

1. Анализ существующей нормативно-методической базы в системе регламентации загрязнения водных объектов сточными водами водопользователями и разработка концепции гармонизации представленных нормативов в Федеральном законе от 21.07.2014 (№ 219-ФЗ) и действующих в настоящее время нормативов – ПДК, НДС, НДСВ и технологических нормативов.

2. Рекомендации по совершенствованию методических указаний по разработке НДСВ как основы Норматива допустимых антропогенных воздействий в части загрязнения водных объектов веществами и микроорганизмами.

3. Рекомендации по гармонизации методики разработки НДС для согласования НДС с НДСВ и системой технологических нормативов.

#### Библиографический список

1. Лесников Л.А. Разработка нормативов регулирования содержания вредных веществ в воде рыбохозяйственных водоемов. Тр. Госниорха, вып.147, 1976. С. 3-39.

# **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТОВ ПРОГРАММЫ «ОЗДОРОВЛЕНИЕ ВОЛГИ» ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ДИФфуЗНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

**Е.В. Веницианов**, проф., д.ф.-м.н., зав. лаб. ФГБУН ИВП РАН, г. Москва

## **1. Современные экологические и водохозяйственные проблемы в бассейне Волги:**

- зарегулированность стока.
- высокая антропогенная нагрузка.
- несовершенство системы мониторинга на всех уровнях
- проблема достоверности информации по государственной отчетности об источниках загрязнения.
- игнорирование класса неконтролируемых источников загрязнения.
- высокая степень эвтрофности водохранилищ Волжского каскада.
- концентрации приоритетных загрязняющих веществ в водных объектах многократно превышают ПДК.
- вторичное загрязнение водоемов от донных отложений.
- упадок рыбных запасов.
- аварийные сбросы загрязняющих веществ класса ксенобиотиков с негативными экологическими последствиями.
- неэффективные водоохранные мероприятия, отсутствие достоверного прогноза экологического состояния в бассейне на перспективу.
- низкий уровень нормативно-методического обеспечения системы регулирования антропогенной нагрузки.
- отсутствие системы мониторинга и регулирования источников диффузного стока.

## **2. Цель и задачи ФЦП «Сохранение и оздоровление Волги» на 2017-2025 гг.**

**Цель проекта** – сохранение бассейна реки Волга, в том числе, путем уменьшения не менее чем на 80% объемов сброса загрязненных сточных вод из подлежащих очистке в водные объекты Волжского бассейна и обводнения р. Ахтубы до 100 м<sup>3</sup>/с к концу 2025 года.

### **Ожидаемые результаты:**

Проведена инвентаризация и сформирован перечень объектов негативного воздействия на окружающую среду, проведено их ранжирование, категорирование.

В рамках деятельности Фонда содействия реформированию ЖКХ создано направление, стимулирующее реализацию инвестиционных проектов жилищно-коммунального хозяйства в сфере очистки сточных вод в целях сохранения и предотвращения загрязнения водных объектов.

Проведена реконструкция (модернизация) и строительство очистных сооружений (наилучшие доступные технологии, применение системы оборотно-повторного водоснабжения) не менее чем на 200 предприятиях - основных загрязнителях в 17 субъектах Российской Федерации.

Установлены автоматизированные системы, лаборатории по контролю за составом, объемом сточных вод на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду I и II категории, осуществляющих сброс (отведение) сточных вод.

В 2019 году завершена оценка загрязнения водных объектов с естественных ландшафтов селитебных территорий, земель сельскохозяйственного значения, промышленных площадок предприятий, предприятий животноводческого комплекса, полигонов захоронения и свалок, объектов транспортной инфраструктуры и в 2020 – 2025 годах внедрена сформированная Концепция по снижению таких загрязнений в пилотных регионах, рекомендованных Концепцией.

### 3. Актуальность учета и оценки диффузных источников загрязнения.

Два типа источников загрязнения: точечные (сосредоточенные) и распределенные (диффузные).

**Точечное загрязнение** хорошо поддается внутреннему (ведомственному) и внешнему (со стороны надзорных органов) контролю.

**Диффузные источники загрязнения** – распределенные по территории водосбора источники загрязнения, которые, как правило, не контролируются. Не существует и системы мониторинга за диффузными источниками, поскольку они весьма разнообразны и у каждого из них имеется своя специфика (табл. 1). В бассейне Волги диффузный сток превышает сосредоточенный.

*Таблица 1*

**Важность учета диффузного стока**

ТОЧЕЧНЫЕ (СОСРЕДОТОЧЕННЫЕ) КОНТРОЛИРУЕМЫЕ	РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ (ДИФФУЗНЫЕ) НЕКОНТРОЛИРУЕМЫЕ
находятся под государственным контролем, характеризуются относительной стационарностью сброса загрязняющих веществ, сосредоточенным характером выпуска. В основном, хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды	находятся, в основном, вне системы контроля со стороны государственных органов, характеризуются нестационарностью режима и рассредоточенным (диффузным) характером поступления загрязняющих веществ в водные объекты. К ним относятся: поверхностный смыв с территории городов, промышленных площадок, сельскохозяйственных объектов, а также рекреация, торфоразработки, судоходство, полигоны ТБО и т.д.

#### **4. Проблема идентификации диффузных источников загрязнения**

Для разработки методов идентификации диффузных источников требуется рассмотреть следующие вопросы:

- состав признаков, позволяющих идентифицировать диффузные источники природного и техногенного происхождения;
- описание процессов и механизмов формирования источников диффузных загрязнений;
- формы нахождения загрязняющих веществ в ореоле диффузного источника,
- разработка информационно-аналитической системы для прогноза с использованием экспериментальных исследований и математических моделей, а также представления результатов идентификации в виде тематических карт с использованием ГИС-технологий.

Важное значение на формирование диффузного стока оказывают **метеоусловия**: дожди и снеготаяние.

С территории г. Москвы в составе поверхностного стока в течение года поступает ~4000 тонн нефтепродуктов, ~450 000 тонн взвешенных веществ, так что нефтепродуктов смывалось в 1,8 раз, а взвешенных веществ почти в 24 раза больше, чем со сточными водами всех предприятий Москвы.

В настоящее время разработаны **методы идентификации диффузных источников загрязнения**

**Экспликационный метод** основан на оценке модулей поверхностного смыва загрязняющих веществ.

**Метод «обратных задач».** Производится измерение концентраций загрязняющих компонентов на нескольких створах реки. По увеличению концентраций можно дать оценку диффузного стока с территории между створами.

#### **5. Приоритетные загрязняющие вещества диффузных источников с селитебных территорий:**

- твердые частицы (пыль, сажа) – внутриквартальные территории, дороги, строительные площадки, бытовой мусор, сток с промплощадок.
- биогенные элементы ( $P_{общий}$ ,  $N_{общий}$ ) – удобрения газонов и лужаек, атмосферное осаждение, выхлопы автотранспорта, моющие средства, отходы жизнедеятельности животных, почвенная эрозия.
- тяжелые металлы – автотранспорт, осаждение в составе атмосферных осадков, промышленные зоны, почвенная эрозия, окисление металлических поверхностей, сжигание металлосодержащих материалов.
- бактериальное загрязнение – территории парковых зон, скверы, газоны, территории улиц, протечки канализационных труб и места их соединения, отходы жизнедеятельности домашних животных, септики.
- БПК<sub>5</sub>, ХПК – зеленые территории частных хозяйств, остатки жизнедеятельности домашних животных, бытовые органические отходы.

– нефтепродукты – дороги и магистрали, парковочные стоянки автотранспорта, авторемонтные мастерские и бензоколонки, мойка автотранспорта на необорудованных площадках.

– пестициды – зеленые насаждения города: парки, скверы, лесопарковые зоны; придорожные зеленые зоны, приусадебные участки, смыв с почвенного покрова территории города.

## 6. Расчет нагрузки загрязняющих веществ по модулям стока, т.е. на единицу площади при различных видах землепользовании на водосборе

Таблица 2

Типовые нагрузки загрязняющих веществ от различных типов землепользования (кг/км<sup>2</sup>/год)

Тип землепользования	Взвешенные твердые частицы	Общий фосфор	Общий азот	Аммонийный NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N
Земли под торговыми и деловыми предприятиями	112,08	0,17	0,75	0,21	0,35
Земли под автомобильной стоянкой	44,83	0,08	0,57	0,22	0,33
Земли под жилой застройкой высокой плотности	47,08	0,08	0,47	0,09	0,22
Земли под жилой застройкой низкой плотности	7,29	0,004	0,03	0,002	0,01
Земли под автомобильными дорогами	190,54	0,10	0,89	0,17	0,47
Земли промышленного назначения	75,10	0,15	0,38	0,02	0,15

Основные этапы расчета загрязненного диффузионного стока с промышленной площадки:

1. Оценивается площадь пром. площадки S (L2).
2. Определяются пути отведения поверхностного стока.
3. Определяются потоки загрязняющих веществ.
4. Регистрируются гидрографы и плютотографы.
5. Рассчитываются интегральные оценки по всем дождям.
6. Определяется модуль поверхностного стока загрязняющих веществ

$$\mu = M/S$$

$$\text{Нефтепродукты } M_{\text{нп}} = 417,2 / 110 = 3,8 \text{ кг / год га;}$$

Взвешенные вещества  $M_{\text{вв}} = 1511$  кг/год га.

Органические вещества  $M_{\text{об}} = 174$  кг/год га.

## 7. Комплексные компьютерные модели

Таблица 3

Типичные исходные данные для моделей

<b>Гидрологические характеристики:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- график осадков</li><li>- диаграмма стока</li><li>- данные испарения</li><li>- температура</li></ul> <b>Показатели качества вод</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- нагрузка от источников загрязнений</li><li>- скорость поступления загрязняющих веществ</li><li>- эрозия</li></ul>	<b>Характеристика гидравлических систем (каналы, дренаж, трубы и пр.)</b> Характеристики почв: <ul style="list-style-type: none"><li>- гидрологический тип</li><li>- параметры фильтрации</li><li>- содержание влаги</li><li>- условия увлажнения</li></ul>	<b>Характеристики водосбора:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- водонепроницаемые зоны</li><li>- накопление вод в понижениях</li><li>- длина стока</li><li>- задержание стока</li></ul>
---	--	--

### Проект информационно-аналитической системы по диффузным загрязнениям



## 8. Проблемы регулирования диффузных источников загрязнения

	Сосредоточенные источники	Диффузные источники
1.	Договора водопользования	Без заключения Договора
2.	Разработка проекта НДС	Без разработки проекта НДС
3.	Нормативно-методическое обеспечение (приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 17 декабря 2007 г. № 333 «Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей»)	Отсутствие Нормативно-методического обеспечения
4	Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 №913 (ред. от 09.12.2017) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах"	Отсутствует плата за негативное воздействие на водные объекты
5	Форма 2-ТП (водхоз) Сведения об использовании воды. Форма N 2-ТП (водхоз)	Отсутствует

**Наилучшая экологическая практика** (НЭП, англ. best environmental practice) – наиболее эффективное и удачное с экологической, экономической и социальной точки зрения, применение наилучшей существующей технологии либо другой технологии в хозяйственной деятельности, с учётом национальных, региональных и местных особенностей.

На данный момент в России имеется существенное отставание в области применения данного термина в нормативно правовой документации и в законодательстве в частности. На данный момент только осуществляется разработка нормативно-правовой базы для перехода на нормирование негативного воздействия на окружающую среду с использованием НДТ.

### 8. Выводы

1. Усовершенствовать систему контроля качественного состояния водных объектов с учетом всех фаз водного режима. Учет и оценка мощности диффузных источников загрязнения
2. Создать единую базу данных о качественных и количественных параметрах водных объектов
3. Разработать систему мониторинга неконтролируемых источников загрязнения диффузного характера
4. Разработать системы регулирования диффузных источников загрязнения водных объектов
5. Определить уровни биогенной нагрузки на водоемы, внедрить эффективные технологии в сельскохозяйственном секторе
6. Изменить регламент водопользования в водоохранных зонах источников водоснабжения.

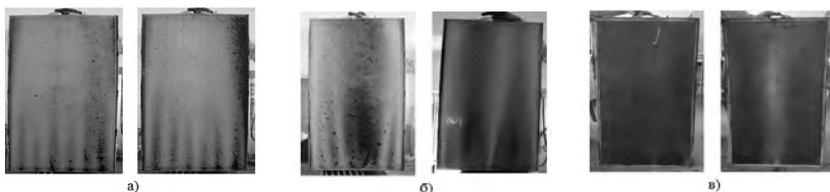
# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН ПРИ ОЧИСТКЕ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ В БИОСОРБЦИОННО-МЕМБРАННОМ РЕАКТОРЕ

**А.И. Вергунов**, руководитель проектов, ООО «ЭКОФЕС-инжиниринг», г. Новочеркасск

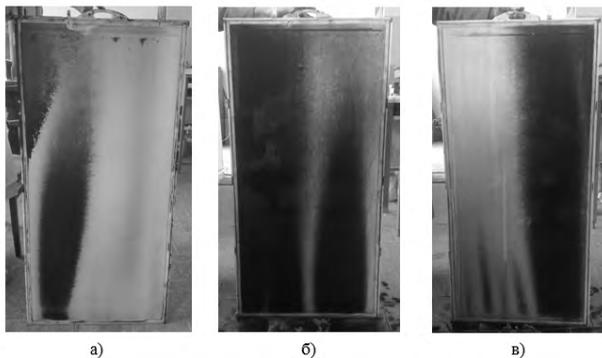
При эксплуатации биосорбционно-мембранного реактора (БМР) для поддержания заданной производительности необходимо контролировать процесс загрязнения поверхности мембраны и вовремя очищать её. Очистка поверхности в процессе эксплуатации БМР может быть осуществлена водовоздушной смесью, когда установка находится в режиме «релаксация», а также с помощью химических реагентов.

В настоящей статье автором показана очистка поверхности мембраны с помощью аэрации, разной интенсивности от 16 до 46 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч.

На рис. 1 показан внешний вид плоскостной мембраны с лицевой и обратной стороны. При аэрации 46 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч поверхность мембраны была практически чистой, лишь некоторые участки были покрыты слизистой пленкой с вкраплениями порошкообразного активного угля (рис. 1, а). При её уменьшении до 30 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч, площадь плёнки увеличивалась примерно в два раза (рис. 1, б). При интенсивности 16 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч поверхность мембраны была полностью загрязнена (рис. 1, в). Это приводило к остановке работы БМР и необходимости очистки мембраны. Кроме интенсивности аэрации, важным условием является равномерное распределение воздуха в аэраторе. На рис. 2 представлены фотографии поверхности мембран, которые были установлены в разных частях реактора и внешне существенно отличаются. Светлые зоны свидетельствуют об эффективной аэрации, при которой уголь не закрепляется на поверхности мембраны (рис. 2 а и в). Мембрана (б) аэрировалась в недостаточной степени и поэтому лишь малая часть поверхности осталась условно чистой. Остальная её площадь покрыта слизистой угольной пленкой, толщина которой достигала от 0,5 до 6,0 мм.



**Рис. 1.** Внешний вид лицевой и обратной стороны плоскостной мембраны при интенсивностях аэрации, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч:  
а) 46; б) 30; в) 16



**Рис. 2.** Фотографии поверхности мембран установленных в разных участках модуля:  
а) первая; б) четвертая; в) восьмая

В заключении хочется сказать, что необходимо уделять особое внимание поверхности мембраны при эксплуатации БМР, т.к. её загрязнение напрямую влияет на производительность установки. В случае невозможности очистки водовоздушной смесью необходимо применять химическую промывку гипохлоритом натрия или лимонной кислотой [1].

#### Библиографический список

1. Фесенко Л.Н., Вергунов А.И., Швецов В.Н., Морозова К.М., Костюков В.П. Биосорбционно-мембранный реактор с плоскими фильтрующими элементами: методика расчёта // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 4. С. 12-17.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТЕЙ ВОДОПРОВОДА И КАНАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ СТЕСНЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ

**М.Г. Мхитарян**, главный инженер АО ПИИ «Мосметротрект», доц., к.т.н., РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, г. Москва; **А.В. Данилина**, бакалавр РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, г. Москва; **Л.В. Исаева**, ведущий инженер АО ПИИ «Мосметротрект», г. Москва

Интенсивное развитие и освоение новых городских и сельских территорий, увеличение плотности застройки, необходимость реконструкции и реновации в уже сложившейся жилой застройке, а также рост благоустройства и ужесточение требований безопасности (в том числе пожарной), вызывает увеличение количества инженерных коммуникаций, таких как водопровод и канализация, и их пропускной способности. Это также влечет за собой необходимость их более компактного расположения.

Существующие нормы по взаимному расположению коммуникаций (СП 31.13330.2012, СП 42.13330.2016, СП 32.13330.2012), были разработаны на основе старых СНиПов, главным образом, для условий новой застройки на свободных территориях. Данные нормативные документы не всегда учитывают реалии современного строительства. Каждый год появляются новые материалы, технологии, методы производства строительных и эксплуатационных работ, которые позволяют уменьшить затраты без потери качества. К тому же, полностью свободных территорий в пределах населенных пунктов практически не осталось, и вопрос более рационального и компактного размещения коммуникаций приобретает особую актуальность.

По заданию ФАУ «Федерального центра нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве», во исполнение Поручения Председателя Правительства Российской Федерации от 19 сентября 2016 года № ДМ-П16-5574, с целью реализации требований Федерального закона от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», группе институтов, в т.ч. и нашему – АО ПИИ «Мосметротрект», на основе имеющегося проектного и строительного опыта, поручено выполнить работы по оптимизации параметров, нормируемых СП, с последующей корректировкой нормативных документов.

Нормируемые параметры:

расположение сетей водопровода и канализации по горизонтали, и по вертикали в свету относительно зданий и сооружений; растительности (деревьев); других инженерных коммуникаций.

Проанализированы европейская и отечественная нормативные базы по данному вопросу.

Нормативная база в объединенной Европе по этому вопросу слабо развита в связи с относительно небольшим распространением централизованных сетей водопровода и канализации.

На данный момент имеется несколько актуальных Еврокодов, в частности Еврокод СТБ EN 805-2009, Еврокод EN 13480-6:2004, СТБ EN 13480-6-2009.

По требованиям данных нормативов, если происходит сближение с другими трубопроводами или кабелями, или они проходят параллельно, то горизонтальное расстояние обычно не должно быть меньше 0,40 м. В узких местах расстояние должно составлять минимум 0,20 м, за исключением случаев, когда это минимальное расстояние невозможно выдержать, то есть основное решение принимается проектировщиком.

В наших нормативных документах расстояния в свету **по горизонтали** регламентируются СП 42.13330.2016.

Например, для зданий и сооружений нормативы регламентируют следующие расстояния:

- расстояние, м, по горизонтали (в свету) от фундаментов зданий и сооружений до сетей канализации - не менее 3 м, а до сетей водоснабжения - не менее 5 м;

- расстояние, м, по горизонтали (в свету) до бортового камня улицы, дороги (кромки проезжей части, укрепленной полосы обочины) до сетей канализации не менее 1,5 м, а до сетей водоснабжения – не менее 2 м.;

Для инженерных сетей, в частности:

- расстояние, м, по горизонтали (в свету) от водопровода до водопровода не менее 1 м. и до 5 м. в зависимости от материала труб, а расстояние по горизонтали (в свету) от канализации до канализации следует принимать 0,4 - 1 м.;

- расстояние по горизонтали (в свету) от хозяйственно-питьевого водопровода до канализации следует принимать, м.:

- для водопровода из железобетонных и асбестоцементных труб – 5 м.;

- для водопровода из чугунных труб диаметром до 200 мм. - 1,5 м., диаметром свыше 200 мм. – 3 м.;

- для водопровода из пластмассовых труб - 1,5 м.;

- расстояние по горизонтали (в свету) от водопровода до дренажа и дождевой канализации – не менее 1,5 м., а от канализации до дренажа и дождевой канализации – не менее 0,4 м.

При пересечении сетей канализации с другими инженерными коммуникациями, сооружениями и зданиями нормирование расстояния **по вертикали** (в свету) общегражданскими нормами не предусмотрено и приведено только в СП 18.13330.2011 «Генеральные планы промышленных предприятий».

Согласно этим нормам, например:

- между трубопроводами водоснабжения и другими трубопроводами различного назначения (за исключением канализационных, пересекающих водопроводные, и трубопроводов для ядовитых и дурнопахнущих жидкостей) – 0,2 м.;

- трубопроводы, транспортирующие воду питьевого качества, следует размещать выше канализационных или трубопроводов, транспортирующих ядовитые и дурно пахнущие жидкости, на 0,4 м.;

- допускается размещать стальные, заключенные в футляры трубопроводы, транспортирующие воду питьевого качества, ниже канализационных трубопроводов. При этом расстояние от стенок канализационных труб до обреза футляра должно быть не менее 5 м. в каждую сторону в глинистых грунтах и 10 м. – в крупнообломочных и песчаных грунтах, а канализационные трубопроводы следует предусматривать из чугунных труб.

Данные требования в ряде случаев являются избыточными и не учитывают новые строительные технологии.

Расстояние между инженерными коммуникациями принимается не только в целях обеспечения безопасности функционирования всех систем, но также для обеспечения возможности монтажа и демонтажа без нанесения ущерба близлежащим коммуникациям. Опыт строительства и эксплуатации инженерных сетей показывает, что просвет в 0,5 м. по горизонтали – это минимальный монтажный проем для производства работ.

Ниже приведены выборочные значения параметров, принимаемых для внесения изменений в существующие своды правил.

Данные нормативы дают проектировщику больше возможности гибко принимать решения в зависимости от конкретных условий.

При выполнении мероприятий по защите фундамента от подтопления возможно уменьшение расстояния от наружных конструкций здания до трубы водопровода до 3 м., до трубы канализации – до 2 м. (например, устройство трубы в обойме или футляре).

Расстояние от трубопровода до бортового камня (кромки проезжей части, укрепленной полосы обочины) принять не менее 0,5 м. при условии применения мероприятий, защищающих трубопровод (футляры, обоймы).

Принять расстояние по горизонтали в свету от водопровода до водопровода не менее 1,0 м. для всех типов труб, независимо от материала труб. Для железобетонных и асбоцементных труб предусмотреть дополнительную наружную гидроизоляцию для защиты от проникновения стоков через влагоемкую стенку трубы.

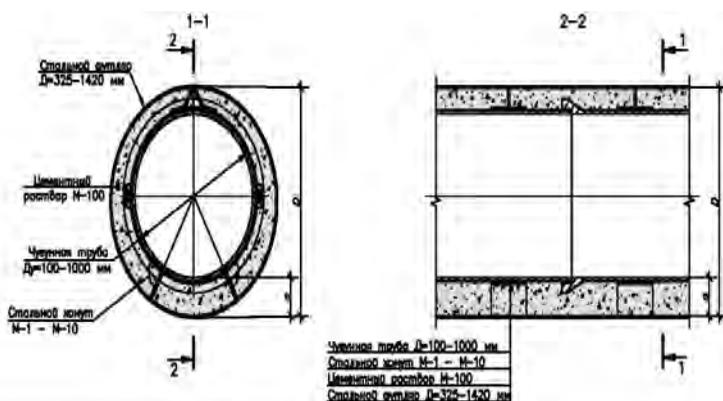
Указанные расстояния допускается уменьшать при обосновании прочностным расчетом и с учетом возможности производства строительно-монтажных и ремонтных работ.

Так как требование размещать трубопроводы водоснабжения выше сетей канализации и трубопроводов с дурно пахнущими веществами вызвано защитой трубопроводов питьевой воды от попадания при аварии загрязнений в сети водопровода, расстояние 0,4 м. между трубами при их пересечении, строго говоря, не обеспечивает такую защиту. Канализационные трубы безнапорные, т.е. условно герметичные, соединение не жесткое, поэтому при малейших, даже расчетных просадках грунта возможно просачивание сточной воды, которая, благодаря капиллярному подъему воды в грунте, при аварии в сетях водоснабжения может попасть в питьевую воду. Поэтому единственным надежным способом защиты водопроводной трубы может быть устройство футляра в местах пересечения с сетями канализации, причем, неважно сверху или снизу.

Поэтому предлагается уменьшение такого расстояния до 0,2м. при условии выполнения мероприятий по защите трубопровода водоснабжения от залива бытовыми стоками (футляры, обоймы). В этом случае размещать водопровод допускается как сверху, так и снизу систем канализации.

Обрезы футляров по границам пересечения выполнить длиной не менее 2 м. в каждую сторону, так как данное расстояние гораздо больше капиллярного проникновения. Требование СП выполнять длину футляров в песчаных грунтах по 10 метров в каждую сторону от пересечения, а в глинистых – по 5 м., не обосновано никакими исследованиями, ведет к перерасходу материалов и удорожанию строительства.

Для обеспечения сохранности трубопровода при прокладке в нарушенных или имеющие плохие геологические характеристики грунтах, трубы усиливают стальными футлярами с заводской ВУС изоляцией и заполнением межтрубного пространства цементно-песчаным раствором см. рис. 1, а также обоймой.



ОБЪЕМ РАБОТ И МАТЕРИАЛОВ НА 1 П.М.		Диаметр стального футляра (D), мм										ПРИМЕЧАНИЯ	
НП	НАИМЕНОВАНИЕ	Ед. изм.	325	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600		1800
			100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	1000
1	Цементный раствор М-100	м³	0,07	0,11	0,17	0,15	0,21	0,24	0,30	0,36	0,37	0,43	0,47
2	Стальная труба	кг	47,2	72,33	90,35	107,8	144,8	194,3	224,4	284,1	357,8	484,7	484,7
3	Стальной жгут шев 4,0 м	кг	0,82	0,97	1,17	1,20	4,1	4,7	5,3	6,1	13,3	16,4	17,3

- ПРИМЕЧАНИЯ**
1. Бетонные и железобетонные работы выполнять согласно СНиП 3.03.01-87.
  2. Заполнение межтрубного пространства просеянным цементным раствором М-100.
  3. Шаг установки жгутов – 4,0 м.

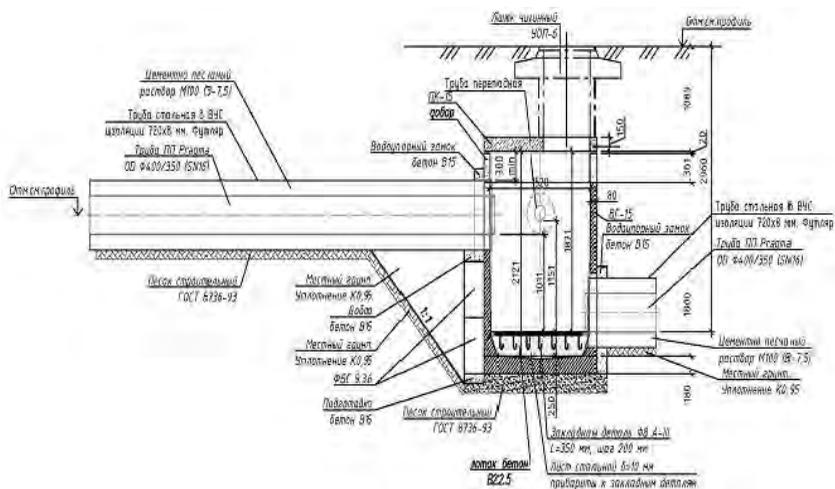
ТАБЛИЦА РАЗМЕРОВ "a"											
Диаметр трубы, мм	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	1000
Размер "a", мм	85	85	90	95	130	130	130	130	210	220	220

**Рис. 1.** Усиление трубопровода за счет заключения его в стальной футляр с заводской ВУС изоляцией и заполнением межтрубного пространства цементно-песчаным раствором

Для обеспечения сохранности канализационной сети при перепадах более 1 м. предусматривается искусственное основание (по ВКН-32) под

перепад из блоков ФБС и производят усиление лотковой части колодца, чтобы поток жидкости не разбил его при падении см. рис. 2.

На данный момент предложенные изменения уже рассмотрены и одобрены на заседании ФАУ «ФЦС». Заключением протокола было определено, что АО ПИИ «Мосметрострой» будет производить корректировки представленных выше изменений. Публикация итоговой нормативной документации намечена на 2020 год.



**Рис. 2.** Устройство искусственного основания под перепад по ВКН-32 с применением блоков ФБС и усилением лотковой част колодца

Ниже приведен выборочный перечень выполненных проектов (объекты прошли экспертизу, полностью или частично построены и введены в эксплуатацию) для обоснования предложений:

1. Красногорский р-н. п. Нахабино, ул. Панфилова., ж/к «Палитра», застройщик ЗАО «Пересвет-Инвест», гос.экспертиза № Э-1025-2007г., ввод в эксплуатацию 30.12.2011 г., общая площадь застройки – около 6 га. Построен частично (корпуса 1-4), введен в эксплуатацию.

2. Московская область, Одинцовский район, д. Раздоры, тер. Мякинино вне границ. Многофункциональная комплексная застройка. Застройщик ГК «Самолет. Бухта Лэнд», площадь застройки 28 га. Объект прошел экспертизу и строится по очередям. Ж/К Спутник. 2017-2018 г.г

3. МО, г. Дзержинский, ул.Ленина, 2а, застройщик ЗАО «Пересвет-Рел Эстейт», ввод в эксплуатацию 2011 г. Объект построен и введен в эксплуатацию.

4. г. Москва, п. Коммунарка, застройщик ООО «А101», микрорайон ж/к «Скандинавия», Д.14,15,16, общая площадь застройки около 3 га. Объект прошел экспертизу и строится. 2018 г.

5. г. Москва, ТиНАО, п. Сосенское, вблизи дер. Николо-Хованское, застройщик ООО «А101», комплексная застройка ППТ 1.4., общая площадь многофункциональной застройки – около 70 га. Объект по первым этапам прошел экспертизу в 2018 году и строится (1-2 очереди).

#### Библиографический список

1. СП 31.13330.2012 «СНиП 2.04.02-84\* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (с изменениями № 1, № 2, № 3).
2. СП 32.13330.2012 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения» (с изменениями № 1, № 2).
3. СП 42.13330.2016 «СНиП 2.07.01-89\* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».
4. СП 18.13330.2011 «СНиП II-89-80\* Генеральные планы промышленных предприятий» (с изменением № 1).

## АКТУАЛИЗАЦИЯ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Л.Г. Дерюшев, доц., к.т.н., МГРИ–РГГРУ, г. Москва

В нормативной, справочной и учебной литературе [1, 3-5] указывается, что «расчет водоотводящих сетей состоит в определении диаметров и уклонов трубопроводов, обеспечивающих при наиболее благоприятных гидравлических условиях пропуск расходов сточных вод в любой момент времени». Специалистам в области водоснабжения и водоотведения данное определение понятно и не требует разъяснений. Инженеры же смежных специальностей, которые принимают решения по строительству и эксплуатации канализационных сетей, не воспринимают смысл нормируемого указания, поскольку в нем не оговаривается принцип выбора расчетного параметра  $Q$ . Например, в СП 31.13330 [1] в качестве первого требования по проектированию водопроводных объектов приводится условие выполнения расчетов расходов воды  $Q_{сут. max}$ ,  $Q_{сут. min}$  в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления. В п.5.1.6 СП 32.13330 [2] аналогичное требование формулируется: "...расчетные суточные расходы сточных вод следует принимать как произведение среднесуточного (за год) расхода по 5.1.5 [2] на коэффициенты суточной неравномерности  $K_{сут. max}$ ,  $K_{сут. min}$ , принимаемые согласно СП 31.13330". Авторам [1, 2] было очевидно, что события водопотребления "x" и водоотведения "y" случайны и взаимосвязаны, их количество не может быть конечно, поскольку  $x \xrightarrow{t} \infty$ ,  $y \xrightarrow{t} \infty$ . Поэту рас-

четы водопроводных и канализационных сооружений должны выполняться в первую очередь для случаев работы их в экстремальных ситуациях: "max хоз.", "min хоз.", "max хоз. + авария" и т.д. Экстремальные ситуации моделируются для системы с постоянными параметрами на отрезках времени  $\Delta t_{max}$ ,  $\Delta t_{min}$  (час, с), а потому и параметры отдельных элементов рассматриваемой системы должны соответствовать нормируемым условиям функционирования. На практике нормативные требования проектирования объектов строго соблюдаются при расчетах распределительных трубопроводных систем водоснабжения, а при расчетах трубопроводов систем водоотведения претерпевают мнимую корректировку или искажение. В нормативной, справочной и учебной литературе [1-5] подчеркивается взаимосвязь систем водоснабжения и водоотведения по условиям водопотребления и водоотведения, указывается единство коэффициентов суточной неравномерности для населенных пунктов, часовой неравномерности для промышленных предприятий. На практике же, когда переходят к расчетам канализационных сетей, логика формирования расчетных расходов сточных вод, основы законов сохранения энергии и материи игнорируются. Например, в учебной литературе [3-5] расчетные расходы сточных вод водоотводящих сооружений предлагается определять по средним расходам

сточных вод с селитебных площадей с переменной величиной общего коэффициента неравномерности по формуле

$$q_{\max.c} = (q_{\delta} \cdot P / 24 \cdot 3600) F_i \cdot K_{\text{общ.}i}, \text{ л/с}, \quad (1)$$

где  $q_{\delta}$  – удельное водоотведение бытовых вод, л/чел·сут;  $P$  – плотность населения, чел/га;  $F_i$  –  $i$ -ая селитебная площадь кварталов, га;  $K_{\text{общ.}i} = K_{\text{сут}} \cdot K_{\text{ч}}$  – общий коэффициент неравномерности для  $i$ -ой площади кварталов;  $K_{\text{сут}}$  – коэффициент суточной неравномерности;  $K_{\text{ч}}$  – коэффициент часовой неравномерности.

Коэффициент  $K_{\text{общ.}i}$  уменьшается с увеличением среднего расхода на участке, и определяется по таблице 1 СП 32.13330.2012 [2]. Расчетные расходы сточных вод на участках бытовой сети определяют по формуле:

$$Q_{\text{расч}} = \Sigma q_{\text{соср}} + \Sigma q_{\text{ср}} \cdot K_{\text{общ.}i}, \text{ л/с} \quad (2)$$

где  $K_{\text{общ.}i}$  – коэффициент общей неравномерности поступления бытовых сточных вод от жилых кварталов, который определяется по таблице 1 СП 32.13330.2012, в зависимости от суммарного среднего расхода сточных вод с жилых кварталов, поступающих в трубопроводный участок [2];  $q_{\text{соср}}$  – сосредоточенный расход, определяемый с учетом неравномерности расходов от коммунальных и промышленных предприятий;  $q_{\text{ср}}$  – средний расход-расход сточных вод от жилой застройки.

Расчетные общие максимальные и минимальные расходы сточных вод принимаются с учетом суточной и часовой неравномерности по табл. 1 [2].

Таблица 1

Средний расх. сточ. вод, л/с	5	10	20	50	100	300	500	1000	5000 и более
$K_{\text{общ.}i, \max. i, 1\%}$ обеспеченности	3,0	2,7	2,5	2,2	2,0	1,8	1,75	1,7	1,6
$K_{\text{общ.}i, \min. i, 1\%}$	0,2	0,23	0,26	0,3	0,35	0,4	0,45	0,51	0,56
$K_{\text{общ.}i, \max. i, 5\%}$	2,5	2,1	1,9	1,7	1,6	1,55	1,5	1,47	1,44
$K_{\text{общ.}i, \min. i, 5\%}$	0,38	0,46	0,5	0,55	0,59	0,62	0,66	0,69	0,71

Примечание: при средних расходах сточных вод менее 5 л/с максимальный коэффициент неравномерности принимается 3.

Поскольку  $K_{\text{сут.}i, \max}$  и  $K_{\text{сут.}i, \min}$  принимаются с учетом требований [1], то логично было бы предположить, что часовые коэффициенты неравномерности поступления сточных вод можно оценивать следующим образом:  $K_{\text{ч.}i, \max} = K_{\text{общ.}i, \max} / K_{\text{сут.}i, \max}$ ,  $K_{\text{ч.}i, \min} = K_{\text{общ.}i, \min} / K_{\text{сут.}i, \min}$ .

Моделировать процесс притока сточных вод на ЭВМ, как это допускается требованиями п. 5.1.7 [2], для большей части проектировщиков в на-

стоящее время не представляется возможным по ряду причин: ограничен объем статистической информации, достоверность этой информации не гарантируется, отсутствует административная заинтересованность в организации работ исследования режимов водопотребления и водоотведения на подведомственных объектах с открытым доступом по их оценке и т.д.

Очевидно, по причинам, перечисленным выше, практикуется метод полумер оценки режимов водоотведения на объектах проектирования канализационных сетей: используются коэффициенты суточной неравномерности водопотребления, общие коэффициенты неравномерности притока сточных вод одновременно без составления баланса по воде. И трудно при этом понять, какие условия поступления сточных вод учитываются при определении расчетных расходов сточных вод не только для участков трубопроводной сети, но и всей системы.

Выполнение подобных расчетов при проектировании канализационной сети можно рассмотреть на следующем примере.

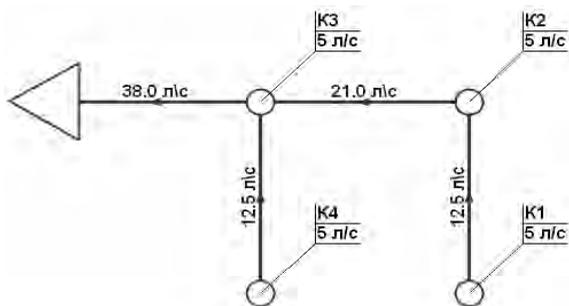


Рис. 1. Расчетная схема канализационной сети

На рис. 1 представлена расчетная схема канализационной сети. К узлам на схеме привязаны средние расходы, поступающие с прилегающих площадей объекта. Сосредоточенные расходы сведены к  $\theta$  в целях упрощения расчета и сокращения описания второстепенных оценок. В каждый узел поступает средний расход  $q_{cp\ i} = 0,005\ \text{м}^3/\text{с}$ . Расчеты выполняются по участкам сети от 1 узла до канализационной насосной станции (КНС) при 5% обеспеченности (точности) информации поступления сточных вод в максимальные сутки.

На участке 1-2:

$q_{cp1} = 0,005\ \text{м}^3/\text{с} = 5\ \text{л/с}$ . Чтобы оценить расчетный расход на трубопроводном участке, по таблице 1 выбирается коэффициент  $K_{\text{общ. max } i}$ .

Для расхода воды  $Q=5\ \text{л/с}$ , принимается  $K_{\text{общ. max } i} = 2,5$ ;

$Q_{p(1-2)} = 0,005 \cdot 2,5 = 0,0125\ \text{м}^3/\text{с} = 12,5\ \text{л/с}$ .

На участке 4-3: расчеты расходов воды выполняются аналогично, как и для участка 1-2.

На участке 2-3:

В узел 2 поступает средний расход  $q_{cp2}$ , а также транзитный средний расход от 1 узла  $q_{cp1}$  (средний расход, поступающий с прилегающего квартала);

$$\sum q_{cp i} = q_{cp1} + q_{cp2} = 0,005 + 0,005 = 0,01 \text{ м}^3/\text{с} = 10 \text{ л/с.}$$

Как выше отмечалось, по таблице 1 принимается:  $K_{\text{общ. max } i} = 2,1$

$$Q_{p(2-3)} = 0,005 + 0,005 \cdot 2,1 = 0,021 \text{ м}^3/\text{с} = 21 \text{ л/с.}$$

На участке 3-КНС

В узел 3 поступает средний расход  $q_{cp3}$ , а также транзитный средний расход от всех узлов  $q_{cp i}$ .

$$\sum q_{cp i} = q_{cp1} + q_{cp2} + q_{cp3} + q_{cp4} = 0,02 \text{ м}^3/\text{с} = 20 \text{ л/с};$$

Выбирается  $K_{\text{общ. max } i}$  по таблице 1:  $K_{\text{общ. max } i} = 1,9$ .

$$Q_{p(3-КНС)} = 0,02 \cdot 1,9 = 0,038 \text{ м}^3/\text{с} = 38 \text{ л/с.}$$

Из примера видно, что расходы на участках сети меняются не как сумма выше расположенных по расчетной схеме узловых расходов, а с учетом коэффициентов  $K_{\text{общ. max } 1}$ ,  $K_{\text{общ. max } 2}$ ,  $K_{\text{общ. max } 3}$  и т.д.

Спрашивается, а почему  $K_{\text{общ. max } i}$  меняется на каждом участке для единого объекта? Это же единая система. Почему для элементов системы водоснабжения коэффициенты неравномерности расходов воды не меняются, а для элементов системы водоотведения меняются? При проектировании объекта рассматривается случайная экстремальная ситуация отвода сточных вод в максимальный час. Что, когда рассчитывается система водоснабжения объекта у него одни потребители, а когда рассчитывается система водоотведения, то другие? Где же логика, где баланс расходов? Можно допустить, что в канализационные колодцы через люки поступают дождевые воды, но затем учесть их на последующих этапах расчета сети без нарушения единой методики расчета расходов и отвода воды потребителями населенного пункта.

При расчетах канализационной сети применяемыми методами на конечном участке сети перед КНС можно получить расход  $Q$ , который соответствует расчетному расходу по объекту. Но это совпадение будет только для конечного участка, а не для всех участков сети. Не трудно убедиться, что подобные расчеты приводят к увеличению диаметров трубопроводов на один или два сортамента, к искажению процессов формирования расходов воды, к перерасходу материальных и энергетических затрат (меняются глубины заложения трубопроводов, геометрические высоты для перекачки стоков, стоимости труб, эксплуатационные расходы и т.д.). В масштабах страны подобный подход к проектированию и строительству канализационных сетей приводит к убыткам в миллиарды рублей. Заметим, в любой учебной и справочной литературе [3-5] все разделы по расчету канализационных сетей написаны не авторами изданий, а сторонними лицами.

Вывод: сопоставительный анализ справочной, учебной и нормативной литературы позволяет вынести предложение по уточнению требований расчета канализационных сетей на ближайшем этапе актуализации строительных правил (СП) по канализации.

#### Библиографический список

1. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М., 2019.
2. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М., 2012.
3. Воронов Ю. В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М., МГСУ, 2006. 702 с.
4. Яковлев С.В., Карелин Я.И., Жуков А.И., Канализация. – М., 1975. 632 с.;
5. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Под редакцией В.Н. Самохина. – М., 1981. 638 с.

## О НОРМИРОВАНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Л.Г. Дерюшев, доц., к.т.н., МГРИ-РГГРУ, г. Москва

На основании Федерального Закона «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г., № 184-ФЗ [1], Градостроительного кодекса Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ [2], Договора о вступлении России в ВТО [3] в Российской Федерации выполняется актуализация действующих нормативных документов, в частности, по проектированию систем водоснабжения и водоотведения. В последней редакции строительных правил по проектированию наружных сетей и сооружений систем водоснабжения [4] приведены требования, которые исключают использование прежних формул по расчету площадей скорых фильтров и контактных осветлителей. Подробных обоснований принятия подобных решений в открытой печати не приводились. Авторы разработки свода правил [4] считали очевидным правомерность подобных решений, но для более широкого круга инженеров необходимость пояснений в изменении требований проектирования очистных сооружений остались. Необходимость пояснений по отмеченным правилам обуславливается и тем, что в настоящее время в инженерной практике проектирования систем водоснабжения и водоотведения основные положения теории надежности не принимаются во внимание, а если в какой-то мере и используются в нормативных документах термины «надежность» и «качество» сооружений, то только как лексические выражения, а не количественные оценки свойств выполнения объектами заданных функций. Например, для станций очистки воды правила резервирования сооружений по выполнению условий их нормального функционирования отсутствуют [4, 5].

Инженерам любой специальности известно, что свойство технического или строительного объекта выполнять заданные функции необходимо с учетом не только методов, применяемых в исследуемой отрасли, но и методов теории надежности. Если на водопроводных очистных сооружениях оценивается функционирование фильтров, то последние рассматриваются как совокупность элементов системы, выполняющей функции по очистке воды [8, 9]. Число фильтров и их объемы назначаются с учетом нормативных условий по подаче воды  $Q_{рас}$  потребителю.

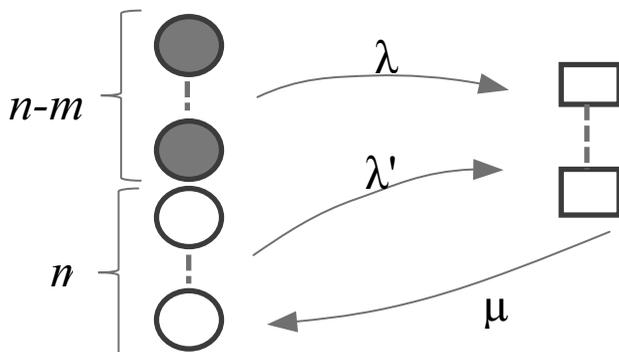
Расчетная подача воды на очистные сооружения для ее фильтрации на скорых фильтрах определяется по условию [4]:

$$Q_{рас} = \alpha \cdot \frac{S_{сут}^{max}}{T_{ст}}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий долю расхода воды на собственные нужды очистных сооружений;  $S_{сут}^{max} \equiv Q_{сут}^{max}$  – количество воды, которое

подается потребителям системой водоснабжения в максимальные сутки,  $\text{м}^3$ ;  $Q_{\text{сут}}^{\text{max}} = K_{\text{сут}}^{\text{max}} \cdot Q_{\text{сут}}^{\text{cp}}$  – расход проектируемой системы водоснабжения в максимальные сутки,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $K_{\text{сут}}^{\text{max}}$  – максимальный коэффициент суточной неравномерности;  $Q_{\text{сут}}^{\text{cp}}$  – расход проектируемой системы водоснабжения в средние сутки,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $T_{\text{ст}}$  – продолжительность работы сооружений в течение суток, ч.

Очевидно, что количество фильтров  $n$  на водопроводной станции должно быть достаточно для обеспечения фильтрации расчетного количества воды, восстановления их работоспособности (выполнения профилактических и капитальных ремонтов) [4, 5, 11], а также обеспечения регламентируемой промывки.



**Рис. 1.** Модель функционирования и восстановления системы фильтров

Рассмотрим систему фильтров, модель функционирования которой имеет схему рис. 1. В системе предусматривается  $(n - m)$  рабочих фильтров (элементов) с интенсивностью отказа  $\lambda' = 1/T_o$ , наработка на отказ или среднее время между ремонтами, ч) и  $m$  резервных фильтров (элементов), которые с интенсивностью  $\lambda = 1/T_u$  (где  $T_u = 8 \div 12$  ч время цикла работы фильтра между промывками, ч) замещают рабочие фильтры при остановке последних на промывку (теплый или скользящий резерв) и с интенсивностью  $\mu = 1/\tau$  (где  $\tau$  – среднее время промывки, ремонта, ч) восстанавливаются. Каждый отказавший фильтр восстанавливается подразделением обслуживающего персонала, состоящим из  $r$  ремонтных единиц. В обязанности ремонтной единицы (бригады рабочих, диспетчеров, инженеров) входит восстановление одного фильтра. При восстановлении железобетонных, металлических конструкций фильтров на водопроводную станцию приглашаются дополнительные специализированные ремонтные единицы. Если на крупной станции количество рабочих фильтров  $(n - m) \geq 20$ , то увеличивается вероятность остановки на ремонт 2, 3 и более фильтров. Очевидно, что на подобных станциях количество ремонтных единиц должно быть  $r \geq 2$  соответственно.

Согласно «Нормам амортизационных отчислений» [6], п. 4.3 ГОСТ 27751-2014 [7] долговечность фильтров систем водоснабжения составляет не менее  $T_{\text{сл}} \geq 50$  лет, где  $T_{\text{сл}}$  – срок службы. Водопроводные фильтры относятся к ремонтируемым объектам, интенсивность отказов которых за весь гарантируемый срок службы постоянна. Следовательно, можно допустить, что за время  $\Delta T = 24$  ч на интервале  $\Delta T_{\text{сл}} = 0 \div 50$  лет износ фильтров будет незначительный, потоки событий остановок на промывку и восстановления пропускной способности фильтров будут простейшими (обладать свойствами стационарных пуассоновских потоков), наработка на отказ железобетонных конструкций, трубопроводов большого сопротивления каждого фильтра будет стремиться к  $T_0 \rightarrow \infty$  (по условию стационарности потока отказов и восстановления). При этом существует вероятность того, что один фильтр находится на текущем или капитальном ремонте в течение  $\tau > 24$  часов, и восстанавливается специализированной бригадой (отдельно выделенной из штата станции, либо приглашенной по договору). Если все ремонтные единицы в системе заняты, то поступающие на восстановление фильтры становятся в очередь. При отказе рабочего фильтра на его место мгновенно становится резервный фильтр, интенсивность перехода которого из состояния промывки в рабочий режим меняется с  $\lambda$  на  $\lambda'$ . Отказ системы наступит в том случае, если число неисправных элементов в ней будет  $m+1$  (при отказе всех резервных и хотя бы одного рабочего фильтра). Допуская, что поток отказов водопроводных фильтров подчиняются закону Пуассона, вероятность безотказной работы системы фильтров за время промывки одного из них легко оценить по формуле [10]:

$$P(m+c-1 \leq \tau) = 1 - 0,148 \frac{(z \cdot \lambda \cdot \tau)^\alpha}{\alpha!}.$$

Например, при  $\lambda = 0,125 \text{ ч}^{-1}$ ,  $\tau = 0,3 \text{ ч}$ ,  $z = 10$ ,  $a = 2$  (где  $\alpha$  – число остановок на промывку,  $c$  – число возможных событий,  $m+c-1$  – условие отказа  $z$  фильтров),  $P(m+c-1 \leq \tau) = 0,99$ .

Параметры  $m$ ,  $\lambda'$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$  сравнительно просто оценить по правилам, изложенным в [4, 6, 8, 9] и методическим указаниям, которые утверждаются комитетом стандартов, например [12].

На данном этапе оценки параметров системы фильтров, рассмотрим формулу расчета площади фильтров  $F_\phi$ , которая ранее приводилась в СНиП [10].

$$F_\phi = \frac{Q}{(T_{\text{ст}} \cdot \vartheta_{\text{н}} - n_{\text{пр}} \cdot q_{\text{пр}} - n_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot \vartheta_{\text{н}})}, \quad (2)$$

где  $Q$  – полезная производительность станции,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $T_{\text{ст}}$  – продолжительность работы станции в течение суток, ч;  $\vartheta_{\text{н}}$  – расчетная скорость фильтро-

вания при нормальном режиме, м<sup>3</sup>/ч;  $n_{пр}$  – число промывок одного фильтра в сутки;  $q_{пр}$  – удельный расход воды на промывку одного фильтра, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;  $\tau_{пр}$  – время простоя фильтра в связи с промывкой, для водной - 0,33 ч, для водо-воздушной - 0,5 ч.

Если в формулу (2) ввести единицы измерения для каждого расчетного параметра, то можно убедиться, что результат оценки площади фильтров будет измеряться не в «м<sup>2</sup>», а в «м<sup>2</sup>/сут»:

$$F_{\phi} = \frac{\text{м}^3 / \text{сут}}{\text{ч} \cdot \text{м} / \text{ч} - \text{м}^3 / \text{м}^2 - \text{ч} \cdot \text{м} / \text{ч}} = \frac{\text{м}^3 / \text{сут}}{\text{м} - \text{м} - \text{м}} = \frac{\text{м}^2}{\text{сут}}. \quad (3)$$

Очевидно, что модель (2) не отражает реальный процесс функционирования системы фильтров. Не могут фильтры с заданными условиями функционирования, с параметрами отказов  $\lambda'$ , связанными с текущими и капитальными ремонтами, с параметрами отказов  $\lambda$ , связанными с отключением на промывку, одновременно фильтровать воду и промываться. Существует очередность и объективные технологические закономерности: в режиме работы одни фильтруют воду, а в режиме резерва другие восстанавливаются (промываются, ремонтируются). Нельзя выполнять инженерные расчеты объектов, пренебрегая фундаментальными законами теории надежности [8, 11].

Если оценивается процесс фильтрования воды, то площадь фильтров для обеспечения нормальной работы системы должна рассчитываться по формуле:

$$F_{\phi} = \frac{Q_{рас}}{g_H}, \quad (4)$$

а количество рабочих фильтров по формуле

$$z = \frac{F_{\phi}}{f_{\phi}}, \quad (5)$$

где  $z = n - m$ ;  $n$  – общее количество фильтров в системе;  $m$  – количество резервных фильтров;  $f_{\phi}$  – площадь одного фильтра, м<sup>2</sup>.

Количество резервных фильтров, необходимых для обеспечения безотказной работы системы, можно определить по единым правилам, которые используются в технике для обеспечения уровня надежности системы  $P(t)$ , при заданных:  $m, \lambda', \lambda, \mu, r$ .

Например, если в системе количество ремонтных единиц  $r = 1$ , поток отказов фильтров  $x_1, x_2, x_3 \dots x_i$  ординарный (вероятность попадания на участок  $\Delta t$  двух и более событий  $x_i$  пренебрежительно мала), 1 фильтр стоит на капитальном ремонте и восстанавливается специализированной бри-

гадой (специальная бригада, которая выполняет работы по договору), на промывку останавливается последовательно один фильтр из числа  $z$  фильтров, то общее количество фильтров на станции можно принять равным  $n = z + 1 + 1 = z + 2$ .

В том случае, когда количество рабочих фильтров  $z \geq 20$ , например:  $z = 22$  шт.,  $T_{\text{ц}} = 8$  ч, (время цикла работы фильтра),  $\tau = 0,5$  ч (время промывки), время необходимое для промывки рабочих фильтров составит  $t = 0,5 \cdot 22 \cdot 3 = 33$  ч  $> 24$  ч, что указывает на необходимость промывки сразу двух фильтров. При одновременной промывке 2 фильтров:  $t = 0,5 \cdot (22 \cdot 3) / 2 = 16,5$  ч  $< 24$  ч, следовательно, общее количество фильтров на станции составит  $n = 22 + 1 + 2 = 25$  шт.

Аналогично, по этой же причине отменена и формула расчета общей площади  $F_{\text{к.о.}}$  контактных осветлителей. Действительно:

$$F_{\text{к.о.}} = \frac{Q}{[T_{\text{ст}} \cdot \vartheta_{\text{н}} - n_{\text{пр}} \cdot (q_{\text{пр}} + \tau_{\text{пр}} \cdot \vartheta_{\text{н}} + \tau_{\text{ст}} \cdot \vartheta_{\text{н}} / 60)]}, \quad (6)$$

где  $\tau_{\text{ст}}$  – продолжительность сброса первого фильтрата, мин;

$$F_{\text{к.о.}} = \frac{\text{м}^3/\text{сут}}{\text{ч} \cdot \text{м}/\text{ч} \cdot (\text{м}^3 / \text{м}^2 + \text{ч} \cdot \text{м}/\text{ч} + \text{мин} \cdot \text{м}/\text{ч}/60)} = \frac{\text{м}^3/\text{сут}}{\text{м}-\text{м}-\text{м}-\text{м}} = \frac{\text{м}^2}{\text{сут}}. \quad (7)$$

Для сравнения результатов расчета контактных осветлителей по существующей методике и предлагаемой рассмотрим пример.

Дано: производительность станции  $40\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$  I категории системы водоснабжения, при  $K_{\text{сут}}^{\text{max}} = 1,2$ ,  $q_{\text{пр}} = 18 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ,  $\tau_{\text{пр}} = 8$  мин,  $\vartheta_{\text{н}} = 5 \text{ м}/\text{ч}$ ,  $n_{\text{пр}} = 3$ ,  $\tau_{\text{ст}} = 12$  мин.

### *Расчет по существующей методике*

Полезная производительность станции:  $Q_{\text{пол}} = 40000 \cdot 1,2 = 48000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,

$$F_{\text{к.о.}} = \frac{48000}{[24 \cdot 5 - 3(18 + 8 \cdot 5 + 12 \cdot 5) / 60]} = \frac{48000}{114,1} \approx 420,7 \text{ м}^2/\text{сут}.$$

Допустим, что площадь одного контактного осветлителя  $f = 36 \text{ м}^2$ . Тогда общее количество осветлителей составит:  $n = 420,7/36 = 12$  шт.

### *Расчет по предложенной методике*

Полезная производительность станции:

$$Q_{\text{рас}} = 1,03 \cdot 40\,000 \cdot 1,2 = 49440 \text{ м}^3/\text{сут},$$

$$F_{к.о.} = 49440/(24 \cdot 5) = 412 \text{ м}^2.$$

Площадь одного контактного осветлителя  $f = 36 \text{ м}^2$ . Тогда количество рабочих  $z$  осветлителей составит:  $z = 412/36 = 12$  шт.

Количество резервных контактных осветлителей:  $m = 1 + 1 = 2$  шт., где 1 – один осветлитель на случай промывки, другой (1) на случай ремонта.

Общее количество контактных осветлителей:  $n = z + m = 12 + 2 = 14$  шт.

Вывод: выполненный анализ формул и методов расчета, геометрических и количественных параметров очистных сооружений систем водоснабжения, с учетом требований по обеспечению их надежности, позволил обосновать необходимость применения новых формул по оценке площадей, количества скорых фильтров и контактных осветлителей при проектировании водопроводных сооружений.

### Библиографический список

1. Федеральный закон от 27.12.2002 г., № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ с последними изменениями и дополнениями, внесенными Федеральным законом от 07.03.2017 N 31-ФЗ.
3. Федеральный закон РФ от 21 июля 2012 года N 126-ФЗ. «О ратификации Протокола о присоединении Российской Федерации к Марракешскому соглашению об учреждении Всемирной торговой организации от 15 апреля 1994»
4. СП 31 13330-2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М., 2013.
5. МДК 3-02.2001 Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации.
6. Нормы амортизационных отчислений. Министерство экономики РФ. М., 2000.
7. ГОСТ 27751-2014. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. М., 2015.
8. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М., Из-во «Наука», 1965. 521 с.
9. Дерюшев Л.Г. Надежность сооружений систем водоснабжения. – М., МГСУ, 2013. 276 с.
10. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М., 1986.
11. Постановление Правительства РФ «О составе разделов проектной документации и требований к их содержанию» от 16.02.2008 г. №87.
12. МУ 3-69. Методические указания. Методика выбора номенклатуры нормируемых показателей надежности технических устройств. – М., 1970.

# КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В АСПЕКТЕ КИШЕЧНЫХ ИНФЕКЦИОННЫХ МИКРОБНЫХ ПАТОЛОГИЙ И МИКРОБИОТЫ В ЦЕЛОМ

**А.А. Ерхов**, доц., к.т.н., МГРИ-РГГРУ, г. Москва

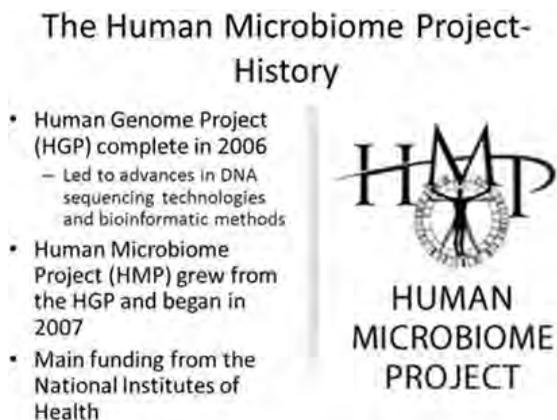
Человеческий организм чрезвычайно восприимчив и зависим от патогенетических факторов внешней среды – водной, воздушной, но главным образом систем органического мира, представленных живыми существами. Борьба с инфекционными заболеваниями, занесёнными внутрь с питьевой водой, основана не только на микробиологических знаниях, но и на биомедицинских и нутрициологических концепциях; если биомедицинские к практической медицине имеют отдалённое, но всё же несомненное отношение, то пробиотический фактор существенным образом определяет устойчивость к болезням, подкрепляет ослабленные иммунные реакции – стабильные условно и редко ощущаемые как соматические, скорее в виде произвольных психологических страданий – от внутреннего дискомфорта до тяжёлой депрессии, с промежуточным бесконечным множеством иных переживаний. Микробный мир: полезных, условно патогенных и болезнетворных микроорганизмов – сложно сочетаем в организме, имея в виду равновесный со смещением в ту или иную сторону процесс: микробиота кишечника определяется заселёнными бактериями – болезнетворными и имманентными – синергичными в организации пищеварения (кишечный микробиом метаболизирует аминокислоты, поли-, моносахариды, распознаёт ксенобиотики), и конкурируя за жизненное пространство и субстрат, предотвращающими развитие патологий, – биологическое равновесие бактериальной флоры сложилось эволюционно, и контроль состояния макроорганизма иммунными механизмами саморегуляции гомеостатических реакций, казалось бы, неизбежно, но на практике легко утрачиваем невидимым образом: в этой незримой борьбе кишечная микрофлора, имея колоссальный метаболический потенциал, реализует множество биохимических процессов, но небескорыстно – на её питание идёт 20 % полезных веществ и 10 энергии, а образовавшие здесь же очаг с диссеминацией вирулентные бактерии, зачастую пребывают с ними в антагонистическом противостоянии, и отбирают для себя те же вещества и энергию. Всего в кишечнике обитает >700 видов микробов в количестве  $10^{14}$  и весом 1-2 кг (рис. 1).

Таким образом, патогенез многих заболеваний обусловлен кишечной микробиотой: артериальная гипертензия (АГ) и атеросклероз, сахарный диабет (СД) и ожирение, аллергические и аутоиммунные, онко- и собственно инфекционные болезни, – онтогенез и обширные исследования клинической и биологической направленности последнего времени указывают и на её роль в заболеваниях печени: продолжительный дисбиоз кишечника – синдром избыточного бактериального роста (СИБР) приводит к неалкогольному стеатогепатиту (НАСГ), нарушению внутри- и внепечёночного

функционала жёлчи в портально-билиарной системе. Клиника и биология со своими подходами к не имеющим обозримого края задачам как всегда приступили к решению общей проблемы, но пальма первенства сегодня за второй. Молекулярно-генетическое секвенирование ДНК позволяет определить не поддающиеся культивированию бактерии, и проект «Микробиом человека» по расшифровке генома бактерий (рис. 2) установил, что бактериальных генов у человека в 360 раз больше, чем собственных, а клеток – 9:1; каталог проекта содержит 700 эталонных микробных геномов. Таким образом, родился новый термин и понятие «суперорганизм» – сообщество человека и населяющих его микроорганизмов для обозначения коллективных геномов микробиоты – по аналогии с введённым выше «макроорганизмом». Микробиом – метод системного анализа в биологии человека.



**Рис. 1.** Распределение и преобладание видов бактерий в различных отделах ЖКТ (Интернет-источник)

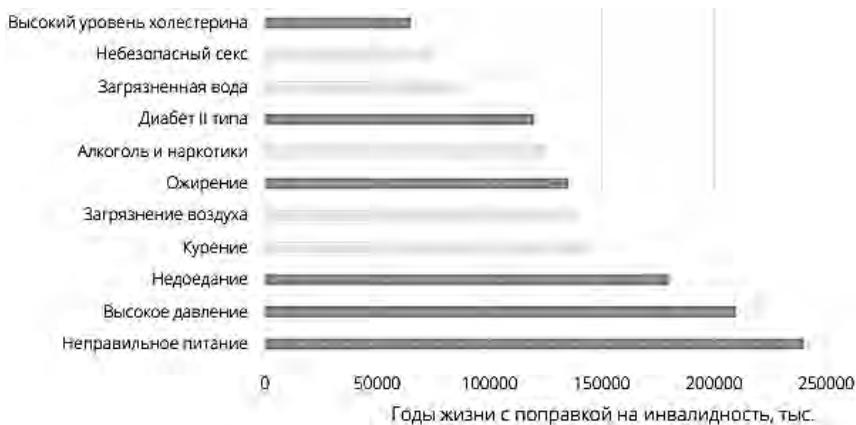


**Рис. 2.** История проекта (Интернет-источник)

Геном бактерий во взаимосвязи в разных вариациях некоторым образом (каким – конечная цель проекта) определяет фенотип, здоровье и заболевания, при этом исходят из известных посылов: микробиом выполняет функции:

а) пищеварения – путём утилизации субстратов, и в этой роли гидролиза и ферментации протеинов, участия в липолизе жиров, сбраживания сахаров и высокомолекулярных углеводов, синтеза незаменимых нутриентов – витаминов и витаминоподобных веществ, гормонов, ферментов, биологически активных соединений;

б) защиты – антагонистическое предупреждение колонизации ЖКТ условно-патогенными и патогенными микробами – за счёт потребления субстрата и выработки бактериоцинов, детоксикации и антионкогенеза, опосредованно антигерато- и антимуутагенеза – за счёт нейтрализации токсических веществ и протекции энтероцитов, органов и систем; иммунитета – лимфоидная ткань слизистой кишечника GALT (gut-associated lymphoid tissue) на 80 % состоит иммунокомпетентных клеток и на 25 % из иммунологически активной ткани, то есть является самой крупной частью иммунной системы человека местного и системного действия; генетической связи с клетками человека – формированием рецепторов и антигенов.



**Рис. 3.** Факторы риска заболеваний от потерянных лет (Disability-Adjusted Life Years, DALY) потенциально здоровой жизни, выраженной линейной суммой лет популяции (Интернет-издание)

Отсюда, проект рассматривает кишечную микрофлору как самостоятельный крупнейший орган с доминированием бактерий множества семейств, родов и классов грамположительных *Firmicutes* (60–80 %, но часто и от 45 %) и грамотрицательных *Bacteroidetes* (15–30 %, но бывает и от 2 %, при этом более стабилен предыдущего типа) – с фенотипическим своеобразием в популяции, определяемым генотипом и принятым образом питания и его загрязнённостью (рис. 3). То есть, мало того, что рацион определяет

соотношение болезнетворных микроорганизмов (мясной – преобладание *Faecalibacterium prausnitzii*, растительный – *Bacteroidetes*), сами по себе пищевые продукты и вода, заражённые болезнетворными бактериями, вирусами, грибами, гельминтами, простейшими, содержащие вредные химические вещества становятся причиной >200 заболеваний разной тяжести – от диареи до онкологии – от которых 600 млн. чел. ежегодно заболевают, а 420 тыс. случаев заканчиваются смертями. И в этом случае, опасность не в категории продукта, а в способах кулинарных приготовлений и качестве обработки (рис. 4). Обработка воды в отношении бактерий имеет особенности, связанные с популяционным своеобразием микробов, чьим ареалом являются природные источники воды, обычно, в той или иной степени, загрязнённые сточной. Опасность несут бактерии разных родов и видов:

а) Дизентерийные бациллы: *Shigella dysenteriae* и *Sh. Paradyserteriae*; *Shigella flexneri*, или бацилла Флекснера (псевдодизентерийная); гастроинтестинальные инфекции, включающие сальмонеллезы и шигеллезы, плохо распознаются – встречаются случаи в лёгкой форме.

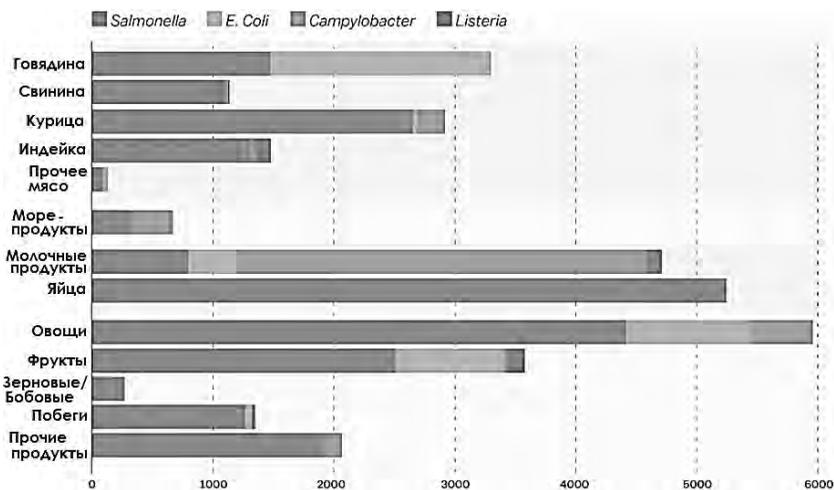


Рис. 4. Сравнительная диаграмма пищевых отравлений при заражении патогенами (Интернет-источник)

б) Бациллы тифозной лихорадки: *Bacillus typhi*, или бациллы Эберта – *Salmonella typhosa*, паратифозные бациллы А и В – соответственно *Salmonella paratyphi* и *S. Schottmulleri*.

в) Бацилла Коха (*Mycobacterium tuberculosis*) вызывает туберкулёз во всех формах – обнаруживается в сточных водах; для её деструкции дозу остаточного хлора следует поддерживать более 1 мг/л в течение 1 ч.

г) Холерный вибрион (*Vibrio cholerae*, или *V. comma*), открытый Кохом, представляет микроскопическую изогнутую палочку, имеющую жгутик для перемещений; *V. proteus* (детская холера и домашняя холера) аналогичен холерному вибриону.

д) *Leptospira* (или *Spirochaeta*), *ictaroahaemorrhagiae*, вызывающая геморрагическую желтуху – широко распространённое заболевание.

е) *Proteus morgani* вызывает летнюю диарею, особенно в детском возрасте.

ж) *Pmteus vulgaris* вызывает диарею, катаральное воспаление ЖКТ (сходный с тифозной лихорадкой) и множество других болезней.

з) *Escherichia Coli* – колибациллез.

и) *Bacillus pyocyaneus* (*Pseudomonas aeruginosa*) – часто находят в сточной воде; связана с абсцессами, гнойными ранами.

к) *Pasteurella tularensis* (*Francisella tularensis*) вызывает туляремию, передаваемую между людьми через укусы кровососущих насекомых, но может распространяться через воду.

л) *Pasteurellae* вызывает геморрагическую септицимию лошадей, свиней, овец, крупного рогатого скота, кроликов, кошек, собак.

Симптомы различны, но есть и общее, и самое коварное: слияние собственной ДНК с таковой человека – мутагенность не болезнь, а этиологический фактор, – если иммунная система не подберёт антитела или не решит проблему апоптозом... Что же касается конкретных перечисленных нозологических форм, вызванных данной бактерией, их врачевание пробиотиками на стадии заражения бесполезно, и с терапией дисбиоза придётся повременить, направив силы на основное заболевание.

И здесь время сделать отступление: кишечник крупнейший орган микробиоты, но не единственный, и как многообразна его микрофлора, также представительна она на всём теле, в предельно упрощённом виде показанном на рис. 5, – но название темы, всё же, кишечные инфекции и микробиом, поэтому внимание к специфическим кишечным бактериям и неспецифическим болезнетворным, попавшим в ЖКТ с питьевой водой, неслучайно, и не случайно, в первую очередь, в соответствии с их значением в развитии болезней, далёких, как казалось ранее, от инфекционных: АГ, СД и т.д.

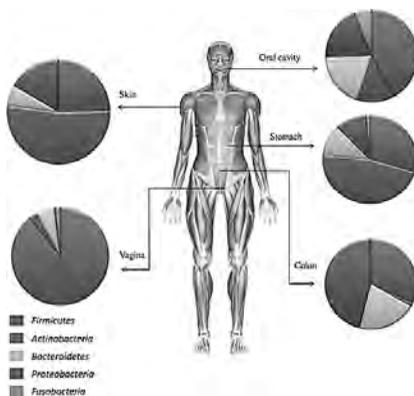


Рис. 5. Упрощенная схема распределения микробиома (Интернет-источник)

Однако чистый интерес к насущной проблеме упёрся, как было выше замечено, в проблему определения: культивированию на питательных средах поддаются не больше 20 % видов кишечных бактерий, поэтому в последнее время (1996 г.) разработан и внедрён новый метод идентификации – пиросеквенирование, основанный на детекции пирофосфата нуклеотида.

Таким образом, заболевания ассоциированы с кишечной микрофлорой, – широко распространённые, то есть социально-значимые, или ошибки пищевого поведения характеризуются следующими признаками:

а) наследственное ожирение – снижена доля *Bacteroidetes*, повышена *Firmicutes* (рис. 6), – микрофлора участвует в синтезе и разложении липидов;

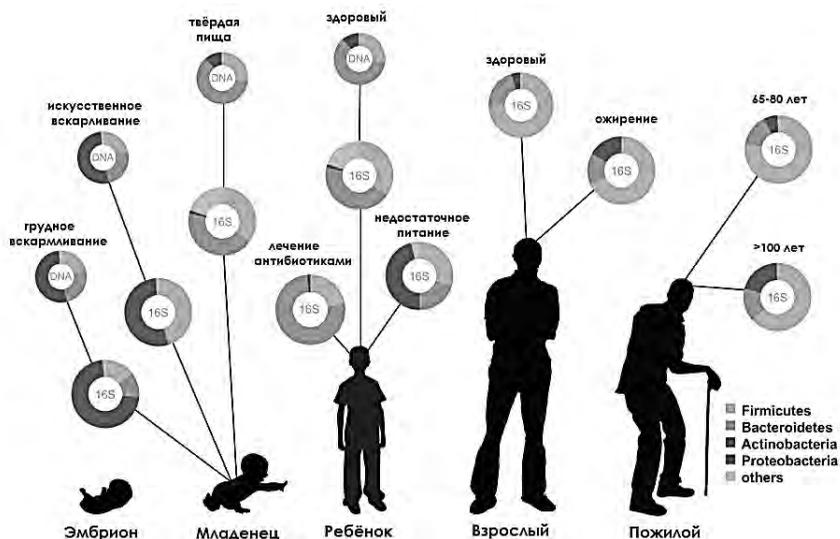


Рис. 6. Последовательное изменение состава кишечной микробиоты в зависимости от привходящих факторов (Интернет-источник)

б) метаболический синдром – тоже самое – увеличивается соотношение *Firmicutes/Bacteroidetes*.

в) атеросклероз – низкое содержание *Bacteroidetes* предрасполагает его развитие, причём в ранние сроки;

г) неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) увеличение *Bacteroidetes* и уменьшение *Firmicutes* и *Actinobacteria*, – микрофлора вовлечена в метаболизм холина и транспорт липидов из печени;

д) СД – высокое содержание *Bacteroidetes*;

е) воспалительное заболевание кишечника (ВЗК) – уменьшение и *Firmicutes*, и *Bacteroidetes*; за счёт увеличения *E. Coli*;

ж) СИБР – в целом оксидативный стресс и активация системного воспалительного ответа;

з) избыточное белковое питание – рост гнилостной, углеводное – бродильной микрофлоры;

и) антибактериальные препараты – смена микроокружения человеческой популяции, исчезновение устойчивого бактериального микробиоценоза, и замена его вирусным и грибковым инфекционным окружением – с невосприимчивостью к антибактериальным препаратам;

к) и т.д.

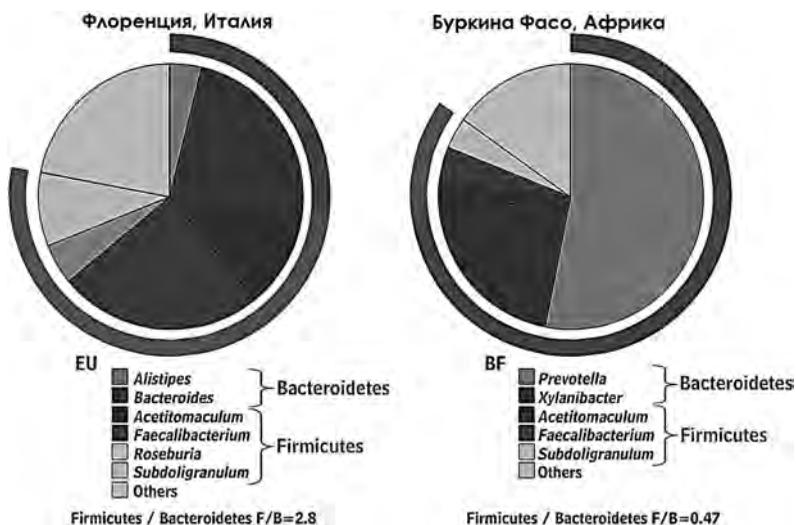
Главная особенность этих основных типов бактерий:

а) *Bacteroides* активен в отношении углеводов, участвует в выработке витаминов С, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, Н, обеспечивает защиту от системного и локального воспаления.

а) *Firmicutes* представлен как типичными – нормальными представителями, так и патогенами; к первым относятся, например, молочнокислые, содержащиеся в квашеной растительной пище или сброженных молочных продуктах, поэтому является важнейшим конкурентом патогенов.

Помимо основных представителей – бактероидов и фирмикутов в меньших пропорциях в кишечной микробиоте представлены *Actinobacteria*, *Cyanobacteria* 30, *Fusobacteria*, *Proteobacteria* и *Verrucomicrobia*; присутствуют археи, в основном – рода *Methanobrevibacter*.

Из рис. 6 видно, колонизация кишечника начинается после рождения, и с 1,5 до 2-3 лет микробиота взрослеет и окончательно формируется, мало затем меняясь в течении жизни: 60-70 % по составу неизменна, где бы индивид ни жил, каким бы здоровьем ни обладал, – от географии меняются только соотношения и виды (рис. 7).



**Рис. 7.** Преобладание видов на разных континентах в различных культурно-этнографических группах (Интернет-источник)

Прозаически звучит, но качественное по нутриентному составу, наличию пробиотиков, энергетически сбалансированное, метаболически приемлемое питание определяется пищевым поведением – умением на макроуровне управлять процессом обмена веществ и энергии, связанным с воспитанием и просвещённостью (активным поиском информации) конкретного индивида как личности, и с учётом генетической предрасположенности предопределяет сохранность физиологических функций в приемлемых и желаемых временных рамках, снимая, тем самым, тяжесть нездоровья с плеч пациента и бремя непосильных трат со здравоохранения. Но что от индивида как потребителя не зависит – чистота воды в кране, при этом потребитель не может даже контролировать ни соответствие нормам, ни уровень загрязнённости, всецело полагаясь на добрую волю организационно выстроенного, профессионально подготовленного, технически вооружённого и социально-компетентного коммунального предприятия системы ЖКХ, – но предприятия осуществляют распределение воды на больших площадях, обслуживая потребителей на значительных удалениях от источников и водопроводных станций, поэтому случаи явного или неустановленного заражения, связанные с состоянием сетей, могут достоверность статистики грубо исказить, но, зато, никогда не скажутся на статистике по эпидемиологии, инвалидности и смерти (рис. 8). В связи с этим, к вопросу потребления питьевой воды необходимо подходить, как и к рациональному питанию, здраво, но без крайностей.



**Рис. 8.** Процент передачи инфекционных патогенов через питьевую воду в промышленно развитых странах (Интернет-источник)

## Библиографический список

1. Ерхов А.А. Минеральная вода для гериатрии и в геронтологии // Ученые заметки ТОГУ, 2014, Том 5, № 4, – С. 1283-1298.
2. Ерхов А.А., Лобанова В.А. Направления исследований влияния длительного потребления питьевой водопроводной воды на физиологический и иммунный статус человека // XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», 8-10 апреля 2015 г. МГРИ-РГГРУ. Т. 2. – М. 2015. – С. 237.
3. Ерхов А.А. Механизм синергизма бактерий и водорослей в биопрудах // VIII Международная научная конференция «Молодые – наукам о Земле» 5-7 апреля 2016 г. МГРИ-РГГРУ – М. 2016. – С. 336-338.
4. Ерхов А.А. Организационно-методические основы технологии обеззараживания хлором в процессе водоподготовки // XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», 5–7 апреля, 2017 г. – Т. 2. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2017. – 172-173 с.
5. Ерхов А.А. Обеззараживание воды на крупных водопроводных станциях // XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», 5–7 апреля, 2017 г. – Т. 2. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2017. – 190-191 с.
6. Ерхов А.А., Королёва Е.А. Оптимизация доочистки в биопрудах // Дни студенческой науки: сб. докл. научно-технической конф. Москва, 12–16 марта 2018 г. М.: МИСИ–МГСУ, 2018. – С. 81-83.
7. Ерхов А.А., Королёва Е.А., Фрог Б.Н. Видоизменение микробиологического состава активного ила в процессе стабилизации // «Яковлевские чтения». XIII научно-техническая конференция. Сборник докладов. Москва. 15 марта 2018 г. Изд-во АСВ. – С. 35-44.
8. Дерюшев Л.Г., Фрог Б.Н., Ерхов А.А. О показателях качества воды // «Яковлевские чтения». XIII научно-техническая конференция. Сборник докладов. Москва. 15 марта 2018 г. Изд-во АСВ. – С. 30-34.
9. Ерхов А.А., Королёва Е.А., Фрог Б.Н. Кинетики ферментативных реакций и изменения сообщества микроорганизмов в условиях стабилизации активного ила // Учёные заметки ТОГУ, 2018, том 9, № 1, - С. 529-534.

# СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ БИОПРУДОВ

**А.А. Ерхов**, доц., к.т.н., МГРИ-РГГРУ, г. Москва; **Е.А. Королёва**, препод., к.т.н., НИУ МГСУ, г. Москва

## 1. Понятие системы комплексной очистки

В ходе хозяйственной деятельности основной урон природе наносят сбросы использованных вод, отсюда проблема её сохранения требует значительных капиталовложений в строительство и эксплуатацию очистных сооружений (ОС), поскольку именно от них зависит обеспечение нормативных показателей сточной жидкости (контролируемых службой санитарно-эпидемиологического надзора). Существующие сооружения аэробной биологической очистки традиционно включают последовательно расположенные по ходу технологического процесса первичные отстойники, аэротенки и вторичные отстойники, и многолетний анализ их работы говорит, что аэробная биологическая очистка активным илом (АИ) обеспечивает почти полное разложение органических примесей, которые в основном и содержатся в бытовых и промышленных сточных водах (СВ), – комплексная очистка представляет сочетание различных по природе технологических процессов, в ходе выполнения которых сперва на участке механической очистки удаляются взвешенные дисперсно-коллоидные частицы, затем в аэротенках происходит биохимическое окисление растворённых органических загрязнений (ОЗ) микроорганизмами АИ и в конце на биофильтрах или в биологических прудах (биопрудах) следует доочистка оставшихся органических и минеральных примесей (табл. 1); из всех возможных методов доочистки после станции аэрации для достижения максимальной эффективности процесса целесообразно применять именно биопруды с согласованным с ОС режимом работы. Анализ работы таких комплексов показывает, что каждое сооружение, как элемент, имеет самостоятельное функциональное назначение, но от эффективности его работы в системе зависит результат очистки в целом, – и целое, проявляющееся в синергии элементов системы, определено оптимальным согласованием режимов работы в общей технологической схеме, так как между параметрами отдельных функциональных узлов существует непосредственная взаимосвязь и взаимовлияние; действительно, качество осветления в первичных отстойниках количественно влияет на эффективность и надёжность в аэротенках, параметры биохимического окисления в которых определяют качество дифференцировки смеси СВ и АИ во вторичных отстойниках, и от эффективности осаждения АИ в которых зависит концентрация рециркулируемой и работающей биомассы микроорганизмов, то есть окислительная мощность аэротенков, – и процесс очистки не завершается сбросом, поскольку требует дополнительных процедур для приведения показателей в соответствие с требованиями СанПиН 2.1.5.980-00, и поэтому при анализе эффективности работы системы комплексной очистки следует учитывать

корреляционную зависимость составляющих функциональных звеньев «вход – механическая очистка – аэробная биологическая очистка – доочистка – обеззараживание – сброс». Многолетний опыт также свидетельствует об общих неудовлетворительных физико-химических и санитарно-эпидемиологических показателях сбрасываемых вод из-за необходимо высокой скорости процесса очистки, что отражается на состоянии водных ресурсов и пагубно для здоровья животных и людей, – поэтому, наряду с очисткой в аэрационных сооружениях необходимо дополнительно доводить сток до разрешённых показателей в открытых водоёмах – биопрудах – являющихся надёжным дешёвым способом глубокой биологической переработки: биопруд – естественная биологическая система самоочищения с естественным источником энергии в виде солнечной радиации, с обильно растущими планктонными водорослями – агентом самоочищения: фотосинтезная аэрация доставляет  $O_2$  для бактериального окисления нестабильных органических веществ (ОВ) – в дополнение к  $O_2$  воздуха, перемешивание воды с которым в естественных условиях не предусматривается. Помимо биопрудов станции аэрации хорошо сочетаются с полями орошения и прудами рыбохозяйственного назначения, – всё это добавляет проблемные ситуации относительно условий обеспечения максимальной эффективности и технико-экономической обоснованности очистки, и решение этих проблем требует более глубоких исследований в биологии и медицине, гидрологии и химии, системной инженерии и промышленности в целом. Сочетание искусственных и естественных методов приводит к созданию оптимальных систем, то есть позволяет оптимизировать задачу вычисления целевой функции эффективной очистки.

Таблица 1

**Сравнительная окислительная мощность объектов при основных температурных режимах, г/(м<sup>3</sup>сут)**

<i>Сооружение</i>	<i>Мезофильный</i>	<i>Термофильный</i>
Аэротенки	1000	2000
Биофильтры	1000	1500
Биопруды	10-15	15-30

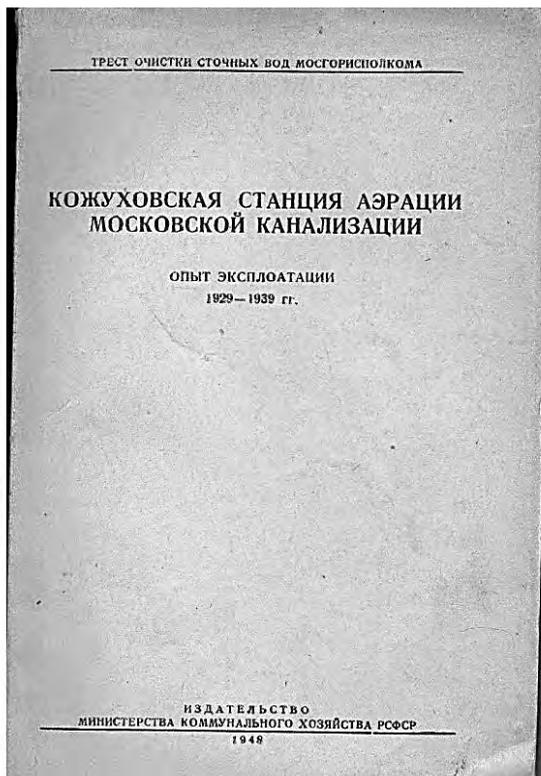
## 2. Историко-географический опыт

Биопруды наиболее распространены на территории США, где используются для очистки стоков небольших населённых пунктов, – вначале для накопления осветлённых СВ с последующим спуском в накопительные лагуны малой проточности (рис. 1). Биопруды королевства Канады с её резко континентальным климатом во внутренней материковой части также имеют большой период задержки воды и, соответственно, небольшие нагрузки на единицу площади зеркала. Действительно, здесь важно, что биопруды успешно практикуют не только в странах с тёплым климатом и не-

замерзающими водоёмами, но и в суровых условиях как, например, Канады вплоть до Аляски, где накопленные за зиму воды в месячный срок после таяния проходят полную очистку благодаря интенсивному росту фитопланктона в условиях полярного лета, – именно это последнее обстоятельство круглосуточного фотосинтеза даёт постоянно высокое содержание  $O_2$ , большее, чем в прудах южных широт с их суточными колебаниями фотосинтезного процесса. Большое внимание развитию биопрудов уделяют Бразилия, ЮАР, Зимбабве, Израиль, где после окончания процесса вода идёт на орошение, а водоросли – на корм в животноводство и птицеводство. Применяют биопруды и в европейских странах, хотя и в меньших количествах. На Люблинских полях орошения, действовавших с 1898 г., с самого начала велись масштабные исследования возможности эффективной очистки в проточных каскадных прудах (четвёртый и последующий оказались пригодными для выращивания рыбы), – с тех пор ведутся и исследования условий и эффективности самоочищения в одиночных непроточных прудах; и на Кожуховской станции аэрофилтрации производительностью 37 тыс. м<sup>3</sup>/сут, работавшей с 1929 г., впервые была применена комплексная очистка в аэротенках, на биофильтрах и биопрудах (рис. 2). В настоящее время в разных странах по биопрудам написано много работ с констатацией факта высокого эффекта очистки – по показателям качества биопруды дают лучшие результаты, чем традиционные способы биологической доочистки на биофильтрах, в воде после биопрудов меньше нематод, чем после тех же биофильтров, и поэтому обработку в биопрудах можно рассматривать как метод дегельминтизации, – также показано отсутствие опасности выплода в биопрудах комаров (если не происходит зарастание поверхности водной растительностью). Библиографические источники также говорят, что биопруды могут применяться во всех климатических зонах в практике очистки различных видов СВ, даже очистки стоков промпредприятий – в основном агропромышленного комплекса – на тех же принципах, что и бытовых СВ, но с учётом, что не только в разных климатических, а и производственных условиях характеристики (конструкции) биопрудов и правила эксплуатации различны.



Рис. 1. Биопруды с организованным выпасом. Монтгомери, Алабама



**Рис. 2.** Опыт эксплуатации станции

### 3. Условия формирования биотических факторов

Биопруды, как естественные ОС, принимают сток непрерывно, а вот сквозной поверхностный отток по проточной схеме не всегда имеет место, и бессточный режим обеспечивается убыванием за счёт естественной фильтрации и испарения, и характер биотического круговорота (рис. 3), зависящий от соотношения нагрузки  $R$ , глубины пруда  $h$  и времени пребывания воды  $t$ , позволяет классифицировать биопруды по этому критерию на три типа: анаэробные, факультативно аэробные и аэробные в строгом смысле, – то есть характеризуется порядком получения микроорганизмами энергии в отсутствии или при наличии  $O_2$ , что в конечном счёте и определяет механизм питания и очистки: 1) Анаэробные условия (рис. 4) возникают и поддерживаются при высоких  $R$  по БПК на единицу площади  $S$  пруда за  $t$ , и очевидно, что  $R$  на  $S$  возрастает при увеличении  $h$  и снижении  $t$ ; анаэробные пруды представляют лишь один из элементов системы, поскольку очистка в них осуществляется отчасти – это первый, относительно малый по  $S$ , а, следовательно, высоконагруженный пруд в ряду последова-

тельно сопряжённых; недостаток их – запах и, следовательно, удалённое размещение от населенных пунктов, а также отсутствие научного обоснования применения высоконагруженного пруда в голове ОС для управления эффективностью системы. 2) Факультативно аэробному типу отвечают подавляющее большинство действующих биопрудов, – в них аэробные и анаэробные процессы сменяют друг друга во времени – суточном и сезонном – и пространстве – по глубине: вода биологических прудов из-за фитопланктона малопрозрачна, фотосинтезное выделение  $O_2$  идёт только в поверхностных слоях до глубины 0,2-0,4 м, пока хватает освещённости, и в результате в поверхностных слоях происходит перенасыщение  $O_2$ : среднесуточное насыщение превышает 100 %, и атмосферная аэрация невозможна, в придонных же слоях  $O_2$  нет, и идут анаэробные процессы; суточные колебания  $O_2$  закономерны и отчётливо выражены: ночью при малой концентрации устанавливаются анаэробные условия, особенно в начальный период развития фитопланктона, – то же с температурными: низкие температуры зимой не останавливают развитие фитопланктона и фотосинтезную аэрацию, но процессы окисления и самоочищения замедляются: из-за слабого освещения фотосинтез мало зависит от температуры, баланс потребления и выделения  $O_2$  сдвигается в сторону высокого насыщения  $O_2$  и преобладания автотрофных процессов над гетеротрофными, кроме того, вследствие прозрачности льда замерзание не ведёт к прекращению развития фитопланктона, и фотосинтезная аэрация продолжается, а отсутствие перемешивания и ослабление света создают аэробные условия в тонком подледном слое с анаэробными в остальной части, – в результате происходит снижение общего БПК на 30-50%; однако из-за накопления сероводорода, органических кислот и других продуктов анаэробного распада после весеннего вскрытия, длящегося 2-6 недель, от воды идёт сильный запах, из-за чего их и располагают в удалении от населённых пунктов, и всё же положительной гигиенической стороной разделения сфер действия бактерий и водорослей в придонных и верхних слоях является то, что даже в заиленных прудах с выраженными анаэробными процессами в придонной зоне в воздух атмосферы блокируется выделение неприятных запахов, поскольку газообразные продукты анаэробного распада осадка окисляются в верхней зоне, насыщенной  $O_2$ ; факультативно аэробные пруды удовлетворительно очищают стоки, просты и удобны в эксплуатации, в то же время вертикальное расслоение воды на аэробную и анаэробную зоны ограничивают  $R$  на  $S$  и не позволяют добиться максимального эффекта. 3) Поэтому интенсификация искусственным перемешиванием и аэрацией устраняет запах и увеличивает  $R$  в 2,7-3,5 раза, одновременно лишая биопруды основного достоинства – простоты сооружения и эксплуатации, и приближает их к индустриальным системам со своими критериями оценки; в заполняемых прудах аэробные условия возникают благодаря массовому развитию планктонных водорослей – протококковых и зелёных жгутиковых – освобождающих в процессе фотосинтеза  $O_2$ . Таким образом, основной агент доочистки в биопрудах – водоросли.

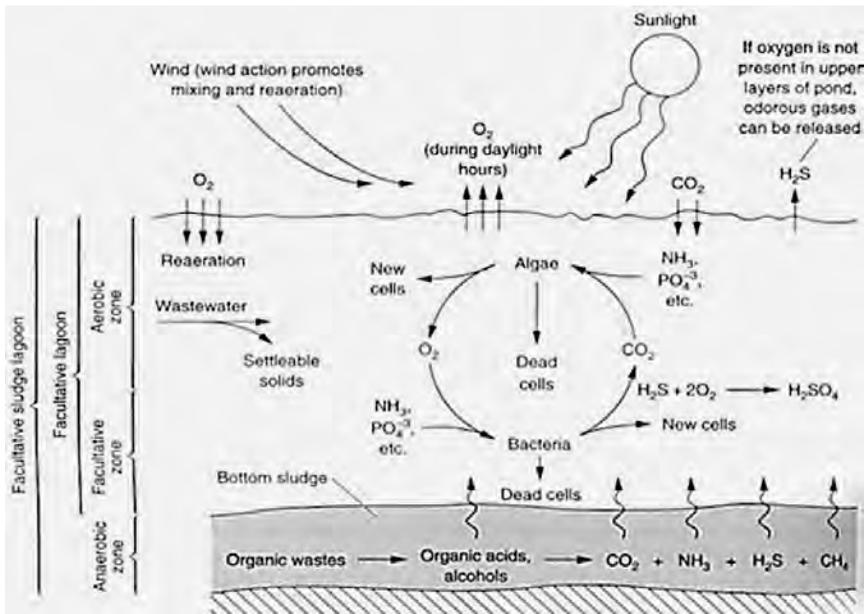


Рис. 3. Схема органического окисления в биопруде (Tchobanoglous and Schroeder, 1987)

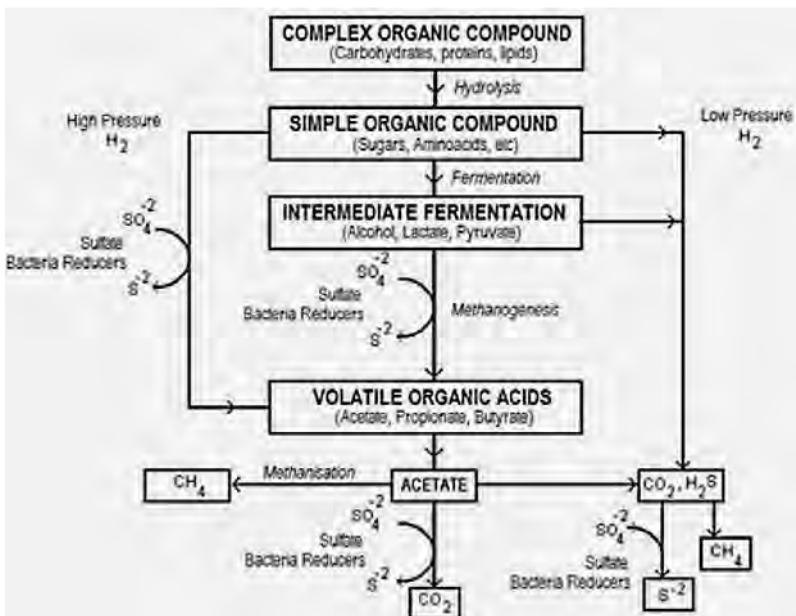


Рис. 4. Схема метаболического процесса при анаэробном усвоении (Pescord, 1995)

## 4. Характеристика и развитие водорослевых культур

### 4.1. Классификация пресноводных форм малых водоёмов

Развитие водорослей повышает биопродуктивность из-за поступления в среду белков, свободных аминокислот, углеводов соединений, коферментов, жирорастворимых пигментов, макро- и микроэлементов, что в целом и определяет рост гидробионтов, водорослевая масса помимо сельского хозяйства как удобрение и кормовая белковая добавка, применяется в микробиологической промышленности отрасли как стимулятор роста гидролизных дрожжей, в фармацевтической промышленности как сырьё хлорофилл-каротиноидной пасты, в парфюмерной промышленности как основа ароматических веществ и др., идёт разработка методов эффективной добычи  $\text{CH}_4$  и удаления эвтрофицирующих водоёмы N и P. Синезелёные водоросли или Cyanobacteria (2000 г.) описаны обстоятельно – изучена их морфология, систематизированы рода и виды (рис. 5): одноклеточные организмы коккоидного строения, колониальные и многоклеточные нитчатого (трихомного) строения (образуется при делении клеток в одной плоскости при соединении в нити), – представлены 77 видами из 27 родов: наибольшим разнообразием характеризуются роды *Anabaena* – пятнадцать видов, *Aphanocapsa* – восемь, *Aphanizomenon* – семь, *Microcystis* – пять, *Aphanothece* и *Merismopedia* – по четыре, среди массовых синезелёных или Cyanophyta обнаружен один род *Pannus* и десять видов: *Pannus microcystoides*, *Woronichinia karelica*, *Planktolynghya brevicellularis*, *Anabaena curva*, *Aphanizomenon jlexuosum*, *A. yezoense*, *Anabaena mendotae*, *Aphanizomenon elenkinii*, *A. gracile*, *Limnothrix quasiperforata*; только шестнадцать видов синезелёных массово развиты в водоёмах, это: *Microcystis aeruginosa*, *M. wesenbergii*, *Woronichinia naegeliana*, *Limnothrix planctonica*, *Planktothrix agardhii*, *A. lemmermannii*, *Aphanizomenon jlos-aquae*, *A. klebahnii*, – все имеют широкое географическое распространение, и некоторые образуют плотную биомассу в отдельных водоёмах: *Microcystis aeruginosa* – 18,2 г/м<sup>3</sup>, *Aphanizomenon jlos-aquae* – 9,6 г/м<sup>3</sup>, *Planktothrix agardhii* – 3,1 г/м<sup>3</sup>, *Limnothrix planctonica* – 1,4 г/м<sup>3</sup>. Некоторые виды: *Chroococcus minimus*, *Pseudanabaena galeata*, *Phormidium granulatum*, *Oscillatoria limosa*, *Gloeotrichia echinulata*, *Anabaena curva*, *Aphanizomenon gracile*, *Nodularia spumigena* имеют ограниченное распространение, встречаясь в одном или нескольких водоёмах. Зелёные водоросли (*Chlorophyta*) представлены пятьюдесятью пятью видами из двадцати семи родов; наибольшей видовой насыщенностью характеризуются роды *Chlamydomonas* и *Scenedesmus* – по шесть видов, роды *Oocystis*, *Monoraphidium* и *Dictyosphaerium* по четыре, остальные – по одному-трём. Зелёные водоросли, играя наиболее существенную роль в решении рассматриваемой проблемы в летне-осенний период и будучи типичными для мелких водоёмов, являются сопутствующими видами при синезелёных или одновременно синезелёных, диатомовых, желто-зелёных водорослях. Диатомовые или

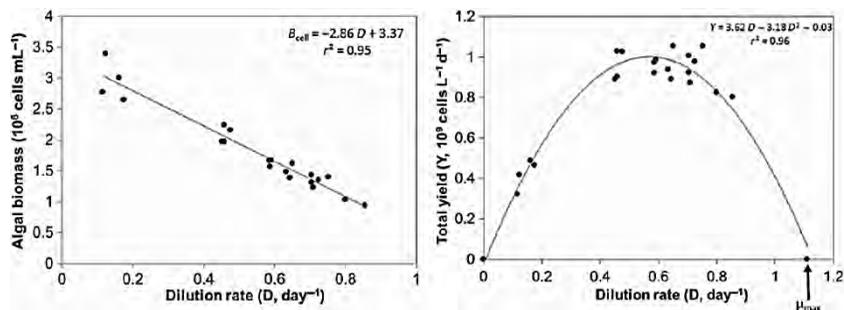
*Bacillariophyta* представлены тридцатью двумя видами из восемнадцати родов; роды *Aulacoseira* и *Chaetoceros* содержат по пять видов, род *Stephanodiscus* – четыре, остальные – по одному-двум; только один вид *Aulacoseira islandica* может сверхмассово развиваться. Их роль особенно велика весной и в меньшей степени осенью, – весеннее развитие – естественный биологический процесс, связанный с их холоднолюбивой природой. Золотистые водоросли или *Chrysophyta* насчитывают тридцать три вида из двенадцати родов; наибольшее число видов имеют роды *Mallomonas*, *Dinobryon* и *Synura* – семь, шесть и пять соответственно, – наиболее распространённый и обильный вид – *Mallomonas acaroides*, менее – *Ochromonas pallida*, *Uroglenopsis americana* и виды рода *Dinobryon* (*D. divergens*, *D. sertulatum*, *D. sociale*). Vegetируют золотистые водоросли с весны до осени. Остальные отделы представлены сравнительно небольшим числом, таксонов: динофитовые или *Dinophyta* – девятью видами из четырёх родов, желтозеленые или *Xanthophyta* – пятью из трёх, криптофитовые или *Cryptophyta* – тремя из двух. Водоросли этих отделов играют сопутствующую роль в весенних и летних развитиях, лишь иногда самостоятельно образуются *Ceratium hirundinella* и *Tribonema affine*.



Рис. 5. Представители цианобактерий [Интернет-ресурс]

## 4.2. Управление развитием водорослей как ключевого фактора доочистки

Основное значение в использовании водорослевых культур для доочистки имеет *оптимизация* роста с выходом продуктивной биомассы (рис. 6). Наиболее эффективным методом подачи  $^{12}\text{C}$  к микроводорослям является барботирование воздуха с повышенным содержанием  $\text{CO}_2$ ; бикарбонатная щёлочность  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  поступающей воды хотя и является дополнительным источником не может обеспечить требуемое его количество для оптимизации развития биомассы из-за образования с выпадением химических осадков, а регулирование pH необходимо не только для оптимизации роста чувствительных к щелочному pH водорослей, но также для устранения условий их вытеснения более жизнестойкими и даже нежелательными видами, то есть непрерывное барботирование обогащенного  $\text{CO}_2$  воздуха в культуральной среде обеспечивает и регулирование pH и производство водорослей; выход водорослей прямо пропорционален поступлению  $^{12}\text{C}$ , то есть интенсивности барботирования и концентрации  $\text{CO}_2$  (если освещённость и иные внешние факторы не являются лимитирующими), – вместе с тем, без применения стабильных химических буферных систем избыток  $\text{CO}_2$  создаёт кислотные и потенциально токсичные условия по pH. Экономически обоснованной является оптимизация выращивания с минимизацией эксплуатационных расходов: определённая стоимость необходимого объёма  $\text{CO}_2$  для крупных микроводорослевых водоёмов – основное препятствие к водорослево-очистным технологиям, поэтому для экономии  $\text{CO}_2$  необходимо ясное и полное понимание комплексных взаимодействий реакций  $\text{CO}_2\text{--HCO}_3^-\text{--CO}_3^{2-}$  и фотосинтезной ассимиляции  $^{12}\text{C}$ .

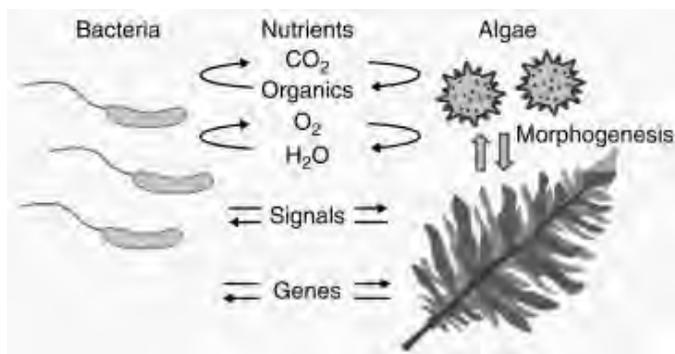


**Рис. 6.** Обратная линейная зависимость биомассы от скорости роста (слева) и скоростей роста биомассы (справа) от разведения клеток водорослей (Droop, 1974)

## 5. Интенсификация самоочистения

На основе сказанного, и с учётом проведённых ранее наблюдений, процессы естественного самоочистения природной среды – биопрудов – можно стимулировать или замедлять, то есть интенсифицировать инженер-

но-техническими и организационно-технологическими приёмами, освоенными на практике и апробированными в условиях реально действующих объектов, однако повсеместного внедрения на обычных рядовых ОС не получившими, несмотря на то, что работа ОС связана с большими затратами электроэнергии, в частности на стадии санитарной обработки, и именно поэтому требующими внедрения способов, минимизирующих затраты на эксплуатацию, – и в этом преимущества надолго будут за биопрудами, особенно при очистки небольших объёмов. В биопрудах в ходе последовательных превращений ОВ образуют клеточное вещество растительных и животных организмов, завершая круговорот биогенных элементов и самоочевидно демонстрируя природные процессы самоочищения, источником энергии которых является солнечная радиация, а результатом – стабильно высокое качество очистки при простых и доступных способах эксплуатации с управлением процессами колебания нагрузки по сезонам, изменения водообмена и учёта параметров прочих характеристик, – при этом в минерализации ОВ используя продукты собственной жизнедеятельности синергично действуют сапрофитные бактерии и одноклеточные водоросли, создавая благоприятную для совместного развития среду – при синергизме бактерий и одноклеточных водорослей создаются условия взаимной интенсификации их жизнедеятельность: бактерии утилизируют выделяемый водорослями в процессе фотосинтеза  $O_2$  – водоросли от бактерий получают  $CO_2$  и продукты минерализации ОВ (рис. 7); в результате идёт интенсивное размножение водорослей и разложение ОВ: в придонных слоях и в донном осадке идут анаэробные процессы, в верхних до глубины просвечивания – фотосинтез с выделением  $O_2$  и образованием ОВ биомассы водорослей; интенсивность деструкции ОВ тормозится продуктами метаболизма, смещающими активную реакцию среды или запускающими процессы угнетения жизнедеятельности – ингибирующими биопроцесс. Рассмотренный симбиоз возможен в начале самоочищения, в конце – сменяется антагонизмом: интенсивное развитие водорослей ускоряет отмирание бактерий, прежде всего патогенных.



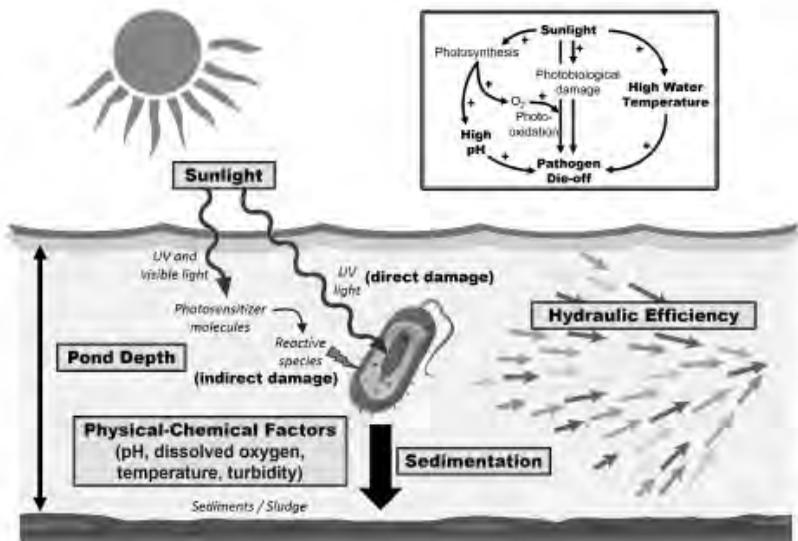
**Рис. 7.** Схема биохимического сотрудничества бактерий и водорослей

## 6. Обеззараживание воды

Итак, при совместном размножении бактерий и одноклеточных водорослей создаются оптимальные условия синергизма, при которых интенсифицируется их жизнедеятельность: бактерии используют  $O_2$ , выделяемый в процессе фотосинтеза водорослями, а последние в свою очередь получают от бактерий  $CO_2$  с другими продуктами минерализации ОВ, то есть одновременно идут процессы биохимического окисления ОЗ бактериями и размножения водорослей, потребляющих продукты минерализации ОВ; минерализация снижает коли-титр. Действительно, санитарным критерием ОС является степень обеззараживания СВ от кишечной микрофлоры, в связи с чем, вместе с физико-химическим анализом в биопрудах контролируется коли-титр: исследования периодически спускаемых прудов говорят о средних значениях 0,001–0,01 мл и редко о 1,0 и выше при постоянной скорости отмирания бактерий летом в следствие высокой интенсивности биохимических процессов, в осенний период коли-титр ниже, зимой – значительно (0,00001 мл), – если *B. coli* в 1 мл 250000, то в летний период снижение составляет 99,99%, в осенний – 99,9%, а зимой – 55%; в тёплый период в процессе самоочистения отмирание бактерий группы кишечной палочки идёт с большей скоростью, и вода имеет более высокий коли-титр, чем зимой. Скорость отмирания кишечной палочки также определяется развитием планктонных водорослей, сопровождаемым высокими значениями рН, например, при рН 8,0–8,4 микробных тел *B. coli* в 1 мл 13000, при 9,0–9,4 – 133, при рН 10 – единицы; хотя взаимосвязь рН с *B. coli* очевидна, но не однозначна, поскольку с ростом рН увеличивается число планктонных водорослей, количество кислорода, водоросли могут оказывать влияние на сроки выживания бактерий из-за специфических веществ типа антибиотиков: высокий рН даёт большой антибиотический эффект, и, кроме того, иногда снижение происходит и при невысоких рН – 9,5–9,0. Сравнение коли-титров последовательно расположенных в каскаде прудов говорит о том, что в бактериальном самоочищении большую роль играет не только первый пруд (как это имеет место в снижении БПК<sub>5</sub>), но также второй и последующие, причём роль последних особенно велика летом (рис. 8); исследования процессов жизнедеятельности бактериально-водорослевой микрофлоры необходимы для разработки и технико-экономического обоснования прогрессивных технологий комплексной обработки хозяйственно-бытовых (ХБ) и промышленных стоков при очистке в аэрационных сооружениях типа аэротенков и доочистке в биопрудах.

## 7. Эпидемиология биопрудов

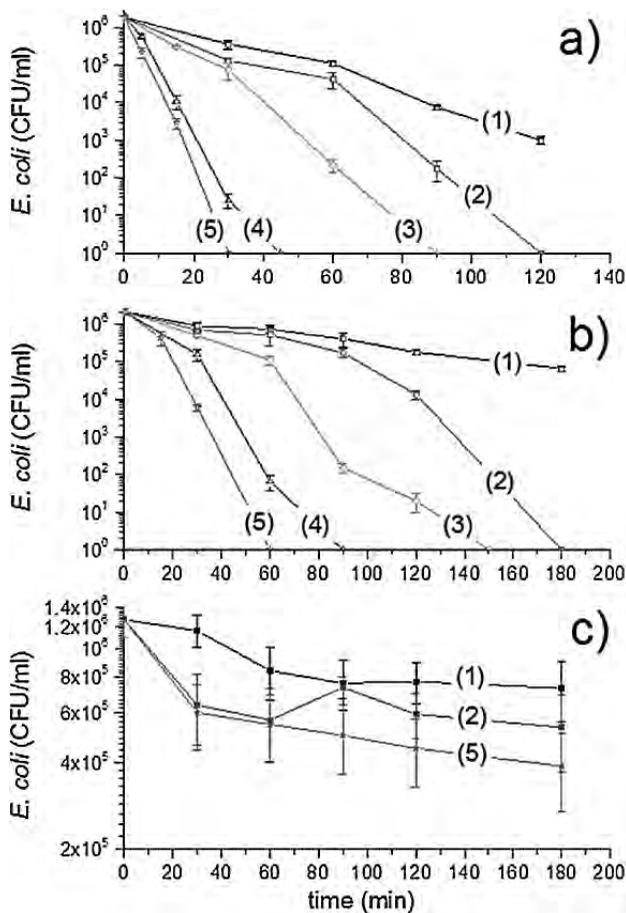
СВ в сравнении с чистой неблагоприятна для сохранения *патогенной* микрофлоры (рис. 9), поэтому время пребывания воды в биопруде определяет – снижает эпидемиологическую угрозу, отсюда незначительные по расходам разрозненные сбросы ХБ стоков даже без должной очистки и



**Рис. 8.** Схема причинно-следственной петли удаления патогенов под действием солнечной радиации (Verbyla, 2018)

обеззараживания не вызывают изменений гидрохимического или гидробиологического режима: сохраняются все внешние признаки чистого водоёма, поэтому опасность не в загрязнении, а в инфицировании, – такие небольшие разрозненные стоки эпидемиологически опаснее крупных водовыпусков, поскольку последние в силу размеров порождают чувство тревоги и потому результаты их воздействия на природную среду так или иначе устраняются, тогда как небольшие зачастую теми же специалистами игнорируются и, таким образом, природный водный фактор приобретает особое значение в борьбе с инфекционными заболеваниями конкретных нозологических форм – вирусным гепатитом, полиомиелитом, распространяемыми пользующимися канализацией заболевшими конечными потребителями, – поскольку количество вирусов в загрязненной воде, не смотря на их большую устойчивость, пропорционально микробам кишечной группы, в течение одной летней недели погибает 99 % вирусов, – летом для устранения угрозы заражения целесообразно развивать сапрофитные микроорганизмы вначале самоочистения и фитопланктонные водоросли в завершении – вода с фитопланктоном эпидемиологически безопасна: снижение патогенных микробов интенсивно идёт вначале с участием сапрофитов, полностью завершаясь в среде с обильно развитым фитопланктоном. Помимо стоков ХБ канализации биопруды можно использовать для доочистки стока предприятий АПК, – с тем только условием, что при БПК<sub>5</sub> ≥ 500 мг/л СВ предварительно нужно разбавлять, имея ввиду, что наилучшие технологические условия окисления – БПК<sub>5</sub> = 200...300 мг/л и поэтому, для очистки

концентрированных в этом отношении промышленных стоков наилучшим вариантом будет зарегулирование русел малых рек с созданием каскада прудов (при этом выпуск воды из каждого пруда осуществляется исключительно из верхних слоёв переливом, донный же выпуск нужен только для спуска воды для ремонта или удаления ила), и с привлечением для освоения территорий других водопользователей: верхние пруды – рекреационные мероприятия спортивно-оздоровительного направления, нижние – рыбохозяйственного назначения, – в других случаях удачным решением при разработке проектов биопрудов и строительной закладки сооружений будут выработанные карьеры, ложбины и пойменные типа стариц водоёмы, прибрежные лагуны.



**Рис. 9.** Иллюстрация инактивации в СВ *E. coli* (КОЕ/мл) в разных условиях опыта: (а) солнечная радиация 90 mWcm<sup>-2</sup>, (b) 400 nm/70 mWcm<sup>-2</sup> и (с) в темноте (Pulgarin, 2017)

## 8. Основы проектирования биопрудов в системе ОС

Бактериальные окислительные процессы энергетически зависимы от солнечной радиации – отсюда качество очистки определяется сезонностью с неблагоприятным зимним периодом, для которого определяющими методами будут отстаивание и дегельминтизация, поэтому с гигиенической точки зрения рационально сочетать биопруды с системами иного назначения: земледельческими полями орошения, полями фильтрации, рыбохозяйственными прудами и даже индустриальными методами очистки, – в системе земледельческих полей биопруды улучшают гигиеническую ситуацию и обеспечивают буферный объём воды в не требующие орошения периоды – посева, уборки урожая, осадков, с полями фильтрации в весенне-летний сезон позволяют использовать часть площади для аграрного производства, с рыбохозяйственными прудами рационально используются кормовые ресурсы биопрудов. В дефицитных в отношении воды районах для исключения сброса ХБ СВ в природные источники и использования на земледельческих полях орошения необходимо, как отмечалось, создавать в естественных понижениях рельефа бессточные пруды-накопители, вмещающие зимний расход СВ, и в вегетационный период тратить как путевой расход, так и аккумулированный за зиму, – бессточные пруды-накопители как дегельминтизаторы надежнее отстойников системы механической очистки: в них дольше стоит вода, эпидемиологически менее опасная пришедшей из канализации; опасность загрязнения подземных вод низка, если дно не закарстовано, не представлено трещиноватыми породами или крупнозернистыми песками – происходит быстрый кольматаж дна и прекращение фильтрации, – при длительной фильтрации, даже при значительном изменении химического состава подземных вод, бактериологические показатели остаются удовлетворительными; сочетание биопрудов с прудами-накопителями и полями орошения позволяет бесперебойно принимать, очищать и использовать СВ в сельском хозяйстве, то есть представляет гибкую систему очистки и утилизации. Как автономные ОС биопруды могут работать только в режиме длительной переработки СВ с расчётным временем задержки воды 30 сут. и дольше, поэтому складывается альтернатива: каскадное размещение или дополнение индустриальными методами, которые, однако, из-за малой задержки СВ и недостаточного времени на отмирание патогенной микрофлоры по причине сложности дезинфекции больших объемов, не всегда безопасны учитывая возможность сбоев работы ОС при ремонте или эксплуатации.

## 9. Примерные ненормативные показатели строительства и эксплуатации

Учитывая разнообразие местных условий биопруды проектируют во множестве вариантов (рис. 10) – на основе инженерных расчётов по данной математической модели объекта очистки и обеззараживания получают  $S$  и  $h$  при заданных  $R$ ,  $t$  и световом потоке  $\Phi$ ; опыт проектирования показывает,

что каждый гектар биопруда способен переработать бытовой сток от 5 тыс. чел.: при  $BPK_5 = 200$  мг/л и  $N = 200$  л.чел./сут.  $BPK_5 = 20$  г на  $S/t = 1,0$  м<sup>2</sup>/сут., то есть  $R = 0,1$  м или при  $h = 1,0$  м  $t = 10$  дн., – для высоконагружаемых биопрудов  $h \leq 1,0 \dots 1,2$  м, иначе резко падает качество очистки; приведенная  $R_{max}$  возможна в благоприятных условиях работы контактных периодически спускаемых биопрудов, однако чаще имеют дело с проточными не соответствующими оптимальным, поэтому, при проектировании и сооружении нужно назначать меньшие нагрузки, а в неблагоприятные сезоны  $R/2$ , и с другой стороны, для увеличения эффекта очистки  $R$  не должна быть чрезмерно низкой, поскольку необходимо поддерживать качественное преобладание фито- над зоопланктоном и процесс фотосинтетической азотации.

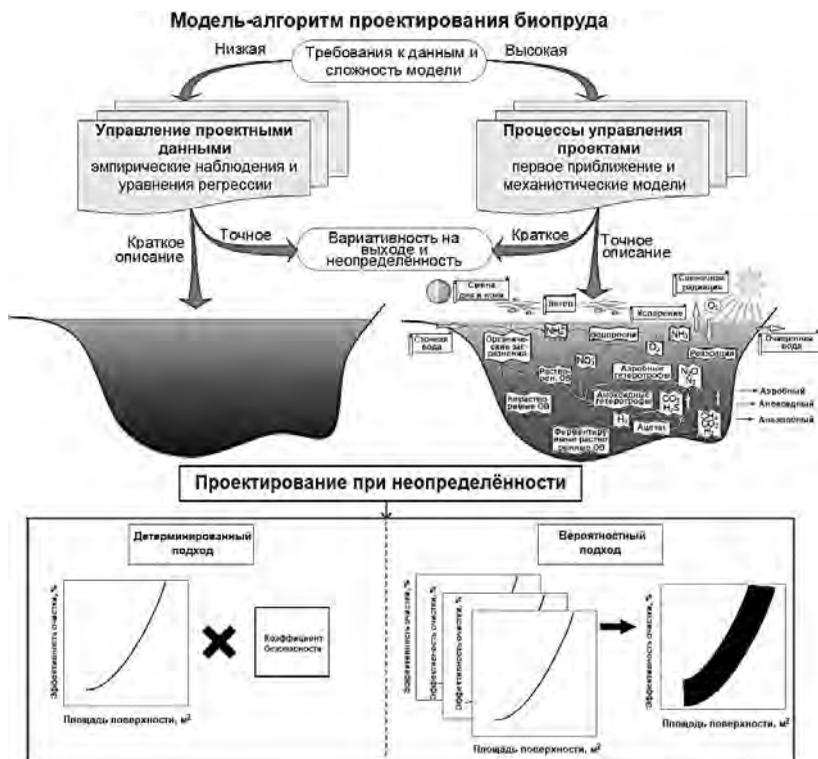


Рис. 10. Алгоритм проектирования биопруда (Long, 2017)

## Выводы

1. Системный анализ для исследования биопрудов с целью их проектирования – безальтернативный путь развития теории и практики очистки сточных вод, изучения основанных на принципах моделирования природ-

ных явлений процессов биопрудов, – при проектировании биопрудов необходимо учитывать всю требуемую совокупность факторов, влияющих на систему, взаимно обуславливающих функционирование её элементов и ведущих к значимым её изменениям, предопределяя конечный результат, – оптимизация ключевых параметров биопруда проходит по целевой функции максимизации эффективности очистки или минимизации её стоимости.

2. В минерализации ОВ при доочистке в биопрудах участвуют почвенные бактерии и одноклеточные водоросли, создающие условия взаимного развития путём употребления продуктов жизнедеятельности друг друга, однако интенсивность окисления ОЗ бактериями ингибируется из-за аккумуляции токсичных продуктов жизнедеятельности, которые либо смещают активную реакцию среды, либо изменяют её свойства в направлении угнетения жизнедеятельности бактерий, в результате наступает ингибирование биологического процесса, поэтому.

3. Дополнение биопрудов другими сооружениями и сочетание их с другими методами позволяет решить множество частных вопросов, возникающих в связи с необходимостью учёта разнофакторных проявлений местных и сезонных условий, предопределяет необходимость их решения, обогащая, тем не менее, теорию новыми фактами, и снимает основной вопрос – очищать воду до требуемых показателей качества, не взирая на отмеченные обстоятельства.

4. При сравнительно небольших расходах на строительство и эксплуатацию биопруды повышают санитарную надёжность всей системы очистных сооружений даже в период интенсивных сбросов.

#### Библиографический список

1. Биганова С.Г. (ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Майкоп), Сухоруких Ю.И. (ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Майкоп), Биганова Е.О. (ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Майкоп). ПРИРОДНЫЕ АНАЛОГИ ИНЖЕНЕРНО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ «Инженерная биология в современном мире». II Международная конференция: Сборник материалов. - Майкоп: Изд-во «Магарин О.Г.», 2013.- 108 с.

2. Штыков В.Н. (ПГУПС, г. С.-Петербург). ИНЖЕНЕРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В ВИДЕ КАСКАДА КАНАЛОВ-БИОПРУДОВ «Инженерная биология в современном мире». II Международная конференция: Сборник материалов. - Майкоп: Изд-во «Магарин О.Г.», 2013.- 108 с.

3. Харькин С.В., Харькина О.В. Реализация технологий удаления азота и фосфора из сточных вод: роль проектирования и эксплуатации // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2014. - № 1 (февраль) С. 4-15

4. Гогина Е. С., Саломеев В. П., Макиша Н. А. Решение вопросов удаления биогенных элементов из сточных вод // Водоснабжение и канализация. 2011. № 6. С. 23–27.

5. Данилович Д.А.Климова Л.А. Инженерные решения при разработке проектов модернизации очистных сооружений системы водоотведения // Проекты развития ин-фраструктуры города» Вып.- 11. 2011 МВКНИИпроект.

6. Пахомов А. Н., Стрельцов С. А., Козлов М. Н. и др. Опыт эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10. С. 35–41.

7. Родионов А.А., Озерова, Л.П. Есин М.А. Ретехнологизация аэротенков для достижения глубокого удаления биогенных элементов: опыт очистных сооружений г. Набережные Челны // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2015. - № 2 (апрель) С. 26-33.

8. Швецов В. Н., Морозова К. М. Расчет сооружений биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 11. С. 42–46.

9. Репин Б. Н., Русина О. Н., Афанасьева А. Ф. Биологические пруды для очистки сточных вод пищевой промышленности. М: Пищевая промышленность, 1999. 207 с.

10. Dawson G. F., Loveridge R. F., Bone D. A. Grop production and sewage treatment using gravel bed hydroponic erridation // Chem. Brit. 1989. 21. №2. P. 57–64.

11. Долженко Л. А., Турянская Н. И. Экологический подход к интенсивности работы прудов доочистки городских сточных вод // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов: материалы Междунар. НПК, Волгоград, 18–20 мая, 1999. Волгоград: Изд-во ВолГАСА, 1999. 384 с.

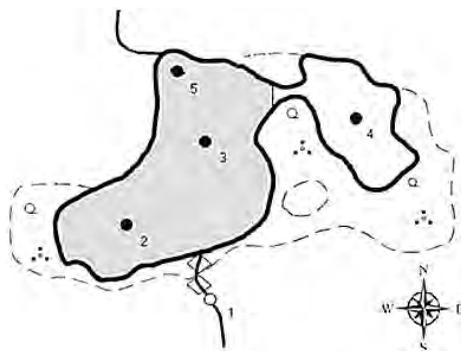
## ЭЛИМИНАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ЩУЧЬЕ

**А.А. Ерхов**, доц., к.т.н., МГРИ-РГГРУ, г. Москва; **Б.Н. Фрог**, зав. кафедрой, проф. д.х.н., МГРИ-РГГРУ, г. Москва

С развитием нефтедобывающей отрасли растёт нагрузка на окружающую среду. Увеличение объёмов нефтедобычи на территории Усинского района Республики Коми ведёт к усилению техногенной нагрузки на экосистемы, в том числе, на водные объекты, – из-за аварийного слива нефти на грунт или в водные объекты неизбежно возникает необходимость очистки донных отложений и зеркала водоёма от нефти путём её извлечения – и это первый и важнейший этап спасения природной среды от деградации. Авария двадцатилетней давности нанесла ущерб рассматриваемому объекту, прежде всего, биологическому разнообразию, и справиться с последствиями затянувшейся трагедии можно только путём практических научно выверенных шагов, при этом наиболее захватывающе выглядят отдалённые последствия – интересно наблюдать процессы самовосстановления после выполненных мероприятий.

Цель работы – исследовать проблему и изучить опыт очистки донных отложений и зеркала оз. Щучье от нефти (рис. 1), включающий отделение природных углеводородов от донных отложений, подъём нефтесодержащей смеси эрлифтным потоком на поверхность, сбор с последующей утилизацией. Задачи:

- 1) изучить процессы нефтяного загрязнения донных отложений водоёма;
- 2) изучить технологию очистки донных отложений от нефтепродуктов, позволяющую существенно улучшить состояние водоёма;
- 3) усовершенствовать расчётные методы создания и подъёма со дна нефтяной взвеси.



**Рис. 1.** Объект исследования – оз. Щучье. Граница участка экспериментально-опытных работ – жирная линия:

- заливка серым – обследование 2014-15 г. (участок 4.1 га);
- область без заливки – обследование 2014-2015 г. (2,16 га)

Научная новизна заключается в определении времени и скорости размыва донных отложений для удаления нефтяного слоя с поверхности грунта.

Методологическая основа исследования – методика «Технологии очистки воды и донных отложений водоёмов и водотоков от нефтепродуктов» НТО «Приборсервис», исследования Тюменского ГУ, работы А.Н. Словягиной.

В ходе оценки загрязнения озера (рис. 2, 3) получены следующие цифры: среднее содержание веществ нефти в донных отложениях 53,3 г/кг (табл. 1), в воде – втекающий в озеро водоток (точка 1 на рис. 1) имеет концентрацию 2,52 мг/дм<sup>3</sup> (на июнь-сентябрь), в точках 2,3,5 – 0,42 мг/дм<sup>3</sup>. Всего содержание нефти на поверхности 28 т, в донных отложениях – 78.



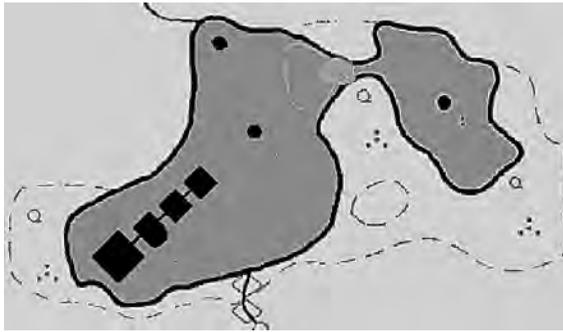
**Рис. 2.** Вид поверхности после аварии

Площадь загрязнения водного объекта определяется по формуле  $S = V/0,003$ , где:  $S_v$  – площадь загрязнения водной поверхности, м<sup>2</sup>;  $S_d$  – площадь загрязнения донных отложений, м<sup>2</sup>;  $V$  – объем нефти, попавшей на водную поверхность, м<sup>3</sup>.

*Таблица 1*

**Содержание нефтепродуктов в донных отложениях (мг/кг)**

<i>Месяц</i>	<i>Точки отбора проб</i>					<i>Средняя в месяц</i>
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
<b>Июнь</b>	11 041	20 207	13 652	1 522	125 980	53 280
<b>Июль</b>	1 328	14 753	20 036	18 115	25 780	20 190
<b>Август</b>	2 080	6 205	9 895	2 180	6 590	7 563
<b>Сентябрь</b>	2 963	2 510	347	2 400	22 310	8 329
<b>Средняя в точке отбора</b>	4 353	10 919	10 983	6 054	45 120	



**Рис. 3.** Размещение устройств удаления нефти с поверхности:



- воды



- донных отложений

Поскольку из всей разлившейся нефти в оз. Щучье попало, как сказано, 106 т, из формулы  $\rho = m/V$  найдём объём нефти на водной поверхности и в донных отложениях. Нефть на месторождении тяжёлая, и для расчётов принято значение  $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ ; после подстановки в (2), получаем:

- водная поверхность

$$V = 28000 \text{ кг} / 890 \text{ кг/м}^3 = 31,46 \text{ м}^3;$$

- донные отложения

$$V = 78000 \text{ кг} / 890 \text{ кг/м}^3 = 87,64 \text{ м}^3.$$

Площадь загрязнения водной поверхности и донных отложений озера соответственно –

$$S_{\text{в}} = 31,46 \text{ м}^3 / 0,003 = 10\,486 \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{д}} = 87,64 \text{ м}^3 / 0,003 = 29\,213 \text{ м}^2.$$

Поскольку каждый литр нефти увеличивает потребность в кислороде, «удаляя» его из каждых 40 000 литров воды, разлившаяся нефть способна лишить  $\text{O}_2$  4 760 000  $\text{м}^3$  воды, что в пятьдесят раз превышает её количество в озере, и это требует экстренных мер защиты, которые и запоздалыми назвать нельзя из-за случайного характера бедствия. Универсальный, быстрый, надёжный и безопасный способ извлечения нефти из воды и донных отложений – гидравлический размыв с последующим механическим сбором механизированным устройством, желателен технологически простым и в эксплуатации лёгким, а именно.

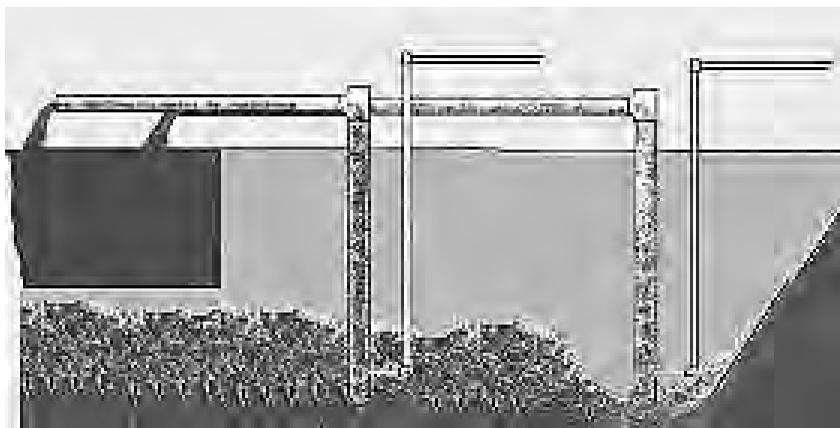
Эрлифт (рис. 4) возносит размывтый под ударом направленной струи слой осевшей и слежавшийся на дне тяжёлой нефти на поверхность в специальную ёмкость с сорбентом. При этом расход выводимой смеси по В.Г. Гейеру связан с расходом подаваемого воздуха  $Q_g$  (м<sup>3</sup>/ч) формулой

$$Q_m = \frac{Q_g}{\left(\frac{2}{\alpha} - 1\right) \left(1 + \frac{\rho gh}{2P_\alpha}\right)}, \quad (1)$$

где:  $\alpha$  – относительное погружения эрлифта (остальные обозначения общепринятые; максимальная глубина озера 12 м), а время размыва (в мин.) можно рассчитать по полученной автором формуле

$$\tau = 10^5 Q_m^{-1,65} \delta, \quad (2)$$

где  $\delta$  – мощность размываемого слоя, см.



**Рис. 4.** Установка для размыва донных отложений методом эрлифта.

Способ сбора с поверхности нефти также универсален – боновыми конструкциями ограждают небольшие участки площади зеркала, и сужая пространство ограждения (рис. 5), затягивают плавающий нефтяной слой в специальную ёмкость (рис. 6).

Сорбционное поглощение собранной нефти осуществляют в приёмных ёмкостях обоих устройств, для этого используют высокоэффективный, технологически результативный и недорогой полимерный сорбент (рис. 7).

После сбора таким образом нефти, она вывозится на захоронение. Результат очистки на примере оз. Щучье представлен в табл. 2.



Рис. 5. Сбор нефти с поверхности (Интернет-источник)

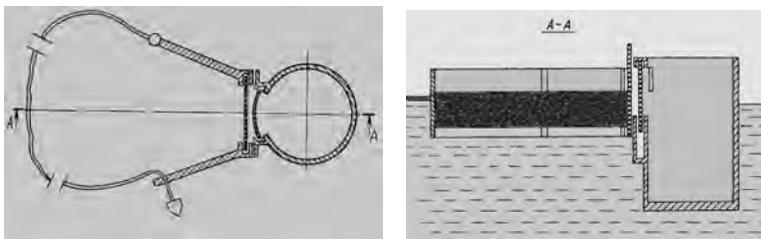


Рис. 6. Конструкционная схема устройства для сбора нефтепродуктов с поверхности зеркала (Интернет-источник)

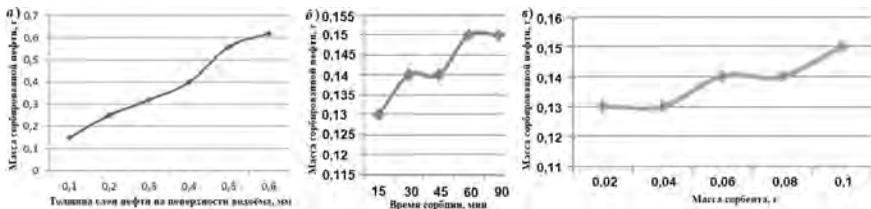


Рис. 7. Главные свойства полимерного сорбента:

а) нефтепоглощающая способность; б) время сорбции; в) количество сорбента

Таблица 2

Количество собранной нефти с поверхности и донных отложений экспериментального участка

Нахождение нефти	Технология сбора	Величина	
		м <sup>3</sup>	т
Поверхность воды	Сбор боновыми заграждениями	32	28,8
Донные отложения	Самопроизвольный подъем	14	12,6
	Флотация	72	64,8
Всего		118	106,0

## Выводы

1. Наибольшее развитие получили устройства и способы сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности водных объектов.
2. Для очистки сильнозагрязненных нефтью донных отложений на участках с локально разлитой нефтью рекомендуются флотационные способы.
3. Технология приемлема при любом загрязнении – от мелких вкраплений нефти до слоя большой мощности.
4. Устройство рекомендуется размещать ниже по течению от источника загрязнения (для водотока) для создания воздушно-пузырьковой завесы по всей глубине водотока.

## Библиографический список

1. Носков Ю.А. Эффективность технологии очистки донных отложений от нефти / Носков Ю.А., Воробьев Д.С., Туманов М.Д., Никулина Ю.С., Лим А. // Международный конгресс: Биотехнология: состояние и перспективы развития. 20-22 февраля 2017. Москва.
2. Лушников С.В., Воробьев Д.С. // Экспериментальные работы по очистке донных отложений и воды озера Щучье от нефтепродуктов, загрязнённых в результате аварийных разливов нефти (Усинский район, Республика Коми) // Сборник материалов третьей научно-практической конференции Экологические работы на месторождениях Тимано-Печерской провинции. Состояние и перспективы. г. Ухта, 2004. 241 с.
3. Воробьев Д.С. Интенсификация процессов деструкции нефти в илах аэрацией. // Вестник Томского гос. университета. 2011. № 351. С. 152-154.
4. Дерюшев Л.Г., Фрог Б.Н., Ерхов А.А. О показателях качества воды. // «Яковлевские чтения». XIII научно-техническая конференция. Сборник докладов. Москва. 15 марта 2018 г. Изд-во АСВ. – С. 30-34.
5. Ерхов А.А. Тангенциальное ускорение конфузторного течения // Ученые заметки ТОГУ. № 4 2015. – с. 267-269.
6. Ерхов А.А. Турбулентность, и её значение в решении экологических задач. // Вестник РГАЗУ 2011. Выпуск 2, № 0421100045\0027. Режим доступа: <http://www.rgazu.ru/index.php/archiv/2011/993-2011-2>.
7. «Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» (Приказ Минприроды от 13.04.2009 г. № 87).

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ «СЕРЫХ» И «ЧЕРНЫХ» СТОЧНЫХ ВОД, ПРИ СОЗДАНИИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ НОВЫХ МИКРОРАЙОНОВ

А.А. Кадревич, инженер 2 категории, АО «ЭКОС», г. Москва; Ю.А. Щербакова, инженер 3 категории, АО «ЭКОС», г. Москва

В сфере водоочистки, традиционные системы водоотведения разрабатываются так же, как и во времена СССР, когда для индустриализации строительства создавались общие сети водоотведения и водоснабжения, что уменьшало сроки и стоимость строительства. Современные реалии заставляют нас задумываться и искать новые способы, уменьшающие как капитальные, так и эксплуатационные затраты при очистке воды, а также рационально использовать воду, которая очищается на станциях.

Возможным направлением может являться внедрение в практику децентрализованной очистки сточных вод, и не просто разделения потоков зонально по районам (рис. 1), а еще более локально в местах их непосредственного образования, так называемого разделения сточных вод на «серые» и «черные» (рис. 2).

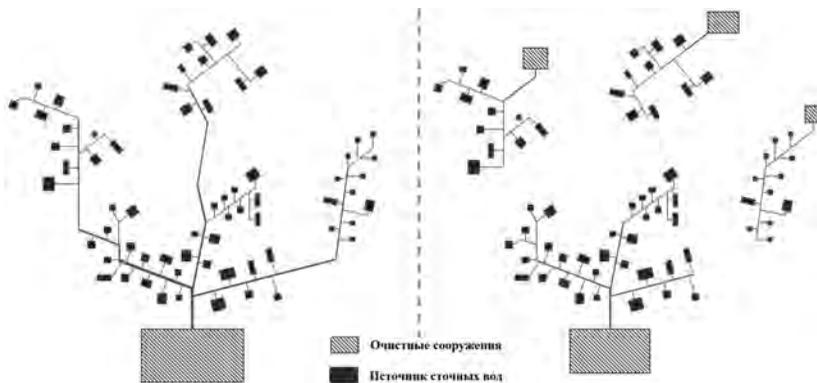


Рис. 1. Централизованной (слева) и децентрализованной (справа) очистки сточных вод по районам



Рис. 2. Децентрализованное водоотведение в местах образования сточных вод

**Черными** являются воды от унитазов и кухонных моек, они имеют самую большую концентрацию загрязнений по таким веществам как БПК, азот и фосфор, содержащихся в фекалиях, моче, остатках еды и моющих средствах.

**Серые** стоки содержат в себе значительно меньшую концентрацию веществ (по сравнению с черными и смешанными сточными водами), так как они поступают от ванн, душевых, умывальников и стиральных машин, которые в своей основе загрязнены СПАВ-ами и малой долей органических веществ.

Стоит отметить, что такое разделение более целесообразно только при новом строительстве, когда возможно проектирование и монтаж отдельных сетей водоотведения и, в частности, водоснабжения.

Литературный анализ качественного и количественного состава сточных вод показал, что при средней норме водоотведения 200 литров на человека в сутки, из них приходится на:

- ванна и душ – 110 л (малая доля СПАВ и БПК);
- умывальник – 10 л (малая долю СПАВ и БПК);
- стиральная машина – 40 л (высокая доля СПАВ, фосфатов, БПК и ВВ);
- унитаз – 30 л (наибольшее количество БПК, ВВ, азота, фосфора);
- кухонная мойка – 10 л (большое количество БПК и ВВ);

### **Установка очистки «серых» сточных вод**

Сточные воды душевых, ванн и раковин (серые) отводятся по отдельной канализационной сети и аккумулируются в баке накопителе, который располагается в подвале жилого дома. Далее накопленная вода подается на локальную установку очистки «серых» вод, также располагающаяся в подвале дома.

Установка состоит из систем грубой фильтрации, ультрафильтрации и обеззараживания. Схема очистки осуществляется следующим образом: поток сточных «серых» вод поступает в резервуар накопитель-отстойник, где далее с помощью насоса подается через установку микрофильтрации на установку ультрафильтрации, после чего обеззараживается с помощью УФ-ламп и далее накапливается в резервуаре чистой воды. Очищенная вода подается потребителям с помощью повысительного насоса. Накопительный резервуар оснащен системой опорожнения для сброса отстоянной воды в канализацию; установки микро- и ультрафильтрации оборудованы трубопроводом отвода фильтрата; бак очищенной воды оснащается трубопроводом опорожнения – все они соединены с трубопроводом черных сточных вод и поступают на ОСК микрорайона.

Очищенная вода может подаваться на различные нужды, а именно **домовые** (полив зеленых насаждений на придомовой территории и/или использование в качестве технического водоснабжения, например для унитазов) **городские** (полив зеленых насаждений, заполнение цистерн спецавто-транспорта для мойки улиц).

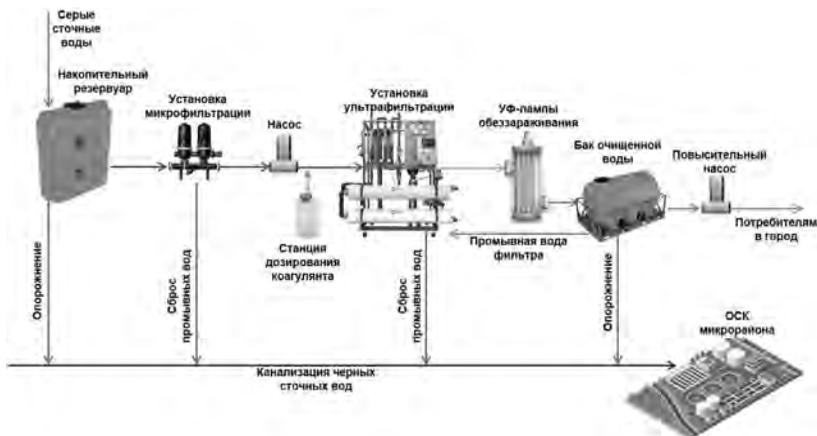


Рис. 3. Технологическая схема очистки «серых» сточных вод

### Очистные сооружения «черных» сточных вод

Основными источниками «черных» сточных вод является сток от унитазов, кухонных моек и стиральных машин, а также дополнительное количество воды, смываемое в унитаз во время влажной уборки помещений.

Учитывая, что данный сток имеет высокую концентрацию загрязнений, а именно количество ВВ составит порядка 800 мг/л, при допустимых показателях сброса 300-500 мг/л, необходимо разбавлять его потоком неочищенных «серых» вод для предотвращения отложений в трубопроводах.

Таким образом при смешении всех потоков и концентраций от одного человека на очистную станцию черных сточных вод поступает сток объемом 100-120 литров на человека в сутки, с концентрацией ВВ – 480 мг/л, по азоту 95 мг/л и по фосфору 25 мг/л.

При очистке сточной воды высокой концентрации и малого расхода первым преимуществом в сравнении с классическими КОС является меньшая потребность в электроэнергии, затрачиваемая на работу насосов т.к. объем перекачиваемой жидкости меньше на 40-50 %.

Уменьшением объема сточных вод позволит сократить размеры узла механической очистки, усреднителя сточных вод, первичного и вторичного отстойников, а также узла доочистки и обеззараживания.

Размеры узла биологической очистки останутся прежними, поскольку количество окисляемых загрязнений практически не меняется.

### Преимущества и недостатки

Основным эффектом, достигаемым за счет децентрализации сточных вод, является экологический эффект, который безусловно достигается за счет рационального использования водных ресурсов.

- при использовании очищенной «серой» воды только для слива в унитазах, нагрузка на станцию водоподготовки снижается до 15%;

- при использовании очищаемой воды полностью на различные технические нужды города это может снизить нагрузку до 35-40% также сократить забор воды из водоемов.

Экологический эффект при очистке «черных» сточных вод достигается за счет уменьшения нагрузки на водоемы, после сброса воды в них очищенной воды, а также за счет уменьшения количества возможных утечек через трубопроводы городской канализации.

Экономический эффект заключается в снижении эксплуатационных затрат на транспортировку сточных вод и эффективного обслуживания малопротяженных канализационных сетей.

Сокращение капитальных затрат на строительство очистных сооружений «черных» сточных вод в сравнении с классическими ОСК.

Недостатками являются малая теоретическая и практическая база, решение которой дало бы понимание, на какие показатели рассчитывать очистные сооружения и какая технология дала бы оптимальный результат цена/качество.

## **Выводы**

Данный подход децентрализованного водоотведения и очистки сточных вод с возможностью повторного использования очищенной воды, может являться предпосылкой для более устойчивого городского водоснабжения, в частности, за счет отказа от обеспечения всех потребностей из одного источника питьевой воды, тем более в случаях, когда нет необходимости в воде высокого качества.

На данный момент отечественные наработки в данной области минимальны и требует дальнейшего, более детального изучения в таких направлениях как:

- состав и количество сточных вод с учетом специфики российского менталитета

- влияние остаточной растворенной органики способной вызывать повторное развитие патогенных микроорганизмов на системы хранения и распределения воды.

- определение качественного состава воды пригодной для использования в бочках унитазов, ирригация в городе/микрорайоне и при поливе дорог.

## **Библиографический список**

1. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: 2012.
2. СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников (взамен СанПиН 2.1.4.544-96).
3. Лямаев Б.Ф., Кириленко В.И., Нелюбов В.А. Системы водоснабжения и водоотведения зданий. учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2012.
4. Ahmed M., Arora M. Suitability of grey water recycling as decentralized alternative water supply option for integrated urban water management. // IOSR Journal of Engineering. 2012. V.2. Pp. 31–35.

## **ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СИСТЕМ ОЗЕР «ЛЕБЯЖЬЕ» В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

**И.А. Каюмов**, доц., к.т.н., КГАСУ, г. Казань; **Р.Х. Сунгатуллин**, генеральный директор ОАО «ТК «Татмелиорация», г. Казань; **А.Х. Низамова**, старший преподаватель, КГАСУ, г. Казань

Система озер Лебяжье, расположена в западной части г. Казани, Республики Татарстан в лесопарковой зоне, являющийся особо охраняемой природной территории, включает 4 озера, которые расположены в следующей последовательности с севера на юг – Малое Лебяжье, Большое Лебяжье, Светлое Лебяжье и Сухое Лебяжье. Общая длина озерной системы составляет 2,6 км, шириной до 476 м.

Примерно до конца 80-х годов прошлого столетия эти озера полноценно функционировали, (максимальная глубина их доходила до 3,9 м, а средняя 1,5 м, общий объем воды – 586 тыс.м<sup>3</sup>), имели водные сообщения между собой. Питание озер происходило за счет дождевых и талых вод особенно в период половодья. Однако, интенсивная индустриализация пригородов г. Казани, которая происходила в то время в рассматриваемом районе (добыча большого количества карьерного песка, устройство современных автомобильных дорог, интенсивная застройка пригородной зоны, большая рекреационная нагрузка) привели к обмелению озер системы Лебяжье [2, 4].

Основными причинами уменьшения (60 % и более) объемов воды озерной системы «Лебяжье» явились:

- сокращение площади водосбора водоема в результате отсыпки полотна дамбы автомобильной дороги Казань-Зеленодольск;
- промышленная добыча песка в Юдинском карьере, который находится в 800 м от озеро Сухое Лебяжье, привело к усиленной фильтрации, (в настоящее время новообразовавшееся озеро в карьере называется озером «Изумрудным»), с урезом воды нормально подпертого уровня (НПУ), совпадающий с НПУ Куйбышевского водохранилища;
- прекращение сброса условно-чистых вод ТЭЦ-2 в озеро Сухое Лебяжье.

Начиная с 1995 г. по 2005 г. были предприняты меры по спасению системы озер Лебяжье, которая является излюбленным местом отдыха горожан и гостей г. Казань, местом проведения Сабантуя для жителей Кировского и Московского районов г. Казани. Первоначально экореабилитация системы озер Лебяжье в этот период заключалось в следующем:

- 1) подкачка воды из озера Изумрудное в озеро Светлое Лебяжье в 1995-2002 гг.;
- 2) углубление дна озера Малое Лебяжье, создание частичного глиняного противофильтрационного экрана толщиной 0,3 м в 1999-2000 гг.;

3) подкачка воды в озеро Малое Лебяжье из двух вновь пробуренных артезианских скважин глубиной до 110 м.

Однако этих мероприятий оказались не достаточными, обмеление и деградация озер продолжались после их проведения.

В настоящее время озерная система «Лебяжье» является деградирующей, озера усыхают и зарастают сорной и малоценной древесно-кустарниковой растительностью. Поддержать уровень воды удастся лишь в озере «Малое Лебяжье» за счет отсыпки земляной дамбы, отсекающий его от озера «Большое Лебяжье» и периодической подкачкой воды из вышеупомянутых скважин. Произошло сползание береговой зоны по всему периметру озера из-за динамического колебания уровня воды в течение многих лет, что привело к обмелению озера.

По данным, геологических изысканий на дне всех сухих озер отсутствует илистый горизонт и естественный водоупор. По Литологическому составу ниже почвенно-плодородного слоя до 10 м залегают аллювиальные отложения – мелкозернистые пески с редкими локальными линзами суглинков. Грунтовые воды на глубине до 10 м в пределах озер Сухое, Светлое и Большое не обнаружены.

Уровень воды в озере Малое Лебяжье поддерживается за счет постоянного пополнения водой из артезианской скважины. Подкачка воды производится нерегулярно. Созданный ранее глиняный экран видимо был выполнен частично, так как происходит постоянная фильтрация воды. На сегодня уровень воды в озере Малое Лебяжье на отметке 68,420, что на 0,880м ниже проектной отметки НПУ. Как следствие 14,5 % площади озера по НПУ заросло сорной и малоценной древесно-кустарниковой растительностью.

Озеро «Большое Лебяжье» высохло. На 48,3% площади озера произошло зарастание сорной и малоценной древесно-кустарниковой растительностью. Среди древесно-кустарниковой растительности имеется единственный хвойный подрост высотой до 1,0 м.

Озеро Светлое Лебяжье – сухое. Около 45,3 % ложа заросло сорной и малоценной древесно-кустарниковой растительностью.

Озеро Сухое Лебяжье сухое и заросло сорной и малоценной древесно-кустарниковой растительностью. Кроме сорного и малоценного древесно-кустарниковой растительности имеется хороший подрост сосны и березы высотой до 3,0 м. В высохших озерах флора и фауна деградирована и практически исчезла.

В связи с вышеизложенным, рабочим проектам [3] предусматривается системно и в тоже время дифференцированно подойти к решению сохранения и восстановления озерной экосистемы «Лебяжье». Проанализировав имеющиеся в наличии результаты инженерно-изыскательские материалы Открытое акционерное общество «Трастовая компания «Татмелиорация» предлагает следующие решения в чашах озер:

1. Проведение культуртехнических работ;

2. Устройство противофильтрационного экрана водонепроницаемыми геотекстильными бентонитовыми матами (Bentolock GL10) [1,5];

3. Заполнение водой до отметки 69,300;

Культурнотехнические работы сводятся к расчистке от кустарниковой, сорной растительности и древесных остатков на площади 132800 м<sup>2</sup> (озерные чаши Малое Лебяжье, Большое Лебяжье и Светлое Лебяжье).

Опираясь на гидрометеорологические и гидрогеологические инженерные изыскания 2016 г., экспертное заключение по вопросу поднятия уровня озер Лебяжье и их экологической реабилитации от 25.05.2015 г., а так же на архивные гидрогеологические отчеты и заключения предлагается озеро Сухое Лебяжье отсечь дамбой от озера Светлое Лебяжье. В чаше озера Сухое Лебяжье сохранить сформированную, на сегодня, временем и природой экосистему, выборочно удалив при этом сорную и малоценную древесно-кустарниковую растительность сохранив хороший подрост сосны и березы.

В части поддержания НПУ воды на проектном уровне 69,300 предусматривается углубление существующего дна и устройство противофильтрационного экрана в озерах Большое Лебяжье, Светлое Лебяжье и в протоке соединяющей эти озера. В качестве противофильтрационного материала предлагается использовать инновационный экранирующий материал (Bentolock GL10) в рулонном исполнении, изготовленный на основе природной бентонитовой глины [5]. Укладывается экранирующий материал, на выровненное природное основание на всей площади ложа озёр. На берегу на 0,1м выше уровня НПУ выполняется якорный замок экранирующего материала. Затем поверх экрана укладывается защитно-пригрузочный слой грунта толщиной 0,5 м на дне и 0,7 м по откосам с целью защиты его от повреждений и создания основы под формирование природной экологической среды.

Наполнение озер водой предусматривается за счет талых и дождевых вод и дополнительно за счет поступления воды из озера «Изумрудное» по реконструированному напорному водоводу.

На озере «Малое Лебяжье», несмотря на ранее проведенные работы по устройству глиняного замка ложа, происходит довольно активная фильтрация воды. Этот факт предлагается использовать, организовывая неспешный живой ток (обмен) воды в воссоздаваемой системе озер.

Так же на озерах Большое и Светлое предлагается устройство групп островов, засаженных характерной для этих мест растительностью, с целью создания благоприятных условий развития и жизнедеятельности для исторически сложившейся совокупности видов животных и птиц, обитающих в данной области.

Озеро «Малое Лебяжье» и «Большое Лебяжье» разделены сейчас земляной дамбой, в тело которой предусматривается закладка водопропускных труб с задвижками. Отсекающая дамба предусмотрена и между озерами Светлое Лебяжье и Сухое Лебяжье с устройством водопропускной трубы с задвижкой. Для пуска излишков воды во время весеннего и дождевого половодья при необходимости.

## Библиографический список

1. Биотехнические мероприятия по экореабилитации озер «Лебяжье» г. Казани, необходимые после этапа гидротехнических работ. / Сборник трудов VIII Международного конгресса «Чистая вода. Казань». ООО Новое знание. Казань, 2017, С.171-174.
2. Isobent – бентонитовая гидроизоляция. М. – 12 с.
3. Открытое акционерное общество «Трастовая компания «Татмелиорация». «Экологическая реабилитация систем озер «Лебяжье» Кировского района г.Казани, Республики Татарстан». (I этап). Рабочий проект. Раздел 5. Проект организации строительства. Казань – 53 с.
4. Сиб Строй Экология. Bentolock. Противοфилтpационный геотекстильный материал. Тюмень, 2016. – 4 с.
5. Kayumov I.A., and other. Restoration of lakes Lebyazhya Kazan city. / Minzu University of China. Scientific research of the countries: Synergy and integration – Beijing, China 2018. – P.118-121.

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СИСТЕМ ОЗЕР «ЛЕБЯЖЬЕ»**

**И.А. Каюмов**, доц., к.т.н., КГАСУ, г. Казань; **Р.Х. Сунгатуллин**, генеральный директор ОАО «ТК «Татмелиорация», г. Казань; **А.Х. Низамова**, старший преподаватель, КГАСУ, г. Казань

Озерная система «Лебяжье» имеет большое рекреационное значение находящийся особо охраняемой природной территории местного значения, лесопарковой зоне г.Казани [2, 7].

Для борьбы с фильтрацией воды через лож систем озер «Лебяжье», расположенных в западной части города Казани, в качестве противофильтрационного экрана использовался материал Bentolock GL10 в виде инновационного экранирующего бентонитового мата к преимуществам бентонитовых матов Bentolock GL10 [1, 2, 4] относятся:

- может применяться для решения сразу нескольких задач;
- бентонитовые маты выдерживают ничем не ограниченное количество циклов замораживания-оттаивания и гидратации-дегидратации;
- экономия материала (например, один слой бентонитовых матов может заменить гидроизоляцию из глинистого грунта толщиной в 1 метр);
- материалы экологически безопасны;
- высокая морозостойкость. Возможность укладки материала при температуре до -40 °С.
- значительная экономия времени, если сравнивать с устройством «глинистого экрана», при котором существует необходимость в послойном уплотнении грунта, грунтоуплотняющей строительной техникой;
- во время работы материал имеет свойство самовосстанавливаться, ликвидируя небольшие механические повреждения, которые могут возникать в процессе монтажа и обратной засыпки пригрузочно-защитного слоя и слоя почвенно-плодородного грунта, а также различного рода трещины в изолируемой конструкции;
- простота устройства, можно сделать гидроизоляцию или осуществить ремонт гидроизоляций в любой сезон года;
- устойчивы к агрессивной среде;
- возможность применения в сложных гидрогеологических условиях, материалы выдерживают гидростатическое давление до 7 атмосфер;
- долговечность гидроизоляции, обусловлена неизменностью свойств со временем;
- высокая сейсмическая стойкость;
- простота применения и низкая трудоёмкость устройства.

Работы на объекте «Экореабилитация системы озер Лебяжье» производились в следующей последовательности [3]:

- работы подготовительного периода состоящие из культуртехнических работ по удалению сухостойных и малоценных пород деревьев, их молодняков и кустарников с ложа озер «Большое Лебяжье» и «Светлое Лебяжье».

- работы по углублению лож водоемов, которые состоят из снятия почвенно-плодородного слоя и разработки минерального грунта с лож озер «Большое Лебяжье» и «Светлое Лебяжье»;

- работы по формированию периметра береговой линии и разработки траншеи по периметру замка по периметру уреза воды озер;

- планировка дна и откосов;

- укладка противофильтрационного экрана Bentolock GL10;

- отсыпка защитно-пригрузочного слоя на противофильтрационный экран Bentolock GL10;

- демонтаж существующей дамбы. Отсыпка новой земляной дамбы с устройством водопропускного сооружения №1 и временной земляной дамбы-переезда;

- рекультивация почвенно-плодородного слоя грунта по поверхности насыпи и его планировка;

- строительство съезда к временной дамбе-переезду;

- строительство отсекающей дамбы с водопропускного гидротехнического сооружения №2;

- работы по организации и осуществлению подачи воды в озеро Светлое Лебяжье;

- устройство съездов для разработки грунта с лож озер «Большое Лебяжье» и «Светлое Лебяжье».

Бентонитовые маты Bentolock GL10 выпускаются в рулонах весом 1150 кг [4, 5], длиной 40 м, шириной 5 м, толщиной мата 6,6 мм. Доставку на объект экологической реабилитации систем озер «Лебяжье» осуществлялось бортовыми автомашинами. Подъем и подача материала в ложе озер осуществлялся при помощи крана, оснащенных траверсом, позволяющие свободное вращение бобиной диаметром 0,8 м. Бентонитовые маты Bentolock GL10 укладывали на спланированное основание погрешность которого не превышало 12 мм, при отсутствии корней растений, камней и др. При производстве погрузочно-разгрузочных и монтажных работ использовался насадка «жало», которое вставлялось в отверстие рулона. Бентонитовые маты Bentolock GL10 закреплялись на верхней бровке откосов. Непосредственно перед укладкой бентонитовых матов Bentolock GL10 снимали упаковочную полиэтиленовую пленку. Полотна бентонитовых матов Bentolock GL10 укладывали в нахлест не менее 150 мм.

Для герметизации и обеспечения дополнительной надежности в места нахлестов присыпали непрерывным слоем гранул бентонита. Края верхнего мата отгибали и нижнему мату присыпали гранулы бентонита. Расход гранул бентонита составлял 0,4 кг/м.п. Количество бентонитовых матов Bentolock GL10 на объекте ежедневно не превышало интенсивность работ по укладке защитно-пригрузочного слоя грунта. Высокая эффективность

устройства противофильтрационного экрана из бентонитовых матов Bentolock GL10 подтверждаются следующими данными по отношению потерь воды на фильтрацию:

- 470 раз ниже по сравнению с глинистым экраном;
- 11 раз ниже по сравнению с экраном из полиэтиленовой пленки.

#### Библиографический список

1. Isobent – бентонитовая гидроизоляция. М.:2017: - 12 с.
2. Мингазова Н.М. и др. Биотехнические мероприятия по экореабилитации озер «Лебяжье» г.Казани, необходимые после этапа гидротехнических работ. // Сборник трудов VIII Международного конгресса «Чистая вода. Казань». ООО Новое знание. Казань, 2017. С. 171-174.
3. Открытое акционерное общество «Трастовая компания «Татмелиорация». «Экологическая реабилитация систем озер «Лебяжье» Кировского района г.Казани, Республики Татарстан» (I этап). Рабочий проект. Раздел 5. Проект организации строительства. Казань, 2016. – 53 с.
4. Сиб Строй Экология. Bentolock. Противофильтрационный геотекстильный материал. Тюмень, 2016. – 4 с.
5. Сиб Строй Экология. Bentolock. Руководство по укладке. Тюмень, 2016. – 14 с.
6. Сиб Строй Экология. Bentolock. Техничко-экономическое обоснование. Тюмень, 2016. – 14 с.
7. Kayumov I.A., and other. Restoration of lakes Lebyazhya Kazan city. Minzu University of China. Scientific research of the SCO countries: Synergy and integration – Beijing, China 2018. P.118-121.

## **ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПЕРЕПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ЧЛЕНОВ АСРО ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ РЕАБИЛИТАЦИЮ И ОБУСТРОЙСТВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**И.А. Каюмов**, доц., к.т.н., КГАСУ, г. Казань; **Р.Х. Сунгатуллин**, генеральный директор ОАО «ТК «Татмелиорация», г. Казань; **А.Х. Низамова**, старший преподаватель, КГАСУ, г. Казань

Проведение инженерных изысканий, разработка проектно-сметной документации, строительство, реконструкция и капитальный ремонт объектов экологической реабилитации и обустройства водных объектов, могут осуществлять организации независимости от форм собственности, которые являются членами соответствующих ассоциации саморегулируемых организаций (АСРО) в сфере строительства [7].

С 2017 года в саморегулировании процессов инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства произошла коренная реформа, в основу которого положено повышение ответственности, как самих АСРО, так и их специалистов за выполненные ими работы на объектах экологической реабилитации и обустройство водных объектов.

С 1 июля 2017 года в Российской Федерации введены [7] национальные реестры специалистов (НРС) в сфере строительства, в которых содержатся сведения о высококвалифицированных штатных сотрудниках, работающих по основному месту работы.

Каждый член АСРО в сфере строительства (экологическая реабилитация и обустройства водных объектов), реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства с 01.07.2017 года [7] должен иметь в штате по основному месту работы как минимум двух специалистов, сведения о которых включены в соответствующие НРС в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования и организации строительства.

Ассоциацией Общероссийская негосударственная некоммерческая организация - Общероссийское отраслевое объединение работодателей «Национальное объединение саморегулируемых организаций, основанных на членстве лиц, осуществляющих строительство – Нострой». При внесении записи в НРС присваивается идентификационный номер (например С-16-147629, где 16 означает номер региона, где он работает) и они уведомляются. Аналогично сформировано информационная система НРС в области инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования [7].

Сведения о внесении специалиста в области инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования размещаются на официальном сайте НОПРИЗ в сети «интернет»: [www.nopriz.ru](http://www.nopriz.ru) в разделе национального реестра специалистов в области инженерных изысканий и архитек-

турно-строительного проектирования. Записи присваивается идентификационный номер, например П-069721.

Создание НРС специалистов преследует сразу несколько целей. Во-первых, появляется ресурс, объединяющий информацию о высококлассных специалистах отрасли, который позволит заказчикам оценить опыт и компетентность лиц, осуществляющие работы. Сегодня эти данные доступны на сайте Нострой – [www.nostroy.ru](http://www.nostroy.ru). Во-вторых их персональная ответственность будет гарантировать качество и безопасность выполняемых ими работ.

Синхронизация единого реестра членов АСРО и НРС позволяет увидеть реальную картину обеспеченности АСРО необходимыми специалистами для введения работ по экологической реабилитации и обустройства водных объектов.

В целях учета требований предъявляемых в специалистам в процессе профессиональной переподготовки специалистов экологической реабилитации и обустройства водных объектов кафедры водоснабжения и водоотведения (ВиВ) Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ), в ранее разработанную программу [3] профессиональной подготовки специалистов (решением Президиума Российской Академии Естествознания, программа профессиональной переподготовки была отобрана и представлена на 38-ой международный Пражский книжный салон LIVRE PARIS. Решением последнего [4] она была включена в специальный каталог «PARIS BOOK FAIR 2018» и награждена «Золотой» Медалью салона), учебный план и рабочие программы профилирующих дисциплин внесены дополнения и изменения, учитывающие дополнительные профессиональные обязанности специалиста в процессе строительства водных объектов и объектов экологической реабилитации [3, 4].

Профессиональная переподготовка специалистов для экологической реабилитации и обустройства водных объектов осуществляется по программе «Профессиональная переподготовка специалистов в области водного хозяйства», которая решением Президиума Российской Академии Естествознания, учитывая актуальность, научную и педагогическую значимость была отобрана и представлена на 31-я Московская Международная Книжная выставка-ярмарка (5-9 апреля 2018 года). Указанная программа включена в специальный каталог Московского международного книжной выставки-ярмарки, была награждена дипломом и «золотой» Медалью книжной выставки-ярмарки.

Внесение изменений в программу профессиональной подготовке специалистов позволило учесть повышенные требования к специалистам, к их дополнительным профессиональным обязанностям, в соответствии с квалификационными стандартами АСРО, базирующиеся на профессиональных стандартах [1, 2], утвержденные государством [7].

На основе заключенных договоров КГАСУ, как с юридическими лицами, так и непосредственно со специалистами, обладающими высшее образование по иным специальностям, но работающими в сфере строитель-

ва и изъявившие желание пройти профессиональную переподготовку по профилю «Водоснабжение и водоотведение» прошли обучение по 802 часовой программе. Слушатели профессиональной переподготовки выполнили учебный план в полном объеме (расчетно-графические и курсовые работы, сдали зачеты и экзамены по дисциплинам, предусмотренным учебным планом, разработали и публично защитили на заседаниях Государственной аттестационной комиссии итоговые аттестационные работы). Решением Государственной аттестационной комиссией им выдан диплом о профессиональной переподготовке по профилю «Водоснабжение и водоотведение», предоставляющий право на ведение профессиональной деятельности по экологической реабилитации и обустройству водных объектов.

Проведения занятий на курсах профессиональной переподготовки специалистов осуществляется в лабораториях и кабинетах, специально подготовленных коллективом кафедры ВиВ КГАСУ совместно с ведущими специалистами отечественных и зарубежных организаций [3, 4]. Проводимые занятия на курсах профессиональной переподготовки специалистов отражают передовой производственный опыт, выполнения инженерных изысканий, осуществление архитектурно-строительного проектирования, введение работ при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов экологической реабилитации и обустройства водных объектов [3, 4].

В 2014-2015 учебном году прошли профессиональную переподготовку 11 специалистов, а в 2016–2017 учебном году – 9 специалистов Приволжского Федерального округа (Республики Башкортостан, Марий-Эл и Татарстан).

Полученные как основные, так дополнительные профессиональные знания, умения и навыки в процессе усвоения программы профессиональной переподготовки специалистов по экологической реабилитации и обустройства водных объектов, в полном объеме, позволило сформировать востребованного на современном рынке труда компетентного специалиста для экологической реабилитации и обустройства водных объектов, обладающего необходимыми знаниями для осуществления дополнительных профессиональных обязанностей, указанных в Федеральном законе №372 ФЗ [7]. В конечном итоге способствуют решить проблему обеспечения членов АСРО специалистами для экологической реабилитации и обустройства водных объектов [5], отвечающие требованиям Ностроя и НОПРИЗа по отношению уровня образования и позволяющие включать их в НРС в сфере строительства.

#### Библиографический список

1. АСРО «Содружество строителей РТ». Стандарты и документы саморегулирования в АСРО «Содружество строителей РТ». Ст СРОС РТ-05-2017. Квалификационный стандарт «Организатор строительного производства». Казань. 2017. - 12 с.

2. АСРО «Содружество строителей РТ». Стандарты и документы саморегулирования в АСРО «Содружество строителей РТ». Ст СРОС РТ-04-2017. Квалификационный стандарт «Руководитель строительной организации». Казань. 2017. – 11 с.

3. Каюмов И.А. Программа профессиональной переподготовки специалистов по направлению 08.03.01 «Строительство», профиля «Водоснабжение водоотведение». Казань 2016. – 54 с.

4. Каюмов И.А. Программа профессиональной переподготовки специалистов водохозяйственных организаций по направлению «Строительству». Казань 2017. – 41 с.

5. Каюмов И.А. Саморегулирование в сфере строительства / И.А. Каюмов. – Казань, 2016. – 108 с.

6. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. Приказ №1472/пр от 13.10.2017 года «О внесении изменений в перечень направлений подготовки, специальностей в области строительства, получение высшего образования по которым необходимо для специалистов по организации инженерных изысканий, специалистов по организации архитектурно-строительного проектирования, специалистов по организации строительства, утвержденные приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 06.04.2017 года №688/пр». – М.: 2017. – 25 с.

7. Федеральный Закон № 372-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации», М.: 2016. - 145 с.

# ОПЕРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕАКТОРА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ SBR ПРИ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКЕ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ АММИАКА

Чан Ха Куан, аспирант, НИУ МГСУ, г. Москва; Е.С. Гогина, доц., к.т.н., НИУ МГСУ, г. Москва

## Введение

Процесс глубокой очистки сточных вод от питательных веществ и биогенных элементов, особенно от аммиака или соединений азота определяет главную задачу при проектировании станции очистки сточных вод. Биогенные элементы, присутствующие в сточной воде, наносят экологический ущерб, воздействуют на окружающую среду, а следовательно, могут нанести вред здоровью человека. Например, в поверхностных водах концентрация неорганического азота более 0,05 мг/л может стимулировать рост водорослей, а концентрация свободного аммиака более 0,2 мг/л является токсичной для рыб. Кроме того, нормативные документы обычно рекомендуют концентрацию нитратов ниже 10 мг/л в водных ресурсах, использующихся для целей водоснабжения. Биологические процессы глубокой очистки сточных вод от соединений азота можно осуществить двумя основными способами: с использованием прикрепленной активной биомассы или взвешенной биомассы. Стехиометрические данные биохимической реакции, регулирующие количество азотсодержащих загрязнений в очистке сточных вод, представлены в табл. 1 [1].

Таблица 1

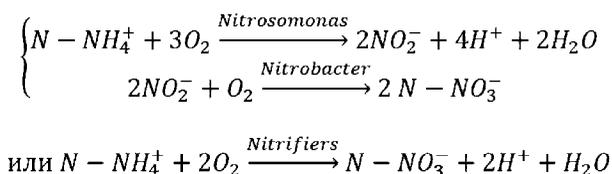
## Условия биологических процессов очистки сточных вод от аммиака

Процесс	Требование
Процесс биологической очистки азота	5,0 мг азота очищается на 100 мг БПК
	12,2 мг азота очищается на 100 мг биомассы
Процесс биологического окисления азота	4,57 мг кислорода окисляет 1 мг азота
	использование 7,14 мг щелочности (по $\text{CaCO}_3$ ) на окисление 1 мг азота
Процесс биологического восстановления азота	2,86 мг кислорода окисляет 1 мг азота
	1,0 мг азота очищается на 1,91 мг метанола использование 3,57 мг щелочности (по $\text{CaCO}_3$ ) на окисление 1 мг удаляемого азота
Потребность хлора для нитрита	5,0 мг хлора на 1,0 мг нитрита

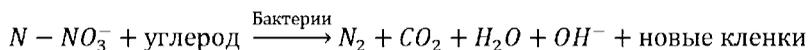
По табл. 1 в аэротенке или других биологических сооружениях с использованием активного ила для очистки сточных вод, количество удаляемого азота лимитируется в процессе окисления органических веществ, так как только 5,0 мг азота очищается на 100 мг БПК в сточной воде. Таким

образом, процесс глубокой очистки от соединений азота или аммиака должен включать биологические реакции нитрификации и денитрификации для повышения эффективности очистки [2, 3].

Процесс нитрификации – биохимическая реакция – окисление азота в виде аммиака до нитратов с помощью автотрофных микроорганизмов, таких как *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, в целом называемые *Nitrifiers*. Данные микроорганизмы используют питательные ресурсы из неорганических веществ и энергию из фотосинтеза или хемосинтеза. Нитрификация иллюстрируется следующими уравнениями:



Наоборот, процесс денитрификации восстанавливает нитраты до газообразного азота и проводится гетеротрофными микроорганизмами, использующими органические вещества для питания и метаболический синтез для получения энергии. Уравнение денитрификации представлено в реакции:



В сооружениях с активным илом, нитрификация реализуется в аэробной среде, когда концентрация растворенного кислорода более 4,0 мг/л, и окислительно-восстановительный потенциал (ORP) более 200 мВ. В отличие от нитрификации, реакции денитрификации происходят только при условиях растворенного кислорода в диапазоне 0,2 – 2,0 мг/л и ORP от -200 до 200 мВ, и эта среда называется аноксидной [1, 2, 4].

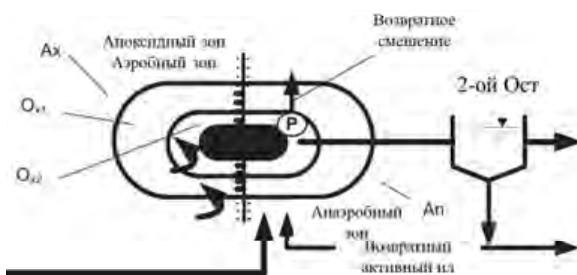
Рассматривая технологии с взвешенным активным илом можно говорить о том, что каждая система очистки сточных вод может иметь разные варианты применения процессов глубокой очистки от аммиака путем биологической нитрификации и денитрификации. Например, на рис. 1 представлен процесс Ludzack–Ettinger, реализуемый в аэротенке, а также процесс симультанной нитрификации-денитрификации, применяемый в окислительном канале [1, 4, 5]. Однако, в реакторе периодического действия (SBR), когда все стадии биологической очистки сточных вод проводятся в единой емкости, метод применения процесс глубокой очистки сточных вод от аммиака несложный. Реактор периодически заполняется сточными водами и проводит процесс очистки в дискретный период времени. Чередование различных кислородных режимов через изменение операционного цикла реактора, с созданием аноксидной и аэробной среды и способствует проведению биологических реакций нитрификации и денитрификации. Цикл работы реактора с добавлением процесса глубокой очистки от аммиака представлен в табл. 2 [5-7].



А



Б

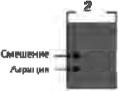


В

**Рис. 1.** Условия и метод применения процесса глубокой очистки от аммиака: А – условия биологических процессов, Б – применение в аэротенке, В – применение в окислительном канале

Реактор SBR обычно применяется как биологическое сооружение для очистки бытовых и промышленных сточных вод, особенно в населенных пунктах с небольшим количеством населения или с высокой неравномерностью расходов сточных вод. Поэтому, отношение между питательными и органическими веществами в поступающих сточных водах в реакторе высоко и нестабильно [5, 6, 8]. Для исследования процесса глубокой очистки сточных вод от аммиака в реакторе SBR, в Центре охраны воды и окружающей среды (EPRC), Технологического университета г. Дананг проведены эксперименты для модификации реактора и вычисления эффективности очистки от аммиака, а также определения некоторых операционных параметров.

### Применение процесса глубокой очистки сточных вод от аммиака в SBR

Фаза	Подача	Реакция	Осаждение	Слив	
Типовой реактор					
Модификации					

### Материалы и методы

В лаборатории, для модификации реактора SBR путем применения процессов нитрификации – денитрификации были собраны две модели, одна из которых была дополнена смесителем и крышкой. Рабочий объем каждого реактора составлял 40 литров, и в начале 25% этого объема заполняется активным илом. Сточные воды, которые поступают в модельную установку, являются бытовыми сточными водами из общесплавной системы водоотведения города с добавлением соли хлорида аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) для увеличения отношения между биогенными и органическими веществами в сточных водах. Операционная работа модели представлена по схеме [9, 10]

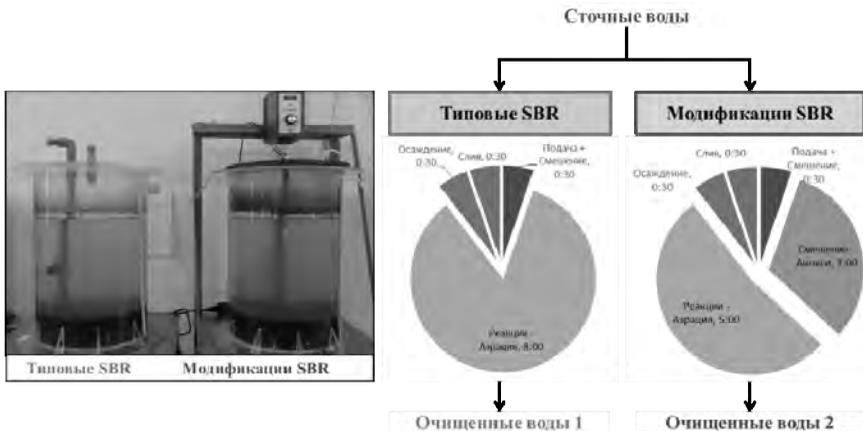


Рис. 2. Модель реактора периодического действия в лаборатории

Модификация работы реактора состоит в добавлении 3 часов работы в режиме денитрификации с аноксидной средой для восстановления всех растворенных нитратов до газообразного азота. В этом периоде эффективность удаления нитратов можно описать по удельной скорости денитрификации или степени денитрификации (УСД), которая определяется по формуле [1, 2, 11]:

$$УСД = \frac{NO_3 \times V_{анокс}}{\text{Иловая смесь}}$$

где УСД – удельная скорость денитрификации;  $NO_3$  – количество удаленного нитрата;  $V_{анокс}$  – объем аноксидной зоны, в таком состоянии это объем модели.

С 29 ноября по 6 декабря, 2 реактора работали в параллельном режиме и реализовывали 2 цикла очистки сточных вод за 1 сутки. Качество очищенных вод, включающих БПК<sub>5</sub>, ХПК, N – NH<sub>4</sub>, N – NO<sub>3</sub> и параметры ила анализировалось в соответствии со стандартными методиками. Кроме того, параметры реактора: рН, ОРР, растворенный кислород и щелочность часто тестировались для обеспечения процесса глубокой очистки от аммиака [12, 13].

## Результаты

Концентрация загрязняющих веществ в сточной и очищенной воде в 2 реактора показано на графиках (рис. 3).

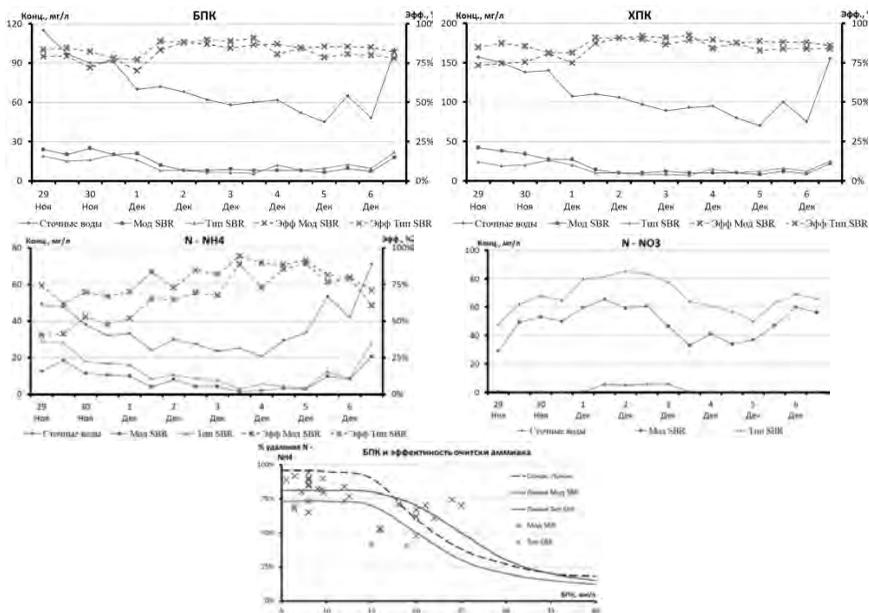
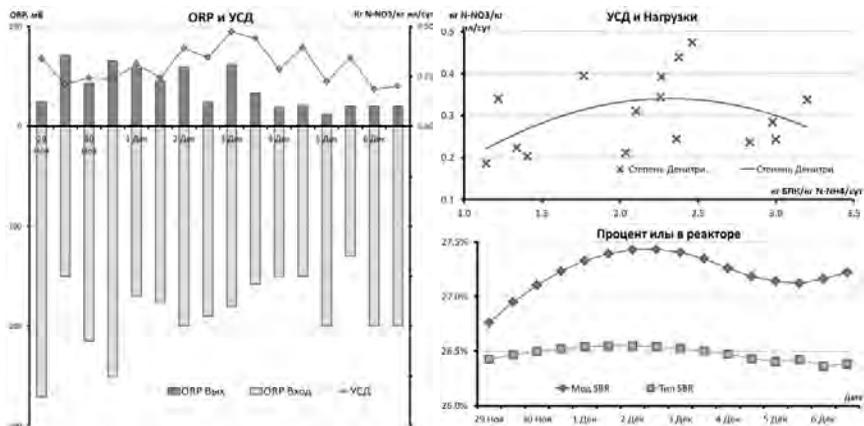


Рис. 3. График концентрации загрязняющих веществ и эффективность их очистки

Согласно графикам, процесс очистки органических веществ стабилизируется с эффективностью более 75% и разница между 2 реакторами незначительна. Кроме того, в середине периода эксперимента, когда концентрации БПК<sub>5</sub> были ниже 65 мг/л и ХПК ниже 100 мг/л, эффективность очистки достигала идеальную величину – 90%. Однако, изменение цикла работы реактора повлекло увеличение эффективности глубокой очистки азота в сточных водах. За счет процесса денитрификации, эффективность очистки от аммиака увеличивается на 10–15% в модифицированном реакторе, а концентрация нитратов в очищенных сточных водах уменьшается до 20 мг/л. Кроме того, сравнение концентрации БПК очищенных сточных вод и производительность процесса глубокой очистки от аммиака на последнем графике показало, что процесс нитрификации в модифицированном реакторе стабильный и его направление близко стремится к основной контрольной линии.

В основном, для повышения процесса глубокой очистки сточных вод от аммиака, режим денитрификации в реакторе достигает оптимального. Взаимосвязь между удельной скоростью денитрификации и параметрами реактора, включающими ORP, нагрузку и объемный процент ила представлено на рис. 4:



**Рис. 4.** График операционных параметров модифицированного реактора и удельной скорости денитрификации

В первом, значение ORP сточных вод, поступающих в реактор нужно поддерживать в интервале от -150 мВ до -175 мВ. В течение режима денитрификации, этот параметр контролируется через скорость вращения мешалки и обеспечивается реакцией между сточными водами и активным илом. При оптимальных условиях, значение потенциала более 0 мВ, когда наблюдается окончание аноксидного режима и более 50 мВ, когда наблюдается окончание процесса очистки сточных вод. Кроме того, удельная

скорость денитрификации тоже достигает максимального значения от 0,4 – 0,5 кг N – NO<sub>3</sub>/кг ил/сут, когда отношение массовой нагрузки между органическими веществами и аммиаком находится в диапазоне 2,0 – 2,5 кг БПК/кг N – NH<sub>4</sub>/сут. Однако количество избыточного активного ила в реакторе при проведении процесса глубокой очистки аммиака создавало определенные проблемы. Так как гетеротрофные организмы используют меньше энергии для процесса синтеза, чем автотрофные организмы, то скорость роста биомассы в модифицированном реакторе быстрее, чем в типовом. График показал что, когда реактор стабильно работает, количество избыточного ила увеличивается 0,75 – 1,00% объема реактора, пропорционально эффективности глубокой очистки сточных вод от аммиака.

### Выводы

Во всем мире, в городах или населенных пунктах используют SBR – реакторы для биологической очистки сточных вод. В отличие от классической технологии с применением активного ила, применение процесса глубокой очистки сточных вод от аммиака в реакторе SBR реализовать не сложно. По результатам эксперимента по модификации реактора можно говорить о том, что добавление режима денитрификации повышает эффективность глубокой очистки сточных вод от аммиака на 10 – 15% и обеспечивает процесс очистки от органических веществ более чем на 80%. Кроме того, удельная скорость денитрификации достигает максимального значения, когда ОРР сточных вод поддерживается в периоде от -150 мВ до -175 мВ и отношение массовой нагрузки между органическими веществами и аммиаком находится в диапазоне 2,0 – 2,5 кг БПК/кг N – NH<sub>4</sub>/сут.

Однако, для интенсификации процесса глубокой очистки аммиака, необходимо рассчитать гидравлические параметры реактора для условий применения аноксидного режима – денитрификации в очистной станции SBR. Продолжение эксперимента планируется на базе полупроизводственной установки для исследования и оценки возможности применения в практике.

### Библиографический список

1. Biological nutrient removal Operation in Wastewater treatment plants: Manual of Practice No. 29/ Water Environment Federation, 2005. Chapter 22.
2. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> Edition/ Metcalf & Eddy, Inc. McGraw – Hill Companies, 2003. 720 – 733 с.
3. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод – М.: Изд-во АСВ, 2006. 408 – 411 с.
4. Nitrification and Denitrification, Operator Training and Certification Unit: Online Training Course for Municipal & Industrial Wastewater / Michigan Department of Environmental Quality.

5. Sequencing Batch Reactor/ The International Water association publishing. URL: <https://www.iwapublishing.com/news/sequencing-batch-reactor>.
6. Sequencing Batch Reactor Design and Operational Considerations/ New England Interstate Water pollution Control commission, September 2005. 1 – 6 p.
7. Summary report Sequencing Batch Reactor/ United States Environmental Protection Agency EPA/625/8-86/011. 1986.
8. Чан Ха Куан, Нгуен Суан Куэт, Гогина Е.С. Преимущества технологии реактора циклического действия для очистки сточных вод // Строительство – Формирование среды жизнедеятельности Москва 26 – 28 Апр 2017. 1093 – 1096 с.
9. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3/Mogens Henze, Willi Gujer, Takashi Mini, Mark van Loosdrecht. IWA Task Group on Mathematical Modeling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, 2000. 5 – 25 p.
10. Stig Morling. Nitrogen removal efficiency and nitrification rates at the Sequencing batch reactors in Nowy Targ, Poland // ISSN 0042-2886, Vol. 64, no 2, 2008. 121 – 128 p.
11. Яковлев С.В., Карюхина Т.А., Биохимические процессы в очистке сточных вод. 1980. 136 с.
12. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> Edition/American Public Health Association, 1998.
13. Унифицированные методы исследования качества вод, Часть 1, Том 1 / Совет Экономической Взаимопомощи, Москва, 1987.

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ГИС В АО «МОСВОДОКАНАЛ»**

**А.Н. Майоров**, руководитель проектного офиса АО «Геокибернетика», г. Москва

### **Введение**

Сетевое хозяйство АО «Мосводоканал» можно смело назвать крупнейшим в мире. И не столько потому, что оно обеспечивает чистой водой каждого десятого жителя нашей страны (именно столько населения сконцентрировано в столице). Дело в том, что другие крупные водоканалы являются в большей степени операторами оказания услуг, объединяющие под собой несколько отдельных водных компаний, функционирующих в большей степени независимо друг от друга. В отличие от многих, Мосводоканал по праву называется крупнейшим сетевым хозяйством, т.к. все коммунации предприятия образуют единую связанную сеть, через которую ежедневно подается 3.3 млн. кубических метров чистой воды с 4х станций водоподготовки, а сточные воды транспортируются на 4е очистные сооружения (за исключением сетей ТиНАО и г.Зеленоград, которые составляют менее 5% всего сетевого хозяйства предприятия). Получается, что одна станция и очистное сооружение Москвы, в среднем, обслуживают около 4 млн. человек. Сложно найти аналогичные примеры где-то еще во всем мире.

Справка: АО «Мосводоканал» эксплуатирует более 20 т. км. трубопроводов, около 600 тысяч камер и колодцев, около 1000 больших и малых насосных сооружений, парк автотранспорта составляет порядка 3 тысяч единиц. Предприятие поделено более, чем на 30 производственных подразделений, находящихся в тесном взаимодействии друг с другом.

Масштаб предприятия, уникальность и неповторимость большинства процессов общества накладывает свой отпечаток во всех сферах деятельности АО Мосводоканал. В Мосводоканал не работают практики, успешно зарекомендовавшие себя у других. Как правило, внедрение готовых продуктов сопровождается кастомизацией этого самого продукта в таком объеме, что в конечном итоге он перестает напоминать свою первоначальную версию. Второе правило, которое при этом также стабильно работает – подрядчик не готов к столь кардинальным изменениям своего продукта, т.к. он пришел не разрабатывать новую версию продукта, а внедрять готовое решение.

### **Цифровая трансформация**

5 лет назад, когда в АО Мосводоканал началась работа над ЕГИС, перед руководством стал выбор по какому пути пойти: использовать мировой брэнд, масштабировать готовое решение для небольших водоканалов или приступить к разработке собственной системы, которая бы строилась под процессы, а не наоборот. Можно было пойти любым из этих путей, а учи-

тывая тот факт, что на предприятии уже функционировали системы, отвечающие требованиям и первого, и второго вариантов, разработка собственного решения казалось занятием бесперспективным.

Но здесь следует признать мудрость руководства, которое запустило процесс цифровой трансформации по пути «бархатных реформ»: мягкое и постепенное перестроение деятельности всего предприятия в целом и каждого задействованного сотрудника в частности. Построение такого пути было возможно только с разработкой системы под себя, вместо поиска готовых решений. Тогда была поставлена задача подобрать надежного партнера для запуска проекта под кодовым названием «Е-», чтобы превратить ГИС в «Е-ГИС». После чего в компании появилась АО «Геокибернетика», которая задержалась в Мосводоканале на следующие 5 лет и продолжает сотрудничество по сей день.

### **Информационное наследие**

Стоит отметить, что к тому моменту на предприятии уже функционировала ГИС на базе MapInfo, а также ряд информационных баз данных, на которых велась паспортизация основных средств предприятия. Системы, хоть и работали, но были морально устаревшими, имели слабую интеграцию друг с другом, регламенты были не совершенны. Но их информационный багаж был бесценен. Количество единиц информационных объектов исчислялось несколькими миллионами. Да, зачастую, информация была неактуальна, местами противоречила друг другу, но все равно терять такие данные было недопустимо, а мы не могли себе позволить посадить людей и набивать все заново в «правильной» структуре. Просто по причине того, что такая работа растянулась бы на десяток лет. Поэтому мы поставили себе следующие цели:

- Придать данным новую, доступную и современную форму (re-form);
- Улучшить качество накопленных данных;
- Обеспечить максимально возможную достоверность вновь вносимых данных;
- Ликвидировать барьеры, препятствующие анализу данных.

При этом мы должны были сохранить базовые структурные и понятийные принципы хранения и обработки данных, которые строились на предприятии на протяжении нескольких десятков лет.

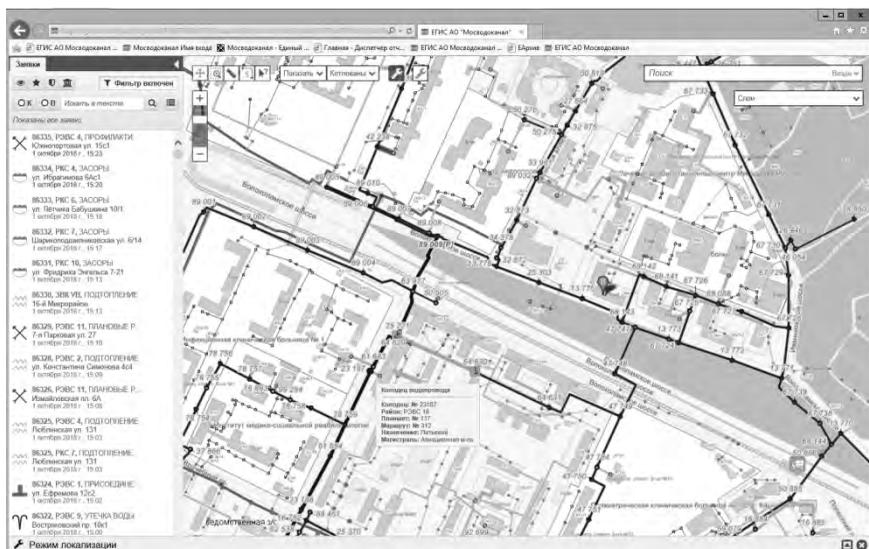
Кратко говоря, мы хотели, чтобы рядовой сотрудник, войдя в новую систему, сразу ощутил себя в родной среде, оперировал привычными ему понятиями, находясь в принципиально новой оболочке.

Исходя из этого, родился манифест ЕГИС, отражающий основные принципы и идеи, которым должен отвечать процесс внедрения и финальный результат:

- Непрерывное повышение качества традиционных процессов важнее их кардинальной реструктуризации.

- Собственные разработки и отечественное ПО важнее импортных аналогов.
- Назначение функций системы должно определять глубину проработки информационной модели, а не наоборот.
- Корректность вводимых сведений важнее затраченного на это времени.
- Улучшение качества имеющихся данных важнее, чем ввод этих данных с чистого листа.
- Система - единственный и достаточный источник достоверных сведений как для редакторов, так и для пользователей.

## Облик ЕГИС



**Рис. 1.** Внешний вид единого портала диспетчерского управления.

Здесь следует сказать что из себя представляет ЕГИС АО «Мосводоканал». ЕГИС – Единая Геоинформационная Система. Но это не просто карта, как многим может показаться на первый взгляд. Это целое семейство модулей и подсистем:

1. Паспортизация сетевого хозяйства с масштабными и немасштабными схемами.
2. Паспортизация устройств ЭХЗ.
3. Система ведения аварийных мероприятий.
4. Единый портал диспетчерского управления с системой моделирования аварийных ситуаций.
5. Мобильный Offline-клиент.

6. Заказ автотранспорта.
  7. Котлованы и байпасы.
  8. Технический архив.
  9. Калькулятор техприсоединений.
  10. Мобильное приложение, предназначенное для идентификации на местности колодцев отбора проб.
- ЕГИС имеет интеграцию с 15 системами, находящимися в промышленной эксплуатации.

## **Архитектура ЕГИС**

Система развернута на катострофоустойчивой аппаратной архитектуре в виртуальной операционной среде. Программная архитектура системы построена в идеологии SOA (сервисно ориентированная архитектура), центральной частью является интеграционная шина Microsoft Service Bus, в качестве системы хранения используется СУБД SQLServer Spatial, в качестве ГИС платформы используется ПК «GeoBuilder» с применением стандартов OGR/OGC. Работа и производительность системы находится под постоянным контролем системы мониторинга Kibana/Elasticsearch.

Использование интеграционной шины позволило обеспечить работу всех модулей системы в режиме 24x7 без потери данных даже в момент временной остановки отдельных компонентов системы, например, во время обновлении новых версий.

### **Функция локализации и автоматизированное построение схем закрытия**

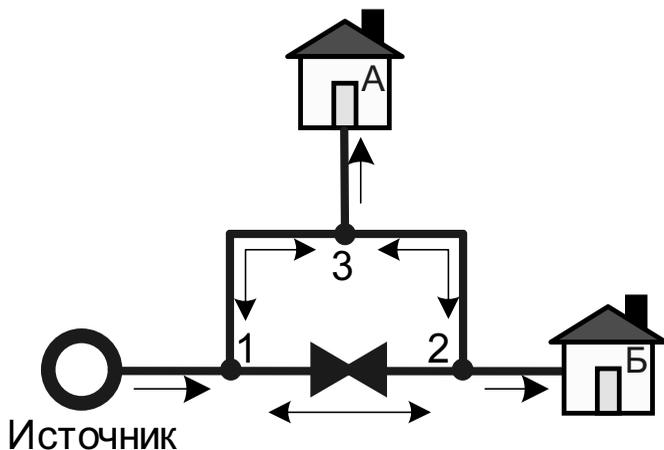
Схема водопровода в ЕГИС представлена в виде графа: математической модели, состоящей из узлов и связей между ними. Узлы соответствуют любым разветвлениям на сети: тройникам, крестовинам, врезкам и т.п. Связи между узлами - это трубопроводы или запорная арматура. Связи бывают направленными, двунаправленными, а также могут быть открытыми или закрытыми. Закрытая связь соответствует закрытому состоянию запорной арматуры. Направленная связь соответствует участку, где направление воды известно заранее и не меняется: магистральная сеть, либо водопроводный ввод (участок к потребителю). Двунаправленные связи составляют 99% относительно всех связей графа

Граф перестраивается непрерывно в реальном времени в момент, когда инвентаризация вносит изменения в схему водоснабжения или когда диспетчер изменяет положение ЗРА, отмечая этапы выполнения работ.

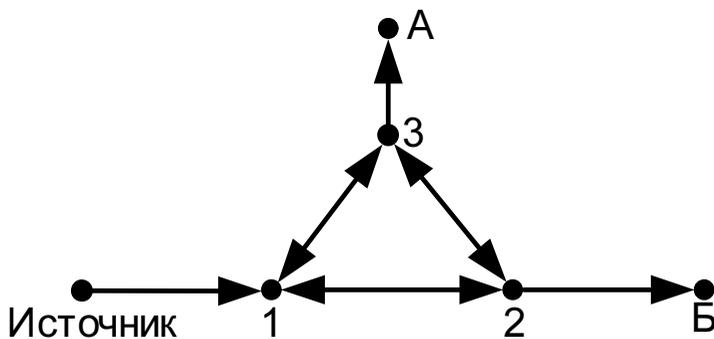
Создав графовую модель сети, мы смогли получить ответы на следующие вопросы:

- Какие участки и потребители отключены в данный момент и кто будет отключен при проведении работ или при расширении зоны проведения работ.

- Где проходит граница зон влияния станций или зон сетевого регулирования, изолирована ли зона в данный момент, если нет, то где именно.
- Какие задвижки должны быть закрыты для локализации аварии на участке или поступлении воды из колодца, либо для замены арматуры в колодце.



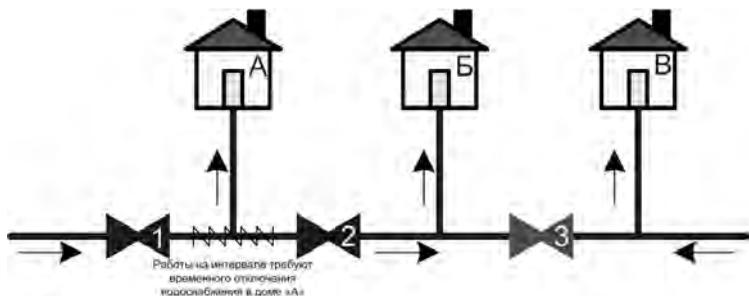
*Планарная схема участка сети от источника до потребителя*



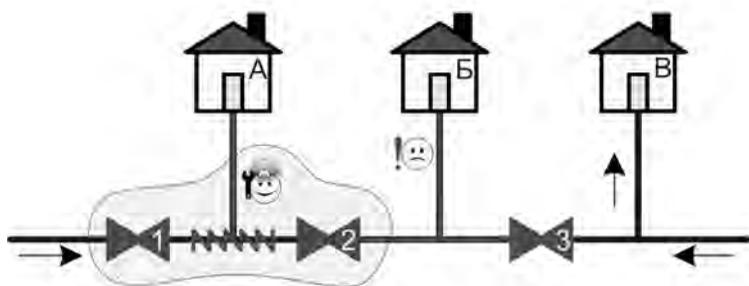
*Граф участка сети*

**Рис. 2.** Граф сети

Стоит отметить особо, что лишь благодаря наличию целостной базы данных удалось достоверно определять всех отключенных потребителей, включая тех, что раньше могли быть отключены несанкционированно. В качестве пояснения такой ситуации приложена иллюстрация ниже:



1. Задвижки №1, 2 находятся в открытом состоянии
2. Задвижка №3 закрыта, но не препятствует водоснабжению
3. Дома «А», «Б», «В» подключены к водоснабжению



1. Задвижки №1, 2 закрыты, чтобы локализовать интервал для проведения работ
2. В доме «А» произошло плановое временное отключение
3. В доме «Б» произошло **неплановое отключение**

**Рис. 4.** Неплановое отключение участка сети

Рисунок отражает случай, когда рядовые плановые работы на сети могут привести к незапланированному отключению абонента или гидранта, которые находятся за пределами зоны проведения работ. Такое чаще происходит когда, к примеру, задвижки №2 и 3 эксплуатируются различными районами. Без использования Системы такие ситуации могли упускаться из виду. Теперь Система однозначно определяет все отключенные участки, здания, гидранты вне зависимости от того попадают ли они в зону проведения работ или нет.

На основе алгоритма локализации был разработан инструмент, позволяющий строить планарные компактные схемы закрытия больших участков, готовых для вывода на печать. При построении схем учитывалось геометрическое соседство колодцев, без привязки к местности. Это позволило создавать схемы закрытия всего за пару кликов.

РВЭС 11. Закрытие участка магистрали Ткацкая  
Участки: Ø=900, 600мм; L=1386,01 м., V=394,7м³  
Колодцы: №№: 7846; 15538; 15539; 19371; 20135; 36657; 68971. Планышты: 203, 204. Маршруты: 102, 112.  
Адрес: Окружной пр., 17. Ткацкая ул., 19, 27, 45

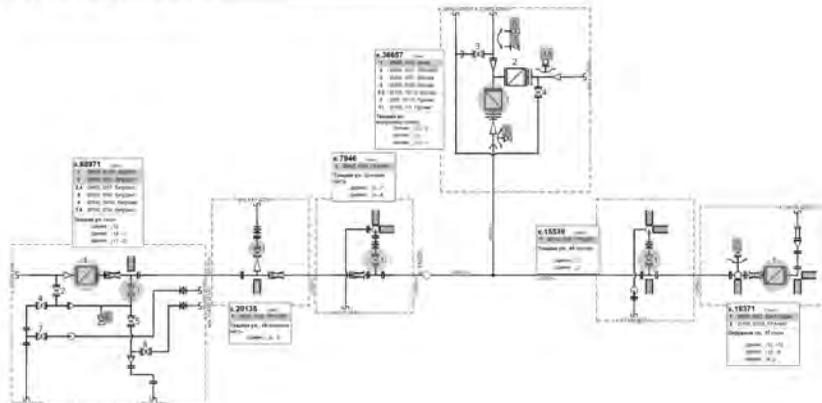


Рис. 3. Планарная схема закрытия участка водопроводной сети

### Другие примечательные функции ЕГИС

- Электронный архив.

ЕГИС позволяет не только работать с интерактивной схемой коммуникаций, но при необходимости, обратиться к первоисточнику информации, т.е. к исполнительным чертежам, на основе которых эта информация вносилась в систему. Это делается не выходя из системы и без необходимости обращения в архив. В зависимости от привилегий пользователя, изображения могут быть доступны только на просмотр или доступны для скачивания.

- Мобильный планшет для идентификации колодцев отбора проб.



Рис. 4. Фотография 360 градусов

Мобильное приложение предназначено для сотрудников, у которых стоит задача безошибочно найти и идентифицировать нужный люк на местности, даже если сотрудник ни разу не посещал это место. В приложении используется геопозиционирование совместно с интерактивными панорамными фотографиями на 360 градусов. Выйдя к искомой точке, пользователь может переключиться в режим просмотра фотографии 360 и точно сориентироваться на месте, совместив интерактивную картину на планшете с картиной перед глазами. Это позволяет идентифицировать люк, не рассчитывая только на точность геопозиционирования, погрешность которого зачастую весьма значительна. Интерактивная фотография дает высокий эффект присутствия и позволяет безошибочно определить нужный люк даже в условиях, когда его приходится искать среди россыпи крышек других люков.

### **Несколько фактов из истории ЕГИС**

- Первые циклы массового исправления ошибок в данных были запущены уже на первом году разработки, еще задолго до появления первой версии ЕГИС. Они выполнялись в старых системах, а результаты контролировались в специально разработанном VI-приложении на платформе QlikView. Таким образом, ЕГИС приносил пользу еще до своего рождения.

- Импорт старых данных была и остается самой трудозатратной функцией в разработке ЕГИС. Несмотря на то, что в новую систему сразу были перемещены все старые данные, ошибки импорта обнаруживались и исправлялись еще на протяжении 4х лет после запуска первой версии ЕГИС.

- ГИС так или иначе интегрирован во все информационные системы предприятия. Даже повседневные выборки, выгруженные в Excel, снабжаются ГИС поддержкой: можно работать с картой прямо не покидая привычный интерфейс.

- Процесс валидации данных в ЕГИС является саморегулируемым благодаря инженерам эксплуатации – главной двигательной силой качества и достоверности данных в ЕГИС. Инженер понимает, что экономит свое время, когда получает готовый результат из ЕГИС, поэтому заинтересован в их качестве. Создание чертежей схем закрытия в Visio, AutoCad и т.п. отнимает намного больше времени, чем поиск ошибки в исходных данных.

- Пользователями первой версии ЕГИС являлись 50 человек. Спустя 5 лет количество пользователей выросло в 20 раз.

### **Библиографический список**

1. Сайт Мосводоканала [Электронный ресурс]. – М.: ОАО Мосводоканал, – Режим доступа: <http://www.mosvodokanal.ru/>, свободный.
2. Сайт Wikipedia.org, – Режим доступа: <https://www.wikipedia.org/>, свободный.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОЦЕССА ИОННОГО ОБМЕНА В ГЕТЕРОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Г.Ш. Мамина, аспирант, НИУ МГСУ, г. Москва; В.Б. Викулина, доц., к.т.н., НИУ МГСУ, г. Москва

Физико-химические методы очистки сточных вод, в которых используются физические методы и химические реакции, специально подбираются для удаления веществ, содержащихся в сточных водах. В таблице представлена классификация методов очистки (табл. 1).

Таблица 1

### Классификация методов очистки сточных вод

№	Наименование
1	Нейтрализация
2	Флокуляция, осаждение
3	Умягчение
4	Экстракция
5	Обратный осмос, ультрафильтрация
6	Удаление азотосодержащих веществ а) биологические б) ионный обмен, отгонка паром
7	Сжигание, озонирование

Целью применения из предложенных методов очистки является ускорение процессов и получение веществ, которые могут быть использованы в различных технологиях.

Во многих случаях со сточными водами предприятий в водные объекты поступают вещества с одними и теми же лимитирующими признаками вредности, и их действие оказывается аддитивным. Эффективность очистки сточных вод должна быть направлена на уменьшение остаточного содержания предельно допустимых концентраций.

Современные очистные сооружения промышленных объектов, основанные на традиционных методах очистки (механической, химической, биологической) могут не соответствовать требованиям. Организация водоборота на промышленных объектах может привести к постепенному росту минерализации циркуляционной воды. Для исключения сброса в водоем загрязняющих веществ необходимо разрабатывать поэтапно замкнутые системы водопользования отдельных видов производств. 1 этап – организационно-технические мероприятия по снижению водопотребления, не требующие увеличения капитальных затрат. 2 этап – реализация мероприятий с использованием дополнительного оборудования и внедрения физико-химических методов очистки сточных вод, извлечение сырья.

Потоки сточных вод предприятий необходимо разделять по видовому, фазовому, концентрационному, энтальпийному признакам и, соответственно, для каждого потока разрабатывать способ очистки.

В обязательном порядке необходимо проводить тщательный анализ исходного содержания веществ и их соотношения, и только после данной подготовки приступать к выбору тех или иных методов очистки.

Возвращаясь к классификации методов очистки (табл. 1) производственных сточных вод, метод ионного обмена и его применение требуют изучения исходного состава воды.

Пример: концентрация в исходной воде – азотосодержащие вещества, сульфаты, хлориды, как приоритетные концентрации.

$\text{NO}_3^-$  в пересчете на N ~ 1000 мг/л

$\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}$  ~ 1000 мг/л

Гетерогенная система – неоднородная физико-химическая система, которая состоит из веществ, различных по физическим свойствам или химическому составу.

Одна фаза отделена от смежной поверхностью, на границах которой скачком изменяются свойства.

Конкретно, к исходной сточной воде присутствие  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  (что нас интересует), можно отнести к гетерогенным системам, т.к. они обладают различными свойствами.

Равновесие исходной воды нарушается (сдвигается), если одно из исходных веществ диссоциировано меньше или больше.

Гетерогенный ионный обмен – ионообменная сорбция – происходит процесс между ионами раствора и ионами на поверхности твердой фазы – ионита.

### **Теоретические исследования процесса ионного обмена в условиях исходной сточной воды в гетерогенной системе**

Выделим сечения 1-1 и 2-2, элементарный слой  $\Delta x$  на расстоянии  $x$  от поверхности загрузки.

Принимаем площадь горизонтального сечения равным  $l$

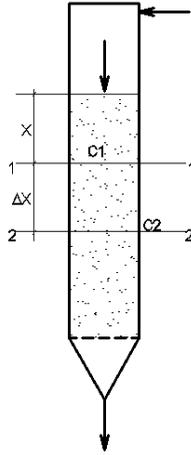
$$S_{z.c.} = l.$$

К сечению 1-1 подходит вода с концентрацией азотосодержащими соединениями равной  $C_1$ , а к сечению 2-2 – с концентрацией  $C_2$ .

Снижение концентрации азотосодержащих веществ в элементарном слое можно записать в виде уравнения

$$\Delta C = -(C_2 - C_1) = -\frac{\partial C}{\partial x} dx, \text{ на площади равной } l. \quad (1)$$

где  $\frac{\partial C}{\partial x}$  – градиент концентрации азотосодержащих соединений.



**Рис. 1.** К расчету уравнений ионного обмена

Так как в исходной воде присутствуют хлориды, сульфаты, то последние могут оказывать отрицательное влияние на исследуемый процесс.

Эффект изъятия азотосодержащих веществ – суммарный процесс изъятия азотосодержащих веществ. Замедление процесса ионного обмена может осуществляться за счет изменения соотношения хлоридов и сульфатов.

Предположим, при начале процесса  $Cl^- / SO_4^{2-}$  равно некому значению  $a$ :

$$Cl^- / SO_4^{2-} = a. \quad (2)$$

В конце рассматриваемого процесса данное соотношение будет равно  $b$ , т.е.:

$$Cl^- / SO_4^{2-} = b. \quad (3)$$

Отношение  $Cl^- / SO_4^{2-}$  влияет на сам процесс, и изменение концентрации будет равно:

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{a}{b} \cdot C - M \cdot \alpha, \quad (4)$$

где  $M$  – масса азотосодержащих веществ,  $\alpha$  – параметр обмена частиц, зависимый от обменной способности анионита.

При ионном обмене и движении воды через загрузки происходит из-за способности нерастворимых в воде веществ обменивать подвижные ионы загрузки на ионы, содержащиеся в исходной воде.

Эффект удаления азотосодержащих веществ каждым элементарным слоем рассматриваем как сумму двух процессов:

1. Изъятия азотосодержащих веществ из воды;
2. Влияния ионов  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  как мешающих, и это зависит от эквивалентных соотношений.

В элементарном слое изъятие происходит до тех пор, пока обменная емкость не будет стремиться к 0.

Составим уравнение баланса веществ.

Через единицу площади поперечного сечения слоя за единицу времени проходит объем воды, соответствующий скорости и обменной способности загрузки

$$\Delta P = v \cdot \Delta C = -v \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \frac{a}{b} dx. \quad (5)$$

Знак «-» в уравнении показывает, что концентрация уменьшается с увеличением расстояния  $x$  от поверхности загрузки.

Массовое количество вещества, задерживаемое слоем с единичной площадью за единицу времени составит

$$M \cdot \Delta x \cdot \alpha, \quad (6)$$

а весовое количество задерживаемого вещества через слой  $\Delta x$  составит

$$\Delta p = \frac{\partial M}{\partial T} a \cdot dx. \quad (7)$$

Получим уравнение баланса вещества

$$\frac{\partial M}{\partial T} = -v \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \frac{a}{b} dx \cdot \frac{1}{\alpha}. \quad (8)$$

Выводы:

1. Использование ионного обмена в условиях гетерогенных растворов, к которым относятся полученное теоретическое уравнение (8) связывает исходную концентрацию азотосодержащих соединений и исходную концентрацию хлоридов и сульфатов.

2. Хлориды и сульфаты снижают эффект удаления азотосодержащих соединений. Их соотношение влияет на динамику ионного обмена.

#### Библиографический список

1. Кастальский А.А., Минц Д.М. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М.: Высшая школа, 2002. – С.37.
2. Карманов А.П., Полина И.Н. Учебное пособие. «Технология очистки сточных вод». Сыктывкар: СЛИ, 2015 г.- 207 с.
3. Серпокровлов Н. С., Вильсон Е. В., Гетманцев С. В., Марочкин А. А. Учебник для вузов. «Экология очистки сточных вод физико-химическими методами». М.: АСВ, 2009 г.- 264 с.
4. Никольский А.Б., Суворов А.В. Учебник для вузов. «Химия». СПб.: Химиздат, 2001 г. – 512 с.

## ДВУХКОЛОННАЯ ДВУХФИЛЬТРОВАЯ СКВАЖИНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Ю.А. Медведева, аспирант, БНТУ, г. Минск, Беларусь; В.В. Ивашечкин, д.т.н., профессор, БНТУ, г. Минск, Беларусь

В настоящее время подземные воды добываются в большинстве Европейских стран с помощью водозаборных скважин, которые являются наиболее распространенным типом водоприемных сооружений. Для обеспечения бесперебойной подачи воды потребителю часто предусматривается устройство двух водозаборных скважин: основной и резервной, имеющих индивидуальные здания насосных станций, а также зоны санитарной охраны строгого режима с внешними ограждениями. Такая схема размещения рабочей и резервной скважин предполагает существенные материальные затраты на сооружение отдельных скважин с павильонами и сетями, а также требует отчуждения земель под территории зон санитарной охраны.

Для снижения капитальных затрат на строительство резервных скважин в БНТУ предложена конструкция размещенной в одном общем кондукторе двухколонной двухфилтровой водозаборной скважины, выполняющей функции как рабочей, так и резервной скважин [1]. Каждая из двух колонн имеет собственный оголовок, надфилтровую трубу для размещения насоса, фильтр и отстойник. Колонны между собой гидравлически связаны с помощью верхней и нижней соединительных перемычек, размещенных выше и ниже фильтров. В скважине в каждой из колонн на водоподъемных трубах смонтированы погружные насосы, которые могут работать как вместе, так и попеременно. Таким образом, мы имеем насосную станцию первого подъема с общим павильоном, имеющую одно водоприемное сооружение, представляющее собой двухколонную двухфилтровую скважину, оборудованную двумя одинаковыми насосами. При работе одного насоса работают параллельно два фильтра, соединенные перемычками. Это позволяет снижать эксплуатационные затраты на подъем воды, так как удельный дебит двухколонной скважины выше, чем одноколонной однофилтровой. В случае выхода из строя одного из насосов, сразу же включается другой, чем обеспечивается бесперебойность подачи воды потребителю. При выходе из строя одного фильтра или при его текущем или капитальном ремонте может работать другой фильтр. Это существенно улучшает надежность работы и эксплуатационные характеристики предлагаемой скважины.

Рассмотрим случай, когда два одинаковых насоса работают в двух колоннах одновременно, тогда работу двухствольной скважины можно рассматривать как работу двух взаимодействующих между собой скважин с одинаковыми дебитами.

В общем случае расчет группы взаимодействующих скважин (рис. 1) выполняются на основе метода наложения течений (суперпозиции), согласно которому результирующее поле определяется простым алгебраическим сложением независимо от рассматриваемых полей отдельных действующих скважин.

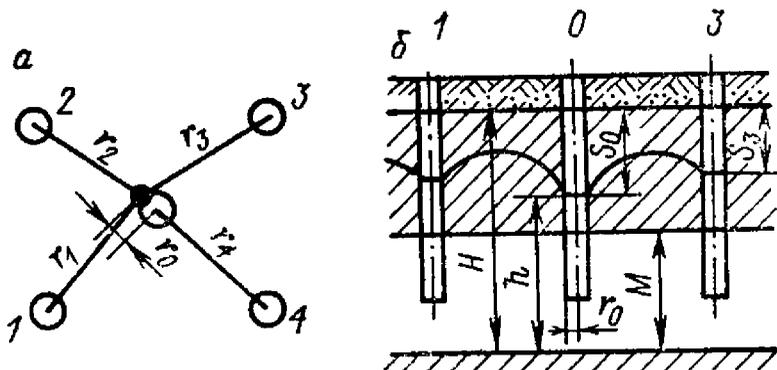


Рис. 1. Схема взаимодействия скважин [2]:  
а – план расположения скважин; б – разрез напорного горизонта

Применительно к определению величины понижения уровня в одной из  $n$  взаимодействующих скважин решение, основанное на принципе суперпозиции, можно записать в общем виде так:

$$S_c = S_0 + (\Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n), \quad (1)$$

где  $S_0$  – понижение уровня в рассматриваемой скважине без учета взаимодействия (как одиночной);  $\Delta S_1, \Delta S_2, \dots, \Delta S_n$  – понижения уровня на стенке рассматриваемой скважины от действия всех остальных взаимодействующих с нею скважин.

Например, в результате откачки из скважины № 0 (см. рис. 1) при дебите  $Q_0$  положение уровня воды в ней определилось величиной  $h$  и понижением равным  $S_0$ . Если расстояние между скважинами меньше радиуса влияния  $R$  скважины № 0, то в скважине № 3 понижение напора установится на уровне соответствующем понижению  $S_3$ .

На основе общего выражения (1) величину понижения уровня  $S$  в точке, находящейся на различных расстояниях от взаимодействующих скважин можно определить по формуле [2]:

$$S = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi km} \alpha \left[ \ln \frac{2,25at}{r_1^2} + \sum_{i=1}^n \ln \frac{2,25at}{r_i^2} \right], \quad (2)$$

где  $S_0$  – понижение в рассматриваемой точке, м;  $Q_{\text{сум}}$  – суммарный дебит взаимодействующих скважин, м<sup>3</sup>/сут;  $k$  – коэффициент фильтрации, м/сут;  $m$  – мощность водоносного пласта, м;  $\alpha$  – коэффициент взаимодействия (интерференции) скважин по дебиту ( $\alpha = \frac{Q_i}{Q_{\text{сум}}}$ );  $r_1$  – радиус скважины, м;

$r_i$  – расстояние от точки до скважины, м;  $a$  – коэффициент пьезопроводности, м<sup>2</sup>/сут;  $t$  – продолжительность откачки, сут.

Выражение (2) применяется при условии  $\frac{r_i^2}{at} \leq 0,05 \div 0,1$ , где  $r_i^2$  – расстояние от взаимодействующей скважины до рассматриваемой точки и при  $Q_0 = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4$ .

Применим выражение (2) к схеме двухколонной скважины (рис. 2).

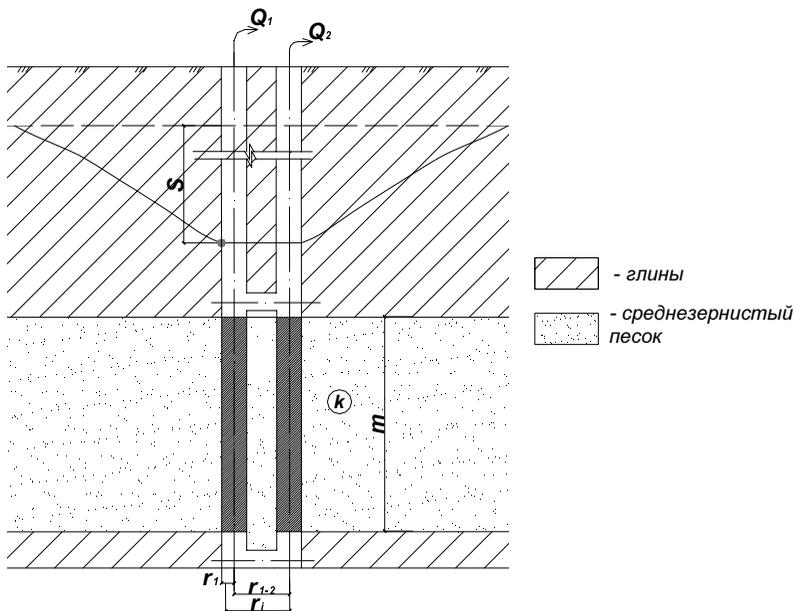


Рис. 2. Схема двухколонной скважины

Система состоит из двух взаимодействующих совершенных артезианских скважин, расположенных на расстоянии  $r_i$  друг от друга и работающих с дебитами  $Q_1 = Q_2 = Q$  (см. рис. 2), можно определить понижение уровня подземных вод на стенке фильтра створа № 1 при  $\alpha = 0,5$ ;  $Q_{\text{сум}} = 2Q$ :

$$S = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi km} \alpha \left[ \ln \frac{2,25at}{r_1^2} + \ln \frac{2,25at}{r_i^2} \right] = \frac{Q}{4\pi km} \left[ \ln \frac{2,25at}{r_1^2} + \ln \frac{2,25at}{r_i^2} \right], \quad (3)$$

**Пример.** Пусть фильтровые колонны № 1 и № 2 двухколонной скважины имеют радиусы  $r_1 = r_2 = 0,04$  м и работают с расходами  $Q_1 = Q_2 = 5 \text{ м}^3/\text{ч} = 120 \text{ м}^3/\text{сут}$  на протяжении  $t = 90$  суток. Расстояние от створа №2 до точки, в которой определяется понижение  $r_i = 0,055$  м. Для среднезернистого песка принимаем коэффициент пьезопроводности  $a = 0,5 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$ ,

коэффициент фильтрации  $k = 10$  м/сут. Мощность водоносного пласта  $m = 10$  м.

Тогда понижение в двухколонной скважине согласно (3) будет равно:

$$S = \frac{120}{4 \cdot 3.14 \cdot 10 \cdot 10} \left[ \ln \frac{2,25 \cdot 0.5 \cdot 10^5 \cdot 90}{0.04^2} + \ln \frac{2,25 \cdot 0.5 \cdot 10^5 \cdot 90}{0.055^2} \right] = 4.25 \text{ м.}$$

Для изучения гидравлики двухколонной двухфилтровой скважины проведен ряд лабораторных и полевых исследований [3].

На полигоне под Минском для полевых исследований была сооружена двухколонная скважина, которая представлена на рис. 3.



**Рис. 3.** Скважина двухколонной конструкции

По результатам исследований можно сделать выводы о том, что применение предлагаемой скважины позволит:

- увеличить удельный дебит и срок службы по сравнению с одноколонной;
- осуществлять бесперебойно подачу воды потребителю, имея в каждом стволе отдельный насосный агрегат;

- значительно уменьшить площади отчуждаемых под строительство земель и длину коммуникаций;
- обеспечить снижение капложений по сравнению с сооружением двух отдельно расположенных скважин за счет одной буровой площадки и устройства одного павильона вместо двух.

#### Библиографический список

1. Ивашечкин В.В., Медведева Ю.А., Курч А.Н. Двуствольная фильтровая водозаборная скважина для эксплуатации одного водоносного горизонта // Мелиорация. 2017. № 3(81). С. 36–41.
2. Максимов В.М. Справочное руководство гидрогеолога. 3-е изд., перераб. и доп. Т.1 / В.М. Максимов, В.Д. Бабушкин, Н.Н. Веригин и др. – Л., Недра, 1979. - 512 с.
3. Медведева Ю.А., Ивашечкин В.В., Кочергин А.Ю. Лабораторные и натурные исследования двухколонной водозаборной скважины // Геотехника Беларуси: наука и практика: материалы Международной конференции / редкол.: В.А. Сернов [и др.]; БНТУ. – Минск, 2018. – С. 132-138.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ НАСАДОК ДЛЯ ЭКОНОМИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В СОВРЕМЕННЫХ ЗДАНИЯХ

**Е.В. Орлов**, к.т.н., доц., НИУ МГСУ, г. Москва; **О.И. Шипков**, к.т.н., доц., Российская академия живописи, ваяния и зодчества Ильи Глазунова (РАЖВиЗ), г. Москва; **И.А. Снянский**, к.т.н., доц., Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва

Экономия воды в жилых, общественных и промышленных зданиях является необходимым требованием, позволяющим обеспечить стойкое водосбережение в современном мегаполисе [1-4].

Стоит сказать, что сегодня разработано определенное количество водосберегающих приборов и технологий, применение которых в зданиях позволит значительно снизить водопотребление. Однако, такие решения являются дорогими и для некоторых слоев населения практически недоступными, что не позволяет употреблять термин “водосбережение” в полной мере [5-8].

Сегодня для экономии потребителем воды, как холодной, так и горячей, во внутреннем водопроводе могут использоваться специальные разработанные устройства – водосберегающие насадки. В отличие от известных всем бесконтактных смесителей их отличает низкая цена, возможность самостоятельного и быстрого монтажа (отсутствует необходимость в вызове сантехника), требуемый уровень надежности, быстрая подача воды и моментальное отключение, что позволяет экономить до 70% потребляемой пользователем воды к квартире [9-10].

Водосберегающая насадка состоит из следующих элементов: корпуса, выполненного из металла с пластмассовыми вставками; излива с аэратором; резьбы для накручивания прибора на смеситель; механического штока (стержень), выполняющего включение/отключение подачи воды.

Водосберегающая насадка работает следующим образом. Рассмотрим пример совместной работы стандартного однорычажного смесителя и данного прибора. Водосберегающая насадка устанавливается вместо стандартного аэратора, входящего в комплект с каждым современным смесителем. Пользователь вкручивает водосберегающую насадку на резьбу смесителя до упора, затем необходимо рычагом отрегулировать (примерно) необходимую температуру воды (повернув рычаг влево или вправо) и требуемый расход (подняв рычаг на определенную высоту вверх).

Следующим действием пользователя станет включение водосберегающей насадки для излива воды. Для этого потребитель легонько кончиком пальца надавливает на механический шток (стержень) вверх, после этого через насадку начинает течь вода с требуемой температурой и заданным напором. При желании данные параметры можно отрегулировать уже при истечении воды через смеситель достаточно быстро, что позволит избежать потерь воды в системе внутреннего холодного и горячего водоснабжения. После проведения процедур пользователь также легонько на-

жимает на механический шток и вода прекращает поступать через смеситель. Целесообразно также отключать каждый раз смеситель (когда насадка не используется), чтобы не увеличивать дополнительную нагрузку на водосберегающую насадку.

Стоит сказать, что такая водосберегающая насадка позволяет потребителю снизить объемы подаваемой воды в квартиру, исключая “холостые” потери из внутреннего водопровода. Также в состав данного прибора входит встроенный аэратор, позволяющей дополнительно (5-10%) снизить расход воды, за счет того, что струя, выходящая из смесителя, становится более объемной и плотной, т.к. насыщает воду воздухом, что значительно увеличивает моющую эффективность, снижая ее расход.

Кроме того, имеются специальные модели таких водосберегающих насадок, которые способны работать от настраиваемого пользователем таймера от 2 до 10 секунд (при необходимости). Такая модель ничем не отличается от вышеперечисленного варианта. Однако, механический шток (стержень) имеет узкое маленькое отверстие, через которое специальным ключом потребителем может отрегулировать время истечения воды через насадку после ее включения. Это позволяет дополнительно снизить потребление воды потребителем при использовании системы внутреннего водопровода.

Данные водосберегающие насадки можно применять в общественных зданиях ограничено, т.к. их при желании можно демонтировать и унести в собой. Также их принцип работы (в отличие от бесконтактного смесителя) не может заставить пользователя экономить воду (у потребителя отсутствует психологический стимул экономить воду в общественном здании). Единственным обоснованным местом их применения остается помещение квартиры или частный жилой дом.

Кроме того, использование водосберегающей насадки позволяет бороться с распространением инфекций, т.к. значительно снижается передача большого количества микробов и вирусов между пользователями данного высокотехнологичного прибора.

Стоит отметить, что цена водосберегающих насадок, в отличие от бесконтактных смесителей, очень низкая, что позволяет использовать такие приборы при должном уровне популяризации любыми слоями населения (их цена в десятки раз ниже, чем бесконтактных смесителей).

Стоит подытожить, что применение водосберегающих насадок рекомендовано в качестве простого и дешевого метода экономии воды.

#### Библиографический список

1. Исаев В.Н., Чухин В.А., Герасименко А.В. Ресурсосбережение в системе хозяйственно-питьевого водопровода // Сантехника. 2011. № 3. С. 14-17.
2. Исаев В.Н., Чухин В.А., Герасименко А.В. Интеллектуализация системы водоснабжения жилых и общественных зданий // Сантехника. 2010. № 6. С. 16-19.

3. Кедров В.С., Исаев В.Н., Орлов В.А., Пальгунов П.П., Сомов М.А., Чухин В.А. Водоснабжение и водоотведение. М.: Стройиздат. 2002. 336 с.
4. Исаев В.Н., Нечитаева В.А., Кондратьев В.В. Структура водопотребления в жилых зданиях // Трубопроводы и экология. 2004. № 2. С. 26.
5. Исаев В.Н., Нечитаева В.А. Энергоресурсосбережение в системах водоснабжения // Водоснабжение и канализация. 2010. № 4. С. 88-91.
6. Бунькина И.А. Пути организации финансирования для оздоровления среды обитания на рекреационных территориях // Естественные и технические науки. 2015. № 3 (81). С. 244-246.
7. Наназашвили И.Х., Литовченко Б.А., Бунькина И.А. Благоустройство и экология в городской среде на территории высокоуплотненной застройки // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 1. С. 58-59.
8. Орлов Е.В. Водо-и ресурсосбережение. Жилые здания коттеджных и дачных поселков // Технологии мира. 2012. № 10. С. 35-41.
9. Исаев В.Н., Смирновская А.М. Водопотребление зданий. Основные методы, приводящие к снижению потерь воды во внутреннем водопроводе // Техника и технологии мира. 2015. № 6. С. 33-37.
10. Исаев В.Н. Рационализация квартирного водопотребления // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 4 (88). С. 4-7.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМОВ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

**И.И. Павлинова**, проф., д.т.н., АО «МосводоканалНИИпроект», г. Москва;  
**О.А. Платонова**, к.х.н., АО «МосводоканалНИИпроект», г. Москва

В настоящее время очистные сооружения биологической очистки коммунальных систем водоотведения поставлены перед необходимостью обеспечивать качество очистки сточных вод до норм, указанных для рыбохозяйственных водоемов с использованием технологий, утвержденных в справочнике ИТС 10-2015 [1].

Аэробная биологическая очистка сточных вод от органических примесей активным илом в системах очистных сооружений, включающих аэротенки и вторичные отстойники, применяется длительное время и имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими методами обезвреживания сточных вод. Однако предварительная механическая очистка сточных вод перед поступлением их на биохимическую обработку дает возможность повысить эффект осветления и добиться заданного эффекта очистки.

Вместе с тем такая очистка сточных вод в ряде случаев имеет низкую надежность из-за плохой осаждаемости активного ила.

Широкий спектр загрязнений сточных вод различными соединениями углерода, азота и фосфора требуют различных способов изъятия, таких как физико-химический и биологический способ, что в свою очередь требует строительства сложных очистных сооружений, обеспечивающих жесткие требования государственных природоохранных органов.

Одной из особенностей работы различных очистных сооружений являются неравномерные залповые поступления, а также резкие колебания концентраций сточных вод в течение суток, что в свою очередь негативно сказывается на работе биологических реакторов в связи с изменениями питания сложных биоценозов активного ила (АИ). Поэтому во многом эффективность работы сооружений биологической очистки сточных вод определяется остаточными концентрациями загрязнений, прошедших механическую очистку. Сточные воды, насыщенные мелкодисперсной субстанцией, имеющей неудовлетворительные седиментационные характеристики, не имеют потенциала должным образом выделить их на этапе механической очистки, а именно в первичных отстойниках. Поэтому подготовка исходной сточной воды на этапе механической очистки, а также возможность управления процессами обезвреживания сточных вод, является важной практической задачей.

При решении этой задачи широкое применение получили способы повышения степени флокулирования частиц загрязнений с помощью различного рода природных и синтетических коагулянтов.

Коагулянты, имеющие минеральную и синтетическую природу, имеют достаточно высокую стоимость и их применение является экономически нецелесообразным [2, 3]. Наиболее перспективным является способ интен-

сификации процесса седиментации с помощью биополимеров природного происхождения. В качестве источника таких флокулянтов перспективно использовать избыточный активный ил, отводимый из системы биологической очистки [3, 4].

Сегодня известны несколько способов физико-механической обработки активного ила и получения внеклеточного биополимера - ультразвуковая, кавитационная и дезинтегрирующая обработка. Все эти способы имеют ряд недостатков, основными из которых является стоимость осуществления процессов в промышленных масштабах и их зависимость от колебаний притока сточных вод.

Целью исследований являлись поиски новых возможностей улучшения седиментационных характеристик осадков сточных вод в сооружении механической очистки за счет применения природных флокулянтов, выделенных при помощи механического воздействия на биомассу избыточного активного ила.

В процессе работы проводилось обследование действующих очистных сооружений по гидравлическим, микробиологическим и технологическим параметрам.

Произведено технологическое моделирование и биологическая адаптация биоценозов активного ила под реальные сточные воды и существующие конструкции емкостных сооружений на лабораторной технологической модели и пилотной установке.

В ходе исследований были изучены концентрации поступающих загрязняющих компонентов сточных вод на очистные сооружения, проведена их статистическая обработка за пять лет работы станции путем сравнения качественного состава поступающих и обработанных вод за последний год.

В табл. 1 приведен статистический анализ количества загрязнений, которые следует снизить с использованием биофлокулянта.

*Таблица 1*

**Значение концентраций загрязнений на входе и выходе из первичных отстойников**

Состав загрязнений	Среднестатистическое значение концентрации		
	Вход	Выход	Эффект, %
Взвешенные вещества, мг/л	256	89	62
БПК <sub>5</sub> , мгО/л	195	86	54
Азот аммонийный, мг/л	35	31	6
Фосфаты, мг/л	3,1	3,0	2,0

При получении биофлокулянта использовался избыточный активный ил со следующими характеристиками: концентрация активного ила находилась в диапазоне 7,3 – 8,0 г/л, влажность необработанного (поступающего) осадка – 97,7-97,9%; влажность осевшего осадка - 93-95%.

По результатам исследований можно сделать заключение, что активный ил, подверженный гидромеханической обработке, имеет более высокие концентрации выделенных в раствор биополимеров, чем не обработанный активный ил. При этом влажность обработанной иловой массы снижается на 2-4 %.

Экспериментальные исследования с помощью оптического и электронного микроскопов показали, что при физико-механическом воздействии на активный ил, выводимый из вторичного отстойника, сформировавшиеся флокулы постепенно разрушаются, связи между колониями бактерий нарушаются и структура активного ила в целом существенно изменяется.

На иллюстрации (рис. 1) приведена микрофотография АИ, полученная на электронном микроскопе. Она свидетельствует о жизнеспособности клеток активного ила и отсутствии признаков их лизирования. Бактериальные структуры клеток не подвергнуты внешнему силовому воздействию, состояние их развития нормальное.

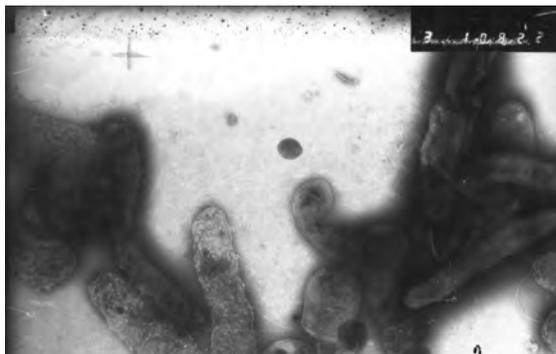


**Рис. 1.** Флокула бактерий необработанного активного ила. Электронная микрофотография. Увеличение 10000<sup>x</sup>

В процессе физико-механической обработки активного ила с помощью высокооборотного центробежного насоса и блока гидравлических сопротивлений структура флокул ила существенно изменяется. Наблюдаются разрывы связей между флокулами, их дробление на более мелкие образования (рис. 2).

Используемое нами гидромеханическое воздействие отличается своей конструктивной простотой и энергоэффективностью, не требующей большого энергопотребления для осуществления технологии получения экзополисахарида (ЭПС), что и определяет его преимущества.

Для оценки эффективности использования ЭПС в качестве биофлокулянта в процессе очистки сточных вод от взвешенных веществ использовалась стандартная методика отстаивания в специальных колонках (цилиндрах).



**Рис. 2.** Флоккулы бактерий обработанного активного ила.  
Увеличение 10 000<sup>x</sup>

Для проведения опытов использовалось 5 колонок со сточными водами, в которые, кроме первой колонки (контроль – без добавления биофлокулянта), добавлялся в качестве биофлокулянта ЭПС, выделенный в результате механического воздействия на избыточный активный ил.

В течение контрольного времени (150 мин) по мере осветления сточных вод в колонках определялось содержание взвешенных веществ в осветленной воде, по этим данным рассчитывался эффект осветления.

Данные о дозах и объемах добавленного обработанного АИ, содержащего ЭПС, представлены в табл. 2.

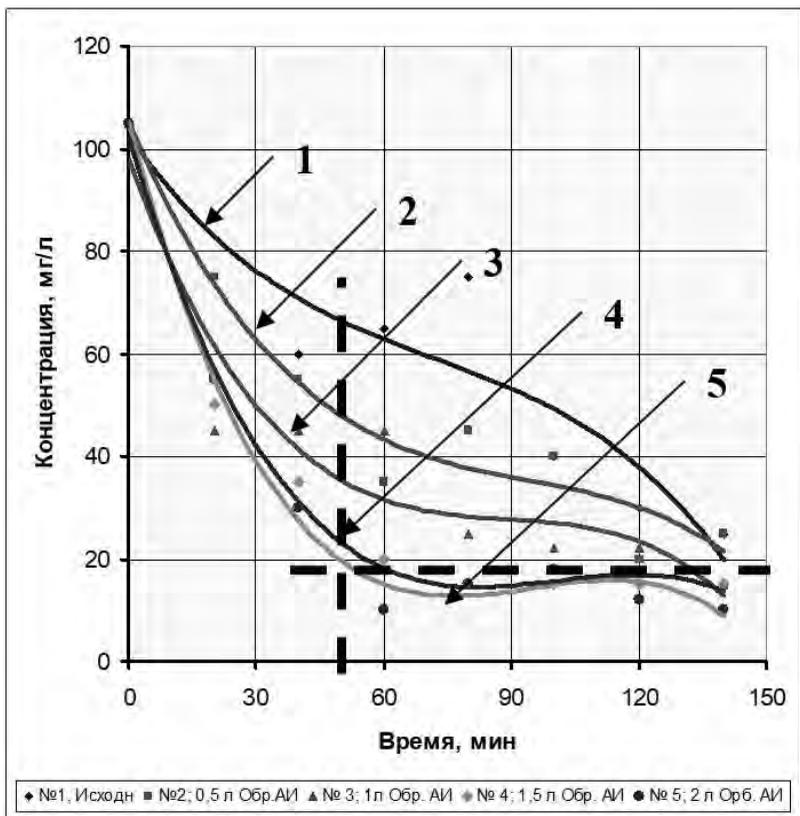
*Таблица 2*

**Дозы и объемы добавленного обработанного АИ, содержащего ЭПС**

Номера колонок-отстаивания				
1	2	3	4	5
Объем добавленного обработанного АИ, л				
0	0,5	1,0	1,5	2,0
Доза добавленного обработанного АИ, г/л				
0	0,148	0,296	0,444	0,596

На рис. 3 показан эффект очистки по показателю БПК<sub>5</sub> при использовании внеклеточного биополимера ЭПС, выделенного в результате механического воздействия на избыточный активный ил.

Исследования показывают, что обработанный активный ил имеет более высокую флокулирующую способность благодаря увеличению концентрации в водном растворе экзополисахаридов (ЭПС) после механической обработки. Математическая обработка экспериментальных данных, представленных на графике, указывает на 2х кратное снижение показателя биологической потребности в кислороде для очищаемых сточных вод.



**Рис. 3.** Эффект осветления при использовании внеклеточного биополимера ЭПС, выделенного в результате механического воздействия на избыточный активный ил

Гидромеханические воздействия на иловую суспензию, при которых выход биополимеров и эффективность очистки исходной сточной воды от дисперсных и коллоидных загрязнений, максимальны с использованием приемов нанотехнологий.

Величины оптимальных энергетических воздействий при этом зависят от характеристик загрязненности исходной сточной воды, концентрации микробной массы в иловой суспензии и концентрации обработанной микробной массы в исходной сточной воде.

Сравнение обсуждаемого приема нанобиотехнологии для совершенствования седиментационных характеристик осадков сточных вод с использованием природных флокулянтов имеет экономические преимущества по сравнению с традиционной технологией биологической очистки сточных вод. Сокращение эксплуатационных расходов и эффект энергосбережения позволяют добиться снижения технико-экономических показателей в части эксплуатационных затрат от 30% до 42%, а капитальных – на 75-80%.

## **Выводы**

В процессе исследований была определена возможность использования приемов нанобиотехнологии при совершенствовании седиментационных характеристик осадков сточных вод, заключающаяся во введении в процесс очистки сточных вод природных флокулянтов, что позволило усовершенствовать работу сооружений механической очистки сточных вод в первичных отстойниках.

Использование ЭПС позволило снизить содержание основных лимитирующих загрязнений: взвешенных веществ, БПК<sub>5</sub>, азота аммонийных солей на 15-35%.

В результате улучшения седиментационных характеристик осадков сточных вод повысилась эффективность функционирования сооружений механической очистки сточных вод, позволившая увеличить процент удаления дисперсных частиц, снизивших, тем самым, степень нагрузки на блок биологической очистки сточных вод.

## **Библиографический список**

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. Бюро НТД. 2015. – М. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2016. 377с.
2. Журкин Н.Н., Алибеков С.Я. Усовершенствование механической очистки сточных вод. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2013. №1 (17), С 92-97
3. Иванов В.К., Силантьева Н.Т. Получение новых видов биофлокулянтов // Химия и безопасность. 2005. № 1–2. С. 569.
4. Ксенофонтов Б.Н., Павлинова И.И., Крупский А.С., Малышева А.А., Калистратов И.М. Совершенствование механической очистки сточных вод с использованием биотехнологических приемов. // Безопасность жизнедеятельности. 2013. №7. С.16-19.

## **КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ АСУТП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WEB-ТЕХНОЛОГИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

**Д.И. Привин**, к.т.н., главный специалист, АО «МосводоканалНИИПроект», г. Москва; **К.М. Букина**, ведущий инженер, АО «МосводоканалНИИПроект», г. Москва

В современном мире автоматизированная система играет важную роль в работах любого предприятия. Без такой системы невозможен не один технологический процесс на сооружениях систем водоснабжения и водоотведения. Результатом использования автоматизированной системы, как правило, является производительность объекта, режимы работы, степень ответственности, требования к надежности, а также возможности сокращения численности обслуживающего персонала, снижение потребления электроэнергии, расхода воды и реагентов.

В своем послании Федеральному собранию Президент В.В. Путин подчеркивал необходимость сосредоточиться на направлениях, где накапливается мощный технологический потенциал будущего, цифровые, другие, так называемые сквозные технологии, которые сегодня определяют облик всех сфер жизни.

Разработка и внедрение АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическими процессами) в системы водоснабжения и водоотведения заключается в алгоритмизации и стандартизации технологических процессов, а также сборе и хранении информации в единую базу данных. Дистанционный контроль оборудования и режим функционирования позволяет не только получать оперативную информацию, но и своевременно вносить коррективы в работу сооружений, особенно в случае чрезвычайных и аварийных ситуаций.

Традиционно, на автоматизированных предприятиях получить актуальную информацию о процессах производства можно в определенных местах: в диспетчерской, где стоит автоматизированное рабочее место оператора, на дисплее, установленном на шкафу управления или непосредственно по месту. Это не всегда удобно, так как оператор не может ситуативно получить сигнал об аварии, если не находится в пунктах управления.

Опциональным выходом из подобной ситуации является внедрение на сооружения SCADA-систему, у которой среда визуализации реализована на основе WEB сетей.

У web-технологий много преимуществ. Одним из главных достоинством этого процесса является то, что управление оборудованием и мониторинг информации через web-сети могут осуществляться из любой точки территории предприятия Водоканал с помощью компьютера или планшета.

АО «МосводоканалНИИПроект» провел работу по внедрению автоматизации процессов с использованием web-технологий. Одна из последних работ по пуско-наладке была внедрена на втором блоке Курьяновских очи-

стных сооружениях г. Москвы. Именно здесь, на основании Технического Задания, была внедрена система контроля и управления с использованием мобильных пультов оператора по сети Wi-Fi. Для выполнения этой задачи было решено настроить и ввести в эксплуатацию GE Proficy Webspace. Главное преимущество этого программного обеспечения является умение открывать динамические схемы (мнемосхемы), которые разработаны в последних версиях GE Proficy iFIX, в режиме выполнения.

В ближайшем будущем АО «МосводоканалНИИпроект» готовится реализовывать SCADA-систему с использованием web-технологий с относительно новой программой от GE Web HMI. Также одним из направлений дальнейшей работы является глобальное внедрение web-технологий с возможностью определённым пользователям (главные инженеры, главные технологи – ответственные работники на станции) отслеживать актуальную информацию о работе сооружений на своих мобильных устройствах в любой точке земного шара.

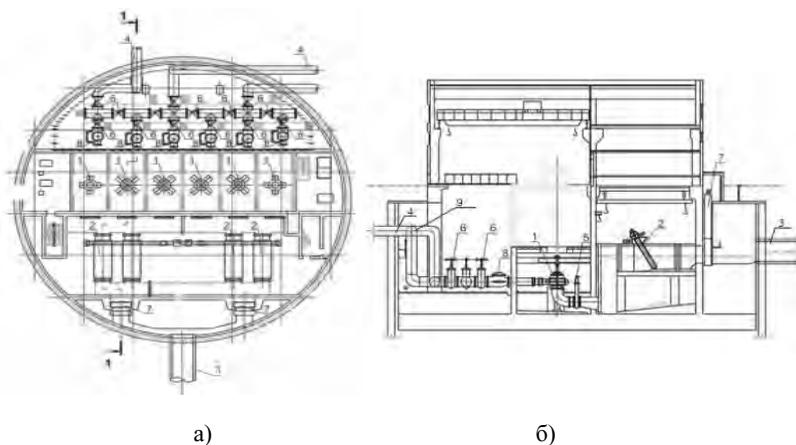
Разработанное АО «МосводоканалНИИпроект» техническое решение с использованием программных продуктов для реализации технологий приближает работников водоканалов к решению задачи, поставленной Президентом страны В.В. Путиным, к реализации в жизнь «Цифрового водоканала» – предприятия, на котором все приемлемые технологические процессы охвачены АСУТП.

## ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ ГОРОДСКОЙ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

**В.И. Прохоров**, д.т.н., профессор; **М.А. Разаков**, аспирант; **Р.В. Чернова**, магистрант, НИУ МГСУ, г. Москва

Современная система водоотведения населенного пункта представляет собой комплекс сооружений отводящих различные виды сточных вод от абонента до очистных сооружений (ОС). На ОС происходит обработка сточных вод до нормативных санитарно-химических показателей с последующим выбросом в водоем или грунт [1].

Городская канализационная насосная станция (ГКНС) располагается перед очистными сооружениями. Она собирает (с помощью коллектора и резервуара) и транспортирует стоки от абонентов на ОС. Существует множество классификационных характеристик ГКНС, подробно они рассматриваются в специальной литературы [1-3]. В данной работе представлена насосная станция с совмещенным машинным и грабельным отделениями в одном здании (рис. 1) [4].



**Рис. 1.** ГКНС: а) план подземной части; б) разрез здания ГКНС;

1 – насос канализационный вертикальный; 2 – г рабельная решетка; 3 – подающий трубопровод; 4 – отводящий трубопровод; 5 – задвижка на подающем трубопроводе; 6 – задвижка на отводящем трубопроводе; 7 – щитовой затвор с эл.приводом; 8 – обратный клапан; 9 – нагнетательный, выходящий из КНС трубопровода

Городская канализационная насосная станция представляет собой сооружение, включающее помещения промышленного и гражданского назначения. Промышленный блок это отделения для перекачивания сточных вод, т.е. грабельное отделение и машинный зал в подвальной части здания. Гражданский – это помещения, в которых находится обслуживающий персонал станции [5].

В данной работе проанализировано тепловое потребление здания ГКНС четырьмя различными инженерными системами поддержания микроклимата в здании. Единой официальной, закреплённой нормативными документами, методики потребления тепловой энергии не существует как в нашей стране, так и в остальных странах мира. Разработки по объединению расчета потребления 4 инженерных систем велись В.И. Прохоровым с 2002 года на основании «Удельной тепловой характеристики» здания, предложенной В.М. Чаплиным [6, 7].

В СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» приведена методика расчета теплового потребления энергии для зданий и сооружений гражданского назначения для двух систем обеспечения микроклимата – отопления и вентиляции. В СП также подчеркивается о неприменимости использования данного документа для расчета тепловой защиты и потребления тепловой энергии сооружений специального назначения: насосных станций, трансформаторных и т.п. Помимо вышесказанного в СП 50.13330.2012 нет методики расчета расхода тепловой энергии системой горячего водоснабжения (ГВС). Ее значения могут достигать до 51% [8]. Другим существенным недостатком этого документа является использование в расчетах внутреннего объёма здания. Это противоречит физике процесса теплопередачи, а также работам В.М. Чаплина. На практике это приводит к искажению результатов и завышению потребления теплоты инженерными системами от 19 до 44 % [8].

Подробная методика расчета показателей теплопотребления инженерными системами приведена в работах В.И. Прохорова [8-11]. Ниже приведена часть данной методики для расчета теплопотребления здания.

Удельная тепловая характеристика здания в расчетном режиме для системы отопления

$$q_o^p = \frac{Q_o^{pb}}{(t_o - t_n) \cdot V_n}, \text{Вт/м}^3 \cdot \text{°C} \quad (1)$$

где  $t_o$  – температура воздуха в помещении, °C;  $t_n$  – расчетная температура наружного воздуха для зимнего периода, °C. (по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»);  $V_n$  – объём здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;  $Q_o^{pb}$  – расчетная балансовая нагрузка на отопление здания, Вт.

Годовые удельные расходы тепловой энергии на систему отопления

$$q_{урт.}^o = 0,024 \cdot ГСОП \cdot q_o^p \cdot \frac{n}{24}, \text{КВт} \cdot \text{ч/м}^3 \cdot \text{год} \quad (2)$$

где:  $q_o^p$  – удельная тепловая характеристика здания в расчетном режиме для отопления, Вт/м<sup>3</sup> °C; ГСОП - градусо-сутки отопительного периода, °C сут; n – количество часов использования за сутки системы отопления, ч.

Удельные тепловые характеристики зданий в расчетных режимах для горячего водоснабжения

$$q_{zg}^{p.3.} = \frac{Q_{zg}^p}{(60 - t_{zg}^p) \cdot V_n}, \text{Bm}/\text{M}^3 \cdot ^\circ\text{C} \quad (3)$$

где  $t_{гвс}^p$  – температуры водопроводной воды в определенный период года, ( $t_{гвс}^p = 5/15$  °C);  $V_n$  – объем здания по наружному обмеру,  $\text{M}^3$ ;  $Q_{гвс}^p$  – теплота необходимая для водоподготовки системы горячего водоснабжения в определенный период года, Вт.

Годовые удельные расходы тепловой энергии на горячее водоснабжение

$$q_{урт}^{гв} = \left[ 0,024 \cdot (60 - t_{zg}^{p.3.}) Z_{o.п} \cdot q_{zg}^{p.3.} \right] \cdot \frac{n}{24} + \left[ 0,024 \cdot (60 - t_{zg}^{p.l.}) Z_{т.п} \cdot q_{zg}^{p.l.} \right] \cdot \frac{n}{24}, \text{KBm} \cdot \text{ч}/\text{M}^3 \cdot \text{год} \quad (4)$$

где  $t_{гвс}^p$  – температуры водопроводной воды в определенный период года, ( $t_{гвс}^p = 5/15$  °C);  $q_{гвс}^p$  – удельная тепловая характеристика задания в расчетном периоде года для ГВС,  $\text{Вт}/\text{M}^3$  °C;  $Z_{o.п}$  – количество дней отопительного периода, дн.;  $Z_{т.п}$  – количество дней неотопительного периода, дн. ( $Z_{т.п} = 365 - Z_{o.п}$ );  $n$  – количество часов использования за сутки системы ГВС, ч.

Удельные тепловые характеристики зданий в расчетных режимах для вентиляции

$$q_g^p = \frac{Q_g^p}{(t_n - t_n) \cdot V_n}, \text{Bm}/\text{M}^3 \cdot ^\circ\text{C} \quad (5)$$

где  $V_n$  – объем здания по наружному обмеру,  $\text{M}^3$ ;  $Q_{в}^p$  – теплота необходимая для подогрева воздуха в Х.П., Вт;  $t_n$  – расчетная температура приточного воздуха, °C;  $t_n$  – расчетная температура наружного воздуха для зимнего периода, °C.

Годовые удельные расходы тепловой энергии на вентиляцию

$$q_{урт}^в = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot q_g^p \cdot \frac{n}{24}, \text{KBm} \cdot \text{ч}/\text{M}^3 \cdot \text{год} \quad (6)$$

где  $q_{в}^p$  – удельная тепловая характеристика здания в расчетном режиме для вентиляции,  $\text{Вт}/\text{M}^3$  °C; ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °C сут;  $n$  – количество часов использования за сутки системы вентиляции, ч.

Удельные тепловые характеристики зданий в расчетных режимах для кондиционирования воздуха

$$q_{кв}^p = \frac{Q_{кв}^p}{(t_n - t_n) \cdot V_n}, \text{Вт/м}^3 \cdot \text{°С} \quad (7)$$

где  $V_n$  – объем здания по наружному обмеру,  $\text{м}^3$ ;  $Q_{кв}^p$  – теплота необходимая для подогрева воздуха в холодный период, Вт;  $t_n$  – расчетная температура приточного воздуха,  $\text{°С}$ ;  $t_n$  – расчетная температура наружного воздуха для зимнего периода,  $\text{°С}$ .

Годовые удельные расходы тепловой энергии на кондиционирование воздуха

$$q_{урм}^{кв} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot q_{кв}^p \cdot \frac{n}{24}, \text{КВт} \cdot \text{ч/м}^3 \cdot \text{год} \quad (8)$$

где  $q_{кв}^p$  – удельная тепловая характеристика здания в расчетном режиме для кондиционирования воздуха,  $\text{Вт/м}^3 \cdot \text{°С}$ ; ГСОП – градусо-сутки отопительного периода,  $\text{°С сут}$ ;  $n$  – количество часов использования за сутки системы кондиционирования воздуха, ч.

В работе использовались данные из выпускной квалификационной работы бакалавра Разакова М.А. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха насосной подстанции в Московской области», защищенной в 2016 году на базе НИУ МГСУ. Все принятые исходные данные соответствуют СП 31.13330.2012 «Водоснабжение, наружные сети и сооружения», СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

По работе Рымаров А.Г., Разакова М.А., Черновой Р.В. [5] табл. 1 определены объёмы блоков здания КНС с учётом теплового режима. Весь промышленный блок имеет температуру  $5 \text{°С}$ . Тепловые потери здания определялись по работам Кувшинова Ю.Я., Самарина О.Д., Малявиной Е.Г. и др. [12, 13]. Для промышленного блока они составили 73 750 Вт.

Таблица 1

Объемы блоков здания, $\text{м}^3$		
Административный блок (Гражданский) $t$ от $+16$ до $+23 \text{°С}$	Технологический процесс (Промышленный) $t +5 \text{°С}$	Сумма
7760,2	29278	37038,2

Административный блок имеет относительно стабильную температуру, равной  $+16 \text{°С}$ , исключением являются душевые, раздевалки, и кабинет начальника станции, в них температура  $+23 \text{°С}$ . Ввиду их малого объёма в общем объёме здания, для расчетов теплоснабжения можно принять, что

температура равна 16 °С. Суммарные тепловые потери Гражданского блока равны 63 660 Вт.

Насосная станция располагается в г. Дмитров (Московская область). Принятая температура наружного воздуха равна -29 °С.

Температура приточного воздуха в Х.П. принята +16 °С для административного блока, а для Промышленного блока +5 °С.

В административном блоке спроектирована поэтажная система вентиляции. Это сделано из-за того, что обслуживающий персонал может находиться только на первом этаже, а остальные этажи функционируют как пассивный объём и там производится естественная вентиляция.

Воздухообмены приточных систем: П1 – 1 950 м<sup>3</sup>/ч; П2 – 1 895 м<sup>3</sup>/ч; П3 – 3 475 м<sup>3</sup>/ч; П4 – 27 500 м<sup>3</sup>/ч; П5 – 70 100 м<sup>3</sup>/ч. Тепловая мощность систем вентиляции и кондиционирования воздуха определялась исходя из исследований П.Н. Каменева, Е.И. Тертичника, В.В. Батурина [14-16].

Расчетная тепловая мощность систем вентиляции или кондиционирования воздуха для зимнего периода

$$Q_{в/кв}^{з.п} = \frac{L_{в} \cdot \rho_{в.п} \cdot c_{в} \cdot (t_{п} - t_{н})}{3600}, \text{Вт} \quad (9)$$

где  $L_{в}$  – объемное количество нагреваемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho_{в.п}$  – плотность приточного воздуха, кг/ м<sup>3</sup>;  $c_{в}$  – удельная теплоемкость приточного воздуха, кДж/ кг °С;  $t_{п}$  – расчетная температура приточного воздуха, °С;  $t_{н}$  – расчетная температура наружного воздуха для зимнего периода, °С.

По исследования Репина Б.Н. и др. [2] расход воды на нужды горячего водоснабжения для персонала станции составляет 50 л/сут. Расчетная тепловая мощность системы отопления определялась по методике В.М. Копко и А.А. Ионина и др. [17, 18].

Расчетная тепловая мощность системы горячего водоснабжения для холодного периода

$$Q_{св}^{р.з} = \frac{m \cdot g_{сум}^{ср} \cdot c \cdot (t_{г} - t_{х.з.п}) \cdot (1 + \beta_{г})}{24 \cdot 3,6}, \text{Вт} \quad (10)$$

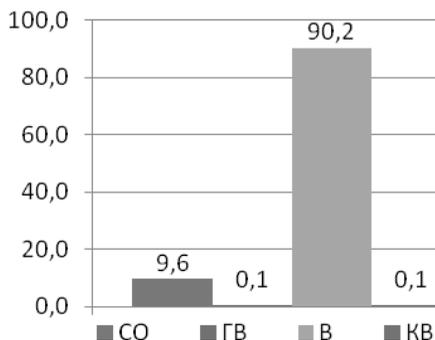
где  $m$  – количество потребителей, чел;  $q_{сут}^{ср}$  – расход горячей воды одним потребителем в сутки, л/сут;  $c$  – удельная теплоемкость воды кДж/кг °С;  $t_{г}$  – средняя температура воды в водоразборных стояках системы горячего водоснабжения; °С (принято по СП. 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий»);  $t_{х.з.п}$  – расчетная температура холодной воды в зимний период, °С;  $\beta_{г}$  – коэффициент, зависящий от протяженности и мощности системы горячего водоснабжения, б/в (при изолированных водоразборных стояках – от 0,3 до 0,35, при наличии сетей после ЦТП и изолированных водоразборных стояках – от 0,15 до 0,25).

Расчетная тепловая мощность системы горячего водоснабжения для теплого периода

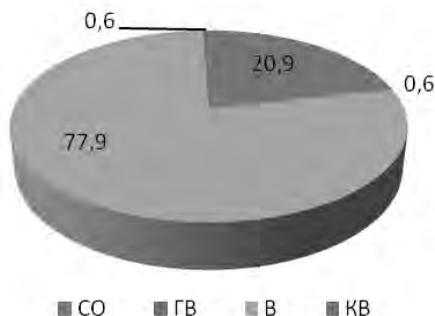
$$Q_{26}^{P.L} = Q_{26}^{P.3} \cdot \frac{(t_2 - t_{x.l.n})}{(t_2 - t_{x.z.n})} \cdot \beta_l, \text{Вт} \quad (11)$$

где  $t_{x.z.n}$  и  $t_{x.l.n}$  – температура воды в водопроводе в зимний и летний периоды года, °С;  $\beta_l$  – коэффициент, учитывающий снижение летнего расхода тепла на системы горячего водоснабжения по отношению к зимнему (для курортных и южных городов – 1,2, при отсутствии данных – 0,8).

Суммарная тепловая мощность систем жизнеобеспечения здания ГКНС составляет 1 428 781 Вт. Суммарная удельная характеристика здания ГКНС составляет для теплопотребляющих инженерных систем составляет 91 кВт ч / м<sup>3</sup> год. На рис.2 и 3 показано процентное распределение данных значений.



**Рис. 2.** Распределение тепловой мощности для инженерных систем поддержания микроклимата в ГКНС (в процентах)



**Рис. 3.** Распределение годовых удельных расходов тепловой энергии для инженерных систем поддержания микроклимата в ГКНС (в процентах)

Самым большим по значению тепловой мощности потребителем в ГКНС является система вентиляции (90,2 %). На втором месте – система отопления (9,6%). Остальные системы (ГВ и КВ) незначительно оказывают влияние на суммарное распределение тепловой мощности в ГКНС, в пределах 0,2%. Результаты распределения годовых удельных расходов тепловой энергии на инженерные системы в ГКНС, полученные по методике В.И. Прохорова, показывают, что в годовом исчислении расход тепловой энергии системы вентиляции также находится на первом месте, но процентное соотношение изменилось из-за различных тепловых расходов на инженерные системы.

#### Библиографический список

1. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод // Учебник для вузов: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 - 704 с.
2. Репин Б.Н., Запорожец С.С., Ереснов В.Н. и др. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения // Справочник – М.: Высшая школа. 1995 - 431 с.
3. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции // Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
4. Сайт АО «МосводоканалНИИпроект» [Электронный ресурс]. – М: АО «МосводоканалНИИпроект», – Режим доступа: <http://www.mvkniipr.ru/>, свободный.
5. Рымаров А.Г., Разаков М.А., Чернова Р.В. Управление работой системой отопления на канализационных насосных станциях // Естественные и технические науки. 2017. № 12 (114). С. 293-295.
6. Прохоров В.И. Топливосбережение и энергопотребление в инженерных системах зданий // Жилищное строительство. 2012. № 10. С. 2-5.
7. Прохоров В.И. Границы рассмотрения в задачах теплосащиты и теплосбережения зданий. // Интернет – вестник ВолгГАСУ. Сер: Политематическая. 2014. Вшк. 2(33) С. 17. Режим доступа <http://www.vestnik.vgasu.ru/>.
8. Прохоров В.И., Разаков М.А. Сравнение величин энергопотребления жизнеобеспечивающих систем зданий, рассчитанное по двум методам // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №12. С. 97-100.
9. Prokhorov V. Method of systematic determination of specific thermal characteristics of building. В сборнике Matec Web of Conferences 5. Сер. “5th International Scientific Conference ”Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education”, IPICSE 2016” 2016 С.04068.
10. Prokhorov V.I. Calculation method of heat consumption for buildings life support systems// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Volume 365. Article number № 022023. doi:10.1088/1757-899X/365/2/022023.

11. Прохоров В.И., Латушкин А.П. Удельная тепловая характеристика здания для различных теплопотребляющих систем жизнеобеспечения // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 72-75.
12. Малявина Е.Г., Самарин О.Д. Строительная теплофизика и микроклимат зданий. Учебник для вузов – М.: МИСИ – МГСУ, 2018. - 288 с.
13. Кувшинов Ю.Я., Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий. Учебник для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2010. - 200 с.
14. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция. Учебное пособие. – М., Изд-во АСВ, 2008, - 624 с.
15. Тертичник Е.И. Вентиляция. Учебник. – М., Изд-во АСВ, 2015, - 608 с.
16. Батурин В.В. Основы промышленной вентиляции. – П.: Профиздат, 1965.
17. Копко В.М. Теплоснабжение: курс лекций для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». для высших учебных заведений. Изд. 2-е, исправл. и дополн. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 336 с.
18. А.А. Ионин и др. Теплоснабжение. Учебник для вузов – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

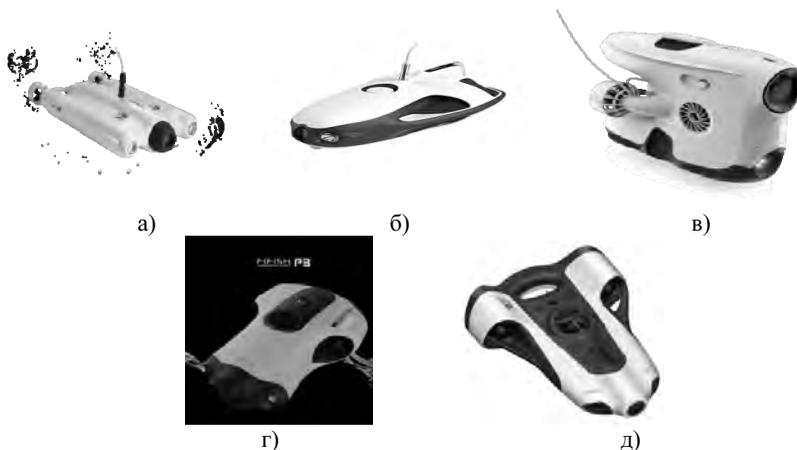
## НОВЫЙ СПОСОБ ОБСЛЕДОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ГОРОДА

**М.А. Разаков**, аспирант; **Р.В. Чернова**, магистрант; **А.А. Абрамян**, бакалавр;  
**И.Д. Ярков**, бакалавр, НИУ МГСУ, г. Москва

Современная робототехника не стоит на месте. Сейчас для патрулирования больших объёмов территорий и разного рода объектов применяют универсальные летательные аппараты – квадрокоптеры [1, 2, 3]. В других областях их используют для осмотра магистральных газовых и тепловых сетей [4]. В инфраструктуре города их применение ограничено стесненными условиями. Сейчас дроны проходят тестирования на доставку почты [5, 6]. Конечно, существуют и другие идеи их применения, например, в области обследования различных инженерных систем, но они требуют доработок и создания опытных образцов [7, 8].

На данный момент в нашей стране проводится масштабная реконструкция городских инженерных систем, а именно систем водоснабжения и водоотведения, теплоснабжения. К сожалению, за годы эксплуатации на их реконструкцию не выделялось достаточного количества финансирования. Это в свою очередь привело к большому износу данных сетей.

Независимо от проблем в инженерных сетях городов были созданы мини подводные дроны для исследования глубин океана без участия человека. В данной работе исследуются технические характеристики и диапазон возможности применения мини дронов в инженерных сетях города. На рис. 1 и 2 представлены их внешние виды. Для исследования характеристик использованы официальные технические данные с сайтов производителей и нормативная документация для проектирования инженерных систем города.



**Рис. 1.** Внешний вид подводных дронов А: Gladius Advanced Pro  
Б: PowerVision PowerRay; В: Blueye Pioneer; Г: P3-Qysea Fifish; Д: BW Space

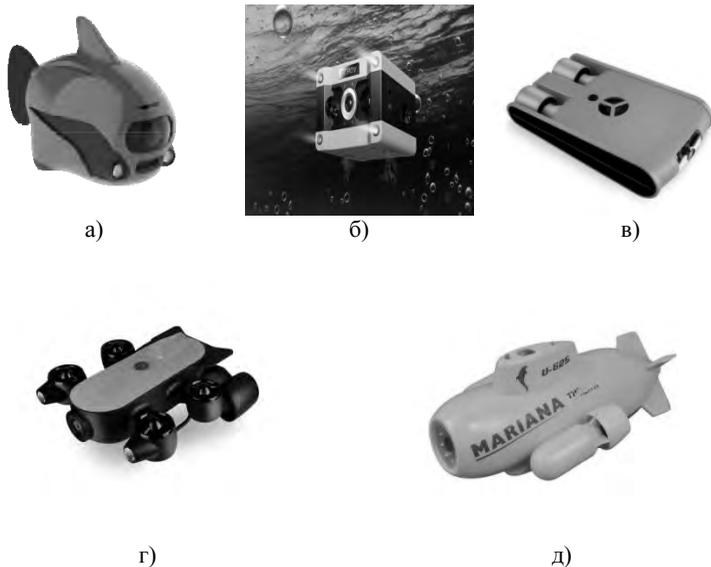
## Технические характеристики подводных дронов различных компаний

Название	Gladius Advanced Pro	Power Vision Power Ray	Blueye Pioneer	P3-Qysea Fifiish	BW Space	
Размеры (длина/ширина/высота, мм)	432 / 270 / 114	465 / 270 / 126	450 / 250 / 350	492 / 337 / 174	521 / 391 / 140	
Угол обзора (°)	95	30	30	30	30	
Максимальная глубина погружения (м)	100	40	150	100	100	
Диапазон рабочих температур (°C)	от -10 до +45	от 0 до +40				
Максимальная крейсерская скорость (м/с)	2	1,5	2,5	1,5	2	
Максимальная скорость погружения/всплытия (м/с)	1,5	н/д	н/д	1,0		
Сопротивление течению (м/с)	2					
Емкость аккумулятора (мА/ч)	6100	6400	6100		12 800	
Мощность аккумулятора (Вт/ч)	67.7	94.7	96	94.7		
Максимальное разрешение для фото (Мп)	12	12	12	12	12	
Разрешающая способность для видео	4К, FHD	4К, FHD	FHD	4К	4К	
Емкость карты SD (Гб)	64	32 / 64	64		128	
Вес дрона (кг)	3,2	3,8	9	5,9	4,6	
Диапазон длин кабеля (м)	50 - 500	50 - 100	75	GPS	50 - 150 (GPS)	
Радиус действия Wi-fi (м)	10 - 15					
Вес кабеля (гр/м)	13	13	13	13	13	
Стоимость (руб.)	1	170 000	135 000	260 000	н/д	н/д
	2	116 000	96 000	240 000	295 000	130 000

Название	Biki RoboSea	Ccov	Open ROV Trident	Geneinno Titan	ThorRobotics Mini Mariana RC
Размеры (длина/ширина/высота, мм)	266 / 148 / 106	208 / 204 / 158	400 / 200 / 80	390 / 347 / 165	256 / 160 / 110
Угол обзора (°)	150	60	30	160	30
Максимальная глубина погружения (м)	10	100	100	150	н/д
Диапазон рабочих температур (°C)	от 0 до +40				
Максимальная крейсерская скорость (м/с)	1,8	1	2	2	2
Максимальная скорость погружения/всплытия (м/с)	60	н/д	н/д	н/д	н/д
Сопrotивление течению (м/с)	1,5 - 2				
Емкость аккумулятора (мА/ч)	2600	6400	6400	9000	3000
Мощность аккумулятора (Вт/ч)	н/д	154	н/д	97,2	н/д
Максимальное разрешение для фото (Мп)	8 - 16	12	8	8	5 - 8
Разрешающая способность для видео	4К, FHD	4К, FHD	FHD	4К	4К, HD
Емкость карты SD (Гб)	32 - 64				
Вес дрона (кг)	1,1	5,5	2,9	4,5	3,0
Диапазон длин кабеля (м)	GPS	25 - 95	25 - 100	50 - 150 (+GPS)	100
Радиус действия Wi-fi (м)	10 - 15				
Вес кабеля (гр/м)	13	13	13	13	13
Стоимость (руб.)	1	н/д	н/д	н/д	н/д
	2	40 000	240 000	80 000	230 000

1 - по данным компаний дистрибьютеров в России;  
2 - по данным электронной площадки eBuy.

Все данные для табл. 1 были получены из официальных источников фирм производителей данных аппаратов, а также из торговых площадок [9-18]. В данной работе не учтены еще 2 подводных дрона – Fathom One и iBubble. Их характеристики почти идентичны ThorRobotics Mini Mariana RC и в BW Space.



**Рис. 2** Внешний вид дронов других компаний А: Biki RoboSea, Б: Ccrow; В: Open ROV Trident, Г:GeneinnoTitan Д:ThorRobotics Mini Mariana RC

На наш взгляд, самыми перспективными для использования в системах ВиВ будут Biki RoboSea и Open ROV Trident, ввиду, их габаритов. Системы водоснабжения являются напорными сетями, поэтому наполненность трубы равна 1. А вот системы водоотведения по большей части безнапорные и имеют наполненность меньше 1. И, вследствие, этого аппарат может застрять и образовать засор. Поэтому следует исследовать участки сетей во время пиковых суточных значений. Площадь дрона должна быть в несколько раз меньше чем площадь поперечного сечения трубы.

По данным [19] наименьшим используемым диаметром трубопровода является 150 мм ( $d_y = 150$  мм), а наибольшим – свыше 1500 мм. В данной работе мы будем анализировать возможность применения выбранных аппаратов в диапазоне от 150 до 1500 мм.

Для определения внутренних диаметров трубопроводов из 3 материалов, указанных в табл. 2 использовались данные из ГОСТ 6942-3-80 и ГОСТ 6482.0 - 79 и [20].

Площадь поперечного сечения трубы находится по формуле (1):

$$S = \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4}, \text{ м}^2; \quad (1)$$

где  $d_{вн}$  – внутренний диаметр трубопровода, м.

Площадь поперечного сечения выбранных подводных аппаратов имеет форму прямоугольника и находится по формуле (2):

$$S = a \cdot b, \text{ м}^2; \quad (2)$$

где а – ширина аппарата, м (по табл. 1); b – высота аппарата, м (по табл. 1).

Таблица 2

$d_y$	$d_{\text{вн}}$	$S_{\text{сеч.тр.}}$	$0,5S_{\text{сеч.тр.}}$	$S_{\text{сеч}}$ (Biki RoboSea)	$S_{\text{сеч}}$ (Open ROV Tri- dent)	Возможность использова- ния	
Чугунные (только 150 мм)							
150	150	0,0177	0,0088	0,0157	0,0160	X	X
Железобетонные и бетонные (400 - 1600 мм)							
400	400	0,1256	0,0628	0,0157	0,0160	V	V
500	500	0,1963	0,0981			V	V
600	600	0,2826	0,1413			V	V
800	800	0,5024	0,2512			V	V
1000	1000	0,7850	0,3925			V	V
1200	1200	1,1304	0,5652			V	V
1400	1400	1,5386	0,7693			V	V
1600	1600	2,0096	1,0048			V	V

Диапазон температур работы у всех подводных дронов довольно низкий. Поэтому их применение в системе теплоснабжения России невозможно. Температура сточных вод системы водоотведения не должны превышать 40 °С, а в системе водоснабжения температура будет в районе 5 - 15 °С [21]. Следовательно, применение данных аппаратов возможно в данных инженерных системах.

Аппарат предназначен для обследования сетей – выявления трещин, рубцов, и других неровностей в сетях. Дрон изнутри также сможет проверить отсутствие некоторых временных отложений (Ил, мусор и т.п.), препятствующих движению среды. Оператор сможет локализовать наиболее проблемные места и в дальнейшем их контролировать. Несомненным плюсом подводных квадрокоптеров является, что их можно использовать во время работы системы водоснабжения или водоотведения, только на протяженных сетях следует предусмотреть систему отлова данного робота. В дальнейших работах будет представлена собственная уникальная разработка подводного дрона для инженерных систем, проанализировано химическое влияние сточных вод на работоспособность аппарата, использование дронов в трубопроводах из других материалов.

#### Библиографический список

1. Котарев С.Н., Котарева О.В., Александров А.Н. Использование беспилотных летательных аппаратов для обеспечения безопасности на объектах транспорта // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России. 2017. № 4 (83). С. 199-204.

2. Кольцов А.С., Морозов О.В., Искусов В.А. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов для охраны важных объектов и инфраструктур федеральной службы исполнения наказания // В сборнике: III Международный Пенитенциарный Форум «Преступление, Наказание, Исправление» (к 20-летию вступления в силу Уголовно-исполнительного кодекса Российской Федерации): Сборник тезисов выступлений и докладов участников Международной научно-практической конференции. Академия ФСИН России. 2017. С. 317-321.

3. Сухоруков А.С. Квадрокоптеры в охране // В сборнике: Научное мышление молодых ученых: настоящее и будущее Белгородский университет кооперации, экономики и права. 2015. С. 409-413.

4. Данилова А.А., Миденко М.А., Косогоров А.А., Тарасенко В.И. Использование беспилотников в газовом хозяйстве // В сборнике: Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении, сборник материалов международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова». 2016. С. 102 - 105.

5. Горелова А.В., Кривобоков Е.А. Устройство и применение квадрокоптеров // В сборнике: Университетская наука. ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». 2017. С. 52-56.

6. Зилькарнаев В.У., Камалова В.Р. Практическое применение беспилотных летательных аппаратов в современном мире // Инновации в науке. № 56 - 2. 2016. С. 23-27.

7. Разаков М.А., Чернова Р.В. Новый способ обследования систем естественной вентиляции // В сборнике: Технологии в инженерно-экологическом строительстве, механизации и жилищно-коммунальном комплексе сборник докладов внутривузовской научно-технической конференции. 2017. С. 353-356.

8. Разаков М.А., Чернова Р.В. Современные возможности обследования сборных каналов систем естественной вентиляции // В сборнике: «Дни студенческой науки». Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института инженерно-экологического строительства и механизации. Электронный ресурс. 2018. С. 245-248.

9. Сайт SV Modelismo [Электронный ресурс]. – Lisboa.: SV Modelismo, – Режим доступа: <https://www.svmodelismo.net/gb/rov-underwater-drones/3767-gladius-underwater-drone-advanced-pro.html/>, свободный;

10. Сайт RS Russia [Электронный ресурс]. – М.: RC Russia, – Режим доступа: <https://www.rc-russia.ru/products/podvodnyj-dron-dlya-semok-poverstion-powerray-komplektatsiya-explorer/>, свободный;

11. Сайт Blueyerobotics [Электронный ресурс]. – Trondheim: Blueyerobotics, – Режим доступа: <https://www.blueyerobotics.com/>, свободный;

12. Сайт Qysea [Электронный ресурс]. – Guangdong: Qysea, – Режим доступа: <https://www.qysea.com/products/fifish-p3/>, свободный;

13. Сайт Youcanrobot [Электронный ресурс]. – Shanghai: Youcanrobot, – Режим доступа: <http://www.youcanrobot.com/product/>, свободный;
14. Сайт Ccrov [Электронный ресурс]. – Hong KONG: Ccrov, – Режим доступа: <http://www.ccrov.com/ccrov/en/ccrov.html/>, свободный;
15. Сайт Open ROV Trident [Электронный ресурс]. – Berkeley: Open ROV Trident, – Режим доступа: <https://www.openrov.com/products/trident/>, свободный;
16. Сайт Openrov [Электронный ресурс]. – Berkeley: Openrov, – Режим доступа: <https://www.openrov.com/products/trident/>, свободный;
17. Сайт Geneinno [Электронный ресурс]. – Guangdong: Geneinno, – Режим доступа: <https://www.geneinno.com/titan.html/>, свободный;
18. Сайт RC Submarine Mini Mariana HD [Электронный ресурс]. – Hangzhou: RC Submarine Mini Mariana HD, – Режим доступа: [https://www.alibaba.com/product-detail/ThorRobotics-Underwater-Drone-RC-Submarine-Mini\\_60822247257.html/](https://www.alibaba.com/product-detail/ThorRobotics-Underwater-Drone-RC-Submarine-Mini_60822247257.html/), свободный;
19. СП 31.13330.2011. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М.: Минрегион России, 2011;
20. Староверов И.Г., Шиллер Ю.И. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Водопровод, канализация, газоснабжение // Справочник проектировщика: - М.: Стройиздат, 1992 г.
21. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод // Учебник для вузов: - М.: Изд-во АСВ, 2006 - 704 с;

## ЦИФРОВОЙ ВОДОКАНАЛ. СТРУКТУРА И РОЛЬ АСУТП ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**А.В. Синицын**, аспирант БНТУ, г. Минск, Беларусь; **Е.А. Клебанов**, зам. директора ООО «Техникон», г. Минск, Беларусь

В настоящее время наблюдается активное внедрение цифровых технологий в различные области человеческой деятельности. Этот процесс отражается и на АСУТП водоснабжения. Часто под цифровыми технологиями в водоснабжении понимают внедрение: систем поквартирного учета потребления воды, систем диспетчеризации и слежения за автотранспортом.

Эти функции важны, однако они носят вспомогательный и информационный характер по отношению к основному технологическому процессу водоснабжения и водоотведения (ВиВ). Внедрение новых технологий автоматического управления принесет наиболее ощутимый экономический эффект, за счет снижения энергопотребления и потерь воды, а также оптимизации эксплуатационных затрат. Определим основные направления внедрения новых технологий в АСУТП водоснабжения [1].

Типовая структура АСУТП ВиВ многоуровневая, и состоит из:

1. Полевого уровня, включающего в себя различный КИП (датчики давления, расходомеры и др.), исполнительные механизмы (насосные агрегаты, задвижки и др.);

2. Среднего уровня, состоящего из локальных системы управления, на базе программируемых логических контроллеров, преобразователей частоты, а также средств сбора и передачи данных;

3. Верхнего уровня, предназначенного для организации единого централизованного управления системой водоснабжения, построенного на базе SCADA систем – программного обеспечения для сбора данных, диспетчеризации и дистанционного управления, и геоинформационных систем (ГИС).

Цифровые технологии подразумевают в первую очередь обработку большого объема данных, поступающих от всех объектов, входящих в систему, а также их взаимосвязанное управление. Поэтому их реализация должна происходить на верхнем уровне АСУТП.

Анализ показывает, что на сегодняшний день на рынке представлено два различных класса решений для систем управления городскими системами водоснабжения, а также их гибридные версии. К первому классу можно отнести решения на базе SCADA-систем, ко второму – ГИС.

На уровне Scada систем можно решать следующие 7 основных технологических задач.

1. Оптимизация давления у потребителей и обеспечение его поддержания в нормативных границах: переход от расчётных суточных графиков давления к адаптивному управлению фактическим давлением у потребителя с учетом режима водопотребления [2]. Для решения этой задачи необходима динамическая гидромодель в ГИС-системе, на основании которой

определяется расположение диктующих точек для данной насосной станции и требуемые границы давления в них. АСУТП осуществляет расчет текущего режима водопотребления, и определяет требуемые значения давления на выходе насосной станции исходя из нормативных границ давления у потребителя.

Результатом решения данной задачи является оптимизация энергопотребления насосных станций, снижение риска порывов и утечек.

2. Гармонизация работы нескольких насосных станций, работающих на общую сеть водоснабжения. Под этой задачей понимается управление группой скважин, работающих на водозаборе на общий сборный водовод. При включении либо выключении любой из скважин, параметры гидравлической сети для остальных работающих скважин изменяются, так называемый эффект «передавливания». Это приводит к тому, что изменяются режимы работы скважинных насосов, и суммарная эффективность системы может уменьшаться. Задача заключается в регулировании режимов работы скважин с помощью преобразователей частоты, чтобы несмотря на взаимное влияние скважин, суммарная эффективность системы была максимальной.

3. Прогнозирование водопотребления и диагностирование порывов.

Повышение качества прогнозирования режима водопотребления является основой для решения задачи планирования в городском водоснабжении. Для этого в рамках цифровизации предусматривается использование технологий нейронных сетей. Нейронные сети представляют собой математические модели, а также их программные и аппаратные воплощения, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма. Они не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение [1]. В системах водоснабжения и водоотведения нейронные сети применяются для прогнозирования водопотребления или объема стоков.

Нейронные сети используются также для диагностирования порывов в гидравлической сети, где существенное отклонение фактического водопотребления от прогнозного рассматривается системой, как вероятный порыв сети/

В отличие от статистических методов, прогнозные водопотребление формируется не на основании усреднения значений предыдущих периодов, а вычисляется с помощью нейронной сети.

4. Диагностика утечек. Метод базируется на анализе динамики ночных расходов на насосных станциях. У насосных станций, работающих на выделенную водопроводную сеть жилой застройки ночные расходы минимальны и их рост с течением времени указывает на наличие утечек на сетях. Данный метод рассчитан на долговременное наблюдение и выявление

новых утечек. Он не позволяет определить конкретное место утечки, а лишь предупреждает о ее наличии в данной сети.

5. Диагностика состояния насосов. Определение степени износа на основании замера параметров работы насоса в ходе каждого его пуска при разгоне от преобразователя частоты. Данный метод позволяет определять соответствие насоса своим паспортным значениям.

Для его реализации применяется генетический алгоритм (genetic algorithm) — эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. В данном случае генетический алгоритм выполняет анализ работы насоса в переходных режимах (разгон и торможение) и итерационным образом определяет степень износа насоса или выявляет неработоспособность его обратного клапана. Обычно достаточно 10-15 пусков насоса, чтобы оценить степень его износа.

Результат – выявление неисправностей на ранних стадиях, корректирование расхода с учетом степени износа насосных агрегатов.

6. Оптимизация состава насосного оборудования [3]. Решение по оптимальному управлению группой параллельно работающих насосных агрегатов с одним или несколькими преобразователями частоты. Алгоритмы нечеткой логики позволяют без информации о фактических моделях и параметрах насосных агрегатов определять их требуемое количество и режим работы для поддержания заданного технологического параметра.

В данном случае нечеткие регуляторы, к примеру, позволяют на основе накопленных и экспертных данных определять в процессе работы зоны, в которых эффективность работы насоса снижается до нецелесообразного для дальнейшей работы уровня и выключать неэффективный насос без сколько-нибудь существенного влияния на качество процесса.

Результат – снижение энергопотребления насосной станции за счет определения оптимального состава и режима работы насосного оборудования.

7. Подбор насосов. Современная АСУТП, имея полные данные о работе насосов может подобрать оптимальный насос под фактические режимы работы насосной станции. Данная задача решается на основе анализа долговременных режимов расхода и давления на насосной станции и последующего моделирования ее работы с различными моделями насосных агрегатов.

Рассмотрим распределение задач АСУТП на примере АСУТП скважинного водозабора. Ранее управление водозабором осуществляется с помощью автоматизированных систем дистанционного управления и диспетчеризации, основной функционал которых - контроль состояния скважин, а также передача дистанционных команд на их включение/выключение. На современном этапе АСУТП должна осуществлять управление с учетом снижения энергетических и эксплуатационных затрат на процесс добычи воды.

Водозабор не является статичным объектом, и при решении задачи оптимизации его энергопотребления необходимо учитывать ряд переменных факторов и ограничений.

Условно их можно разделить на следующие категории:

1. Переменные факторы, связанные с особенностями скважинных насосных агрегатов.

- a. Переменная эффективность работы насосных агрегатов.
- b. Переменный динамический уровень воды в скважине.
- c. Износ насосных агрегатов.
- d. Переменный состав установленных насосных агрегатов.

2. Переменные факторы, связанные с изменением параметров гидравлической сети (сборным водоводом).

- a. Переменное гидравлическое сопротивление сети;
- b. Взаимное влияние скважин (эффект передавливания)

3. Внешние факторы, которые не связаны с сами водозабором.

a. Переменное водопотребление.

b. Дифференцированные тарифы на электроэнергию.

4. Технологические ограничения, связанные с невозможностью включения скважин в работу.

a. Переменный химический состав воды.

b. Время работы и простоя скважин.

С учетом вышеперечисленных факторов, можно сформулировать три основные задачи автоматического управления водозабором:

1. Обеспечить требуемый объем подачи воды потребителю с нормативным давлением и качеством в автоматическом режиме, с минимальными затратами, с учётом переменной эффективности насосов.

2. Обеспечить бесперебойность водоснабжения путём поддержания регламентированного уровня воды в РЧВ в автоматическом режиме с учётом переменного водопотребления и дифференцированных тарифов.

3. Обеспечить работоспособность и надлежащее санитарно-техническое состояние скважин в автоматическом режиме, с учётом износа насосных агрегатов, взаимного влияния скважин и технологических ограничений.

Для решения этих задач предлагаем определенную последовательность технологий

1. Индивидуальное адаптивное управление режимом работы скважины, с учетом их взаимного влияния.

2. Определение оптимального состава одновременно работающих скважин.

3. Диагностика состояния оборудования и выявление потерь воды на сборном водоводе.

4. Автоматическое поддержание уровня воды в РЧВ, с учетом дифференцированных тарифов на оплату электроэнергии.

## Выводы

1. Автоматизированные системы управления служат основой для внедрения цифровых технологий на предприятиях водоснабжения.

2. Современные АСУТП водоснабжения совмещают функции геоинформационных и SCADA систем.

3. Внедрение цифровых технологий управления процессом водоснабжения может существенно улучшить энергоэффективность процесса.

#### Библиографический список

1. Синицын А. В., Клебанов Е.А. Роль и задачи систем автоматизации городского водоснабжения в контексте цифровизации. // Наилучшие доступные технологии – 2019. – № 1. - С. 17-26.

2. Здор Г. Н., Синицын А. В. Снижение энергозатрат повысительных насосных станций путем исключения завышенного давления в водопроводной сети // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2015. – № 4. - С. 44-53.

3. Здор Г. Н., Синицын А. В., Аврутин О. А. Автоматическое управление группой насосных агрегатов с целью снижения затрат электроэнергии // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. - 2017. - № 1. - С. 54 - 66.

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

Е.Н. Сундукова, к.х.н., доц., Л.Р. Мударисова, студент, КГАСУ, г. Казань

Объемы сточных вод (СВ), образующихся при производстве сахара из сахарной свеклы зависят от многих факторов: схемы водного хозяйства предприятия, наличия и совершенства системы оборотного водоснабжения и производительности основного технологического оборудования. Потребность в воде сахарного производства составляет в среднем до 20 т на 1 т перерабатываемой свеклы [1, 2].

В общем случае состав СВ сахарных заводов (СЗ) определяется местными климатическими и почвенными условиями, наличием систем локальной очистки для отдельных технологических потоков. По химическому составу, физическим свойствам и степени загрязнения СВ подразделяются на три категории [1, 2]:

1 – могут быть использованы повторно без специальной очистки, небольшая часть нуждается лишь в охлаждении и аэрации;

2 – от гидротранспортеров, ловушек, свекломойки, элеватора – требуют механической очистки;

3 – разбавленный транспортерно-мочный осадок, диффузионная вода, жомопрессовая вода, вода от мойки резок, диффузионных ножей, от выпарной установки, промывки пульполовушек, продувки паровых котлов, стоки химводоочистки и т.д. – самые опасные и подлежат обязательной очистке.

Все категории СВ характеризуются сладковатым свекольным запахом, высоким содержанием сахара, содержат также ядовитый для рыб сапонин. Его токсичное действие прекращается только при 5-6-ти кратном разбавлении водой.

Самыми простыми и распространенными очистными сооружения (ОС) для естественной биологической очистки СВ СЗ 3 категории и обработки транспортерно-мочного осадка являются поля фильтрации. После отстаивания на полях фильтрации СВ подщелачиваются до нейтральной или слабо щелочной реакции.

Буинский сахарный завод, построенный в 1960 году, является одним из трех подобных в республике Татарстан. Водоснабжение завода осуществляется из р. Свияги и составляет 6011 м<sup>3</sup>/сут. Наибольшее количество воды тратится на мойку и подготовку свеклы, охлаждение и конденсацию пара в вакуумных конденсаторных установках. Сброс СВ объемом 4336 м<sup>3</sup>/сут производится на поля фильтрации.

Анализ работы ОС Буинского СЗ показал, что большое количество СВ всех категорий, поступающее на поля фильтрации, привело к тому, что поля заилены и превратились в болото, выделяющее круглый год неприятно пахнущие и токсичные газы – сероводород, метан и др. Реконструкцию полей проводили один раз в 2001 году, нынешнее

состояние их является плачевным и вызывает жалобы у населения, поскольку иловые поля расположены в непосредственной близости к городу. Загрязняющие вещества с водой поступают в ручей Каилку и далее в р. Свяягу.

Одними из основных путей совершенствования водного хозяйства СЗ на современном этапе является: во-первых, внедрение оборотного водоснабжения на предприятии; во-вторых, совершенствование локальных и основных ОС с целью повышения их эффективности, снижения материалоемкости, трудозатрат и стоимости строительства, уменьшения площадей, занятых ОС.

СВ 1 и 2 категории, в соответствии с их составом и характером, должны подлежать механической очистке. Для этого на заводе предлагается строительство ОС механической очистки СВ 1 и 2 категории с устройством оборотного водоснабжения производства. СВ на ОС будет последовательно проходить через обычные сооружения механической очистки: решетки, песколовки, отстойники; доочищаться от взвешенных веществ на механических полимерных фильтрах. Обеззараживаться вода будет гипохлоритом натрия в контактном резервуаре, после чего возвращаться на производственные нужды. Транспортно-мочный и фильтрационный осадки будут перекачиваться в отстойник-декантатор, после которого декантированная вода будет использоваться повторно [3, 4]. После внедрения такой схемы очистки эффект удаления взвешенных веществ из СВ может достигнуть 90-95%, а БПК снизится на 45%.

Для периодического сброса данных стоков в водоем необходимо применять дополнительно биологическую очистку. Процесс этот могли бы осуществлять биологические ОС ЗАО «Буинск-Водоканал», на которых бытовые и производственные СВ в настоящий момент очищаются по типовой технологии. Сначала СВ проходят механическую очистку на решетках, в песколовках и первичных отстойниках, затем биологическую - в аэротенках, далее во вторичных отстойниках отделяется активный ил и заканчивается очистка воды дезинфекцией жидким хлором.

Проведенные экономические расчеты показали, что ориентировочно общая сметная стоимость строительства ОС СЗ г. Буинска с внедрением оборотного водоснабжения предприятия составит 82 млн. руб., затраты на оборудование – 30 млн. руб. Несмотря на большие затраты, количество СВ уменьшится в 2 раза, снизится и ущерб от сброса загрязнений в реку, равный на данный момент 8,5 млн. руб. в год. Снизится также плата за водопотребление (ежегодно сейчас она составляет 22 млн. руб.). Срок окупаемости без учета затрат на водопотребление составит 10 лет, а если учитывать и эти затраты, то 3 года, рентабельность инвестиций – 10%.

Таким образом, внедрение предлагаемых решений позволит, в конечном итоге, внести вклад в улучшение экологической обстановки в г. Буинске, снизится степень загрязнения воды в р. Свяяге и в Куйбышевском водохранилище.

## Библиографический список

1. Спичак В.В., Базлов В.Н., Ананьева П.А., Поливанова Т.В. Водное хозяйство сахарных заводов / Под ред. Спичака В.В. – Курск: ГНУ РНИИСП Россельхозакадемии, 2005. – 167 с.
2. Зарцына С.С., Харитоновна Л.А., Калинкина С.П. Совершенствование технологии очистки сточных вод пищевых предприятий // Вода и экология. 2007. № 3. С. 48 - 52.
3. Поливанова Т.В. Повышение надежности работы систем водоснабжения и водоотведения сахарных заводов. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – 144 с.
4. Овчинников А.А. и др. Организация замкнутого оборотного водопотребления при переработке сахарной свеклы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 9. С. 47 - 49.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОТОКОВ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**С.Ю. Теплых**, доц., к.т.н.; **А.К. Стрелков**, проф., д.т.н., СамГТУ, г. Самара

Успешное функционирование и развитие железнодорожного транспорта зависит от состояния природных комплексов, наличия природных ресурсов, развития инфраструктуры искусственной среды и социально-экономической среды общества [1-3]. Загрязнение от объектов железнодорожного транспорта накладываются на загрязнения от хозяйственно-производственной деятельности предприятий и коммунальных служб городов. Техногенное воздействие на окружающую среду может носить локальный (от единичного фактора) или комплексный (от группы различных факторов) характер [4-6]. Для оценки уровня воздействия объектов железнодорожного транспорта на экологическое состояние окружающей среды следует исследовать влияние поверхностных сточных вод от железнодорожных магистралей, от пересечений водных объектов и их притоков мостами или мостовыми переходами на близлежащие водоемы для последующего численно-математического прогнозирования экологической ситуации на малых и больших реках РФ.

На Куйбышевской железной дороге (КЖД) наблюдаются все виды водоотводящих систем железнодорожных комплексов, согласно областям и республикам, через которые проложена Куйбышевская железная дорога. Области: Рязанская, Тамбовская, Пензенская, Ульяновская, Оренбургская, республики: Мордовия, Татарстан, Башкортостан. Учитывая, что в некоторых областях КЖД расположены не значительные по протяженности участки транспортных железнодорожных магистралей (до 150 км), такие области как Рязанская (78,6 км), Тамбовская (60,9 км), Оренбургская (121,9 км), Челябинская область (55,9 км).

При каждом виде непосредственной близости или пересечения водного объекта с железнодорожными путями происходит перенесение и смыв загрязнений расположенных на них и с полосы отвода в поверхностный водный объект (табл. 1).

Данная информация представлена на основе государственных докладов о состоянии окружающей природной среды по областям за последние четыре года с 2014-2017 гг. В представленных данных учтены источники потенциального загрязнения: хозяйственно-бытовые сточные воды от населенных пунктов, сточные воды от промышленных предприятий (при наличии отдельных выпусков), сельскохозяйственные сточные воды и поверхностные стоки, при наличии их очистки. В качестве оценки изначально был принят: удельный комбинированный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, нефтепродукты, железо общее и пр. для Куйбышевской железной дороги. Можно сделать вывод, что минимальное значение УКИЗВ составляет 2,20 (3 класс, разряд «а»), встречается

Параметры направлений железнодорожных путей по КЖД

Группа железнодорожных восток	Длина участка, км	Кол-во пересечений, шт.	Среднее значение пересечений, км <sup>1</sup>	Объект пересечения, (реки, озера)	Длина водотока по железной дороге, км	Водосборная площадь, км <sup>2</sup>	Грузонапряженность, млн т	УКЗИВ реки
Рязанская обл. Еголдаво – Ягодное	78,1	103	0,74	Пара, Ягодная, озеро, Берда, Казина, Мостья, Аксель, Бобка и др.	51,1	1904,5	МЖД 283,3	3,16–3,43 4,27–5,17
Тамбовская обл. Хлудово – Поминавка	78	108	0,72	Разва, Вятка, озеро, река б/н, Цна, Разовка, Каменка и др.	27,4	218,9	МЖД 283,3	3,16–3,43
Мордовия Пичкрядово – 582 км	173	101	1,7	Грачевник, Сеселка, Печора, Лопатино, Мокша, Сдвинь, Исса и др.	226	3637,9	МЖД 283,3	2,2–3,68 4,77–5,56
Пензенская обл. Поминавка – Пачелма	64,4	32	1,84	Орьев, Тарыга, Раевка, Разнозванка, Вьяна и др.	60,4	1495	МЖД 283,3	3,16–3,43
Ульяновская обл. Никулино – Новообразово	92	98	0,94	Съзранка, Катадейка и др.	99,7	857,42	КЖД 188,9	2,2–2,68
Татарстан Ахбаш – Алнаши	162	237	0,68	Кама, Тойма, Комьшлау, Акташка, Зай, Саракла	216,1	1036	ГЖД 239,2	4,64–5,08
Оренбургская обл. Маклаш – Полтавка	24,9	26	0,95	Шешма, Гатка	21,9	118,4	КЖД 188,9	3,44–3,58
Башкирия Приуралье – Белорецк	217,6	259	0,84	Варашкип, Белая, Инзер, Юрмаш, Инфер	229,4	7213,6	Ю-УЖД 342	4,23–4,19
Челябинская обл. Аша – Брап	57,1	48	0,67	Аша, Киселевский, Берда, Слим	42,8	379,86	Ю-УЖД 342	3–46–4,77
Самарская обл. Кошки – Клявлино	128	235	0,84	Кондурча	137,5	2039,1	ГЖД 239,2	3,44–4,58

крайне редко в следующих областях и республиках: Мордовия, Ульяновская и Самарская область, что естественно обусловлено расходом реки Волги и ее притоками. Максимальное значение наблюдается 5,08-5,16 (4 класс, разряд «а»), в Татарстане и Башкортостане. Данные по ингредиентам приведены в табл. 2.

Кафедра «Водоснабжения и водоотведения» АСА, СамГТУ уже несколько лет исследует влияние железнодорожных магистралей на поверхностные водотоки в других областях и республиках, по которым проложены КЖД. Следует рассмотреть характерные участки КЖД, которые представляют наибольший интерес, расположенные в непосредственной близости от железнодорожных магистралей. Полный расчет выполнен на все участки КЖД, согласно группам железнодорожных веток и водными объектами пересечения в соответствии конечно-разностной схемой. В данной главе представлена выборка, которая включает по одному направлению с каждой области (Мордовия, Пензенская, Ульяновская, Татарстан, Башкортостан, где общая длина путей превышает 150 км), как наиболее характерные и четкие названия на карте.

В Республике Мордовия рассмотрим участок: от станции Лашма до станции Пишла – 3 направление. Железнодорожная магистраль проходит параллельно рекам Исса. Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды рек меняется: р. Исса – с 2,2 до 2,68. Длина железнодорожных путей составляет по р. Исса 99,7 км и количество пересечений на данном участке: 101 шт.; длина водотока вдоль путей 226 км; водосбросная площадь 3657,9 км<sup>2</sup>; грузонапряженность 283,3 (МЖД) млн. тонн/год. (см. рис. 1).

В Пензенской области рассмотрим участок: от станции Пачелма до станции Вернадовка до станции Морсово – 5 направление. Железнодорожная магистраль проходит параллельно реке Выша. Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды рек меняется: р. Выша – с 2,78 до 3,41. Длина железнодорожных путей составляет по р. Выша 142,7 км и количество пересечений на данном участке: 56 шт.; длина водотока вдоль путей 171,5 км; водосбросная площадь 3007 км<sup>2</sup>; грузонапряженность 283,3 (МЖД) млн. тонн/год (см. рис. 2).

В Ульяновской области рассмотрим участок: от станции Никулино до станции Новообразцово – 8 направление. Железнодорожная магистраль проходит параллельно реке Канадей, Сызранка. Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды рек меняется: р. Канадей, Сызранка – с 2,2 до 3,08. Длина железнодорожных путей составляет по р. Канадей, Сызранка 92 км и количество пересечений на данном участке: 98 шт.; длина водотока вдоль путей 99,7 км; водосбросная площадь 857,42 км<sup>2</sup>; грузонапряженность 188,9 (КЖД) млн. тонн/год (см. рис. 3).

В Республике Татарстан рассмотрим участок: от станции Акбаш (Акуль) до станции Алнаши (Биклянь) – 15 направление. Железнодорожная магистраль проходит параллельно реке Зай. Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды рек меняется: р. Зай – с 4,64 до 5,08. Длина железнодорожных путей составляет по р. Зай 162 км и количество пересече-

Таблица 2

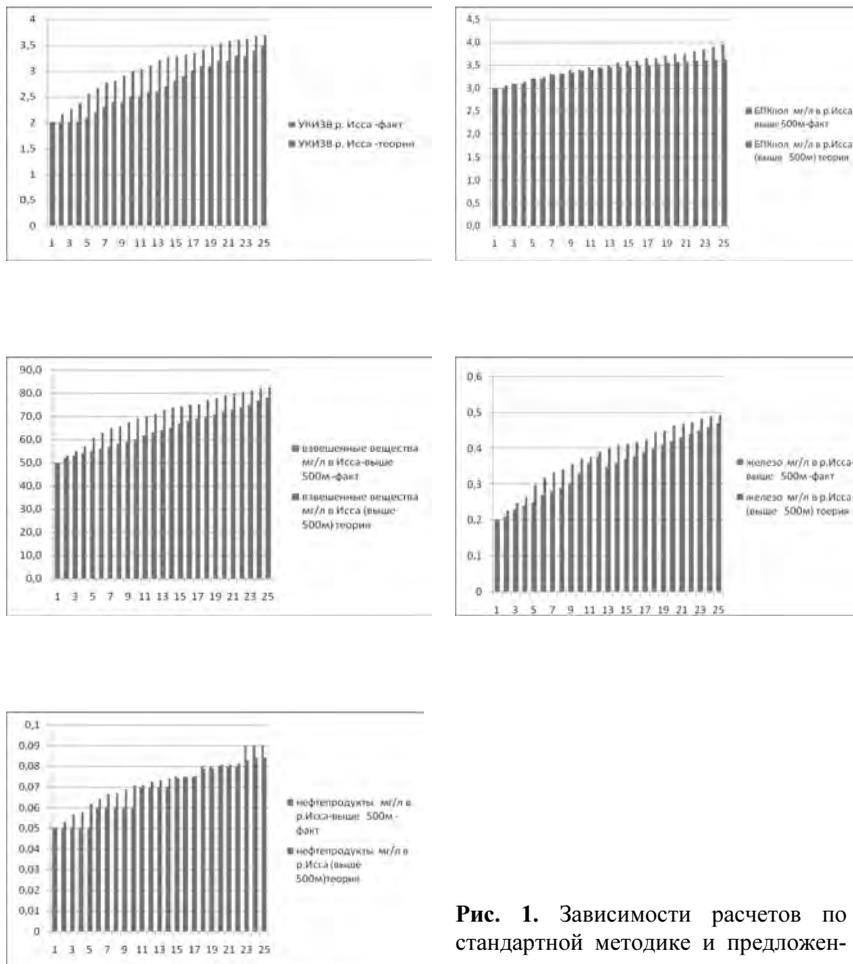
## Качественные показатели загрязнения водных объектов при пересечении или параллельной прокладке ж/д магистралей

Группа железнодорожных веток	УКЗВ	ХПК	БПК <sub>хим</sub>	Раст-воренный O <sub>2</sub>	изве-щен-ные вещества	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub> /NO <sub>3</sub>	P фос-фат	Mg	Cu	Ni	Fe	Zn	Al/Mn	SO <sub>4</sub>	нефте-продук-ты	фено-лы	Средние значения показателей, мг/л																	
																		УКЗВ	ХПК	БПК <sub>хим</sub>	Раст-воренный O <sub>2</sub>	изве-щен-ные вещества	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub> /NO <sub>3</sub>	P фос-фат	Mg	Cu	Ni	Fe	Zn	Al/Mn	SO <sub>4</sub>	нефте-продук-ты	фено-лы	
		15	3	не менее 6	Ф+0,25	0,39	0,02/0,1	0,2	40	0,001	0,01	0,1	0,01	0,04/0,01	100	0,05	0,001																		
		3,04-3,15-3,43-5,14	3,6-4,8-3,3-6,75-3,3-5,4-30-27-33		Ф+3-4	0,55-0,625-0,75-1,65-0,55-0,95	0,096-0,13-0,4-0,088-0,27			0,002-0,004-0,007	0,012-0,038-0,11-0,21	0,13-0,3-0,11-0,21	0,013-0,021	0,0216-0,852	140-170	0,055-0,07-0,06-0,12	0,002-0,005																		
		3,16-3,43	4,23-6,6	4,47-5,11	Ф+8,5	0,27-0,96	0,039-0,17	0,35-0,44	40-50			0,017-0,49			210-290	0,05-0,06																			
		4,77-5,56	3,0-6,6	4,78-5,08	Ф+30-80	1,0-2,5	0,12-0,32			0,002		0,2-0,49				0,05-0,11																			
		2,2-3,68	3,0-4,01																																
		2,78-3,04-3,15-3,41	3,0-3,7	5,38-5,90	Ф+30-70		0,34			0,002		0,13-0,5				0,05-0,11	0,002																		

Ульяновская обл. Никудино Н овообразцов	Сызранка, Канадей и др.	2,2– 2,68– 3,08	3,0– 3,75–4,5		Ф+35– 60	0,6–0,8	0,224– 1,12	0,22	0,004 -	0,23– 0,45			0,06– 0,07	0,002
Татарстан Ахбаш – Алнаш	Кама, Тойма, Комышлуу, Акташка, Зай, Саракла	3,85– 5,08	3,0–4,1 7,5–9,6		Ф+30– 50	1,65– 2,9	0,842,1 1	44	0,003 -	0,12– 0,46		160– 190	0,05– 0,07	0,001– 0,004
Оренбургска я обл. Маслаш – Полтавка	Шешма, Гатка	3,44– 3,58	4,8–5,4	8–10		0,55	0,35		0,004	0,18			0,075– 0,085	0,001– 0,002
Башкирия Григорьеве – Белорецк	Варашкин, Беляк, Иксер, Юрмаш, Иксер	4,19– 5,23	3–6–12		Ф+40– 60	0,78	0,04/ 18,2		0,002 -	0,3–0,5 -0,9	0,02	-0,1– 0,28	0,05– 0,07	0,005– 0,017
Челябинская обл. Аша – Буял	Аша, Киселевский, Берда, Стл.Ай	3–4,6– 4,77	6	8,07		0,39– 0,58	0,02/ 9,1	0,22	0,005 -	0,12	0,027 -	-0,12– 0,13	0,065– 0,5	
Самарская обл. Кошля – Клявдино	Кондура	3,44– 3,58	3,3	6,5	Ф+20			80	0,004	0,6		-0,06– 0,01	450– 600	0,08
Новообразцов о – Сызрань Балашейка	Сызранка,	2,2– 2,68	4,5	6,2	Ф+19			90– 100	0,004 -	0,6		162– 178	0,1	0,0015
Сызрань – Жигулевское М., Сызрань – Самара, Самара – Тольятти	Волга	2,2– 2,68– 3,44– 4,58	3,0–3,02	5,7	Ф+8				0,003 -	0,52	0,03– 0,06	-0,02– 0,03	0,11	0,003– 0,005
Звенида – Чагра	Чагра	2,2– 2,68		5,0	Ф+53					0,48			0,11	0,0015
Тимашево – Сергиев Водр	Сок	3,16– 3,43	4,1–4,3	3,66– 5,9	Ф+38– 137			80– 120	0,002 -	0,52		-0,04– 0,07	0,11	0,002
Самара – Покштиньево	Клеть	3,16– 3,43	3,9–4,2	5,0–5,5	Ф+61			80– 120	0,005 -	0,48		-0,04– 0,07	0,11	0,0015

Примечание: данная информация находится в свободном доступе на сайтах Министерства областей и республик, Приволжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Государственный водный реестр РФ, др

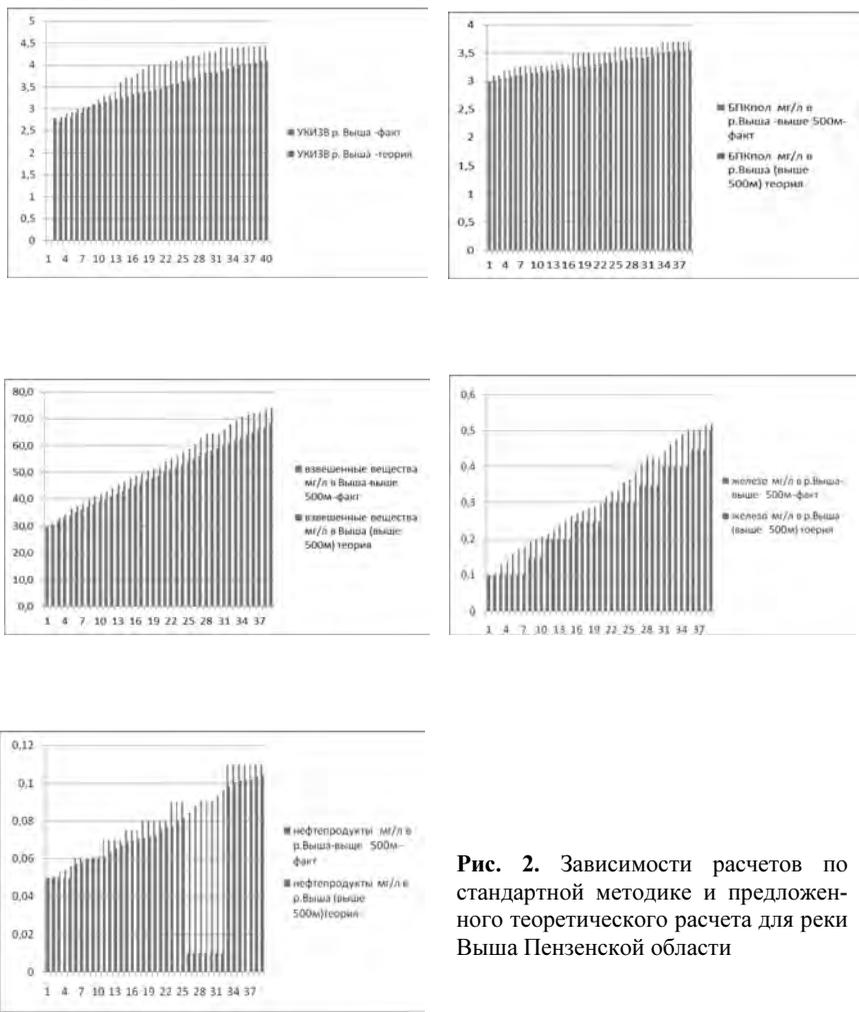
ний на данном участке: 237 шт.; длина водотока вдоль путей 216,1 км; водосборная площадь 1036 км<sup>2</sup>; грузонапряженность 239,2 (ГЖД) млн. тонн/год (см. рис. 4).



**Рис. 1.** Зависимости расчетов по стандартной методике и предложенного теоретического расчета для реки Исса Республики Мордовия

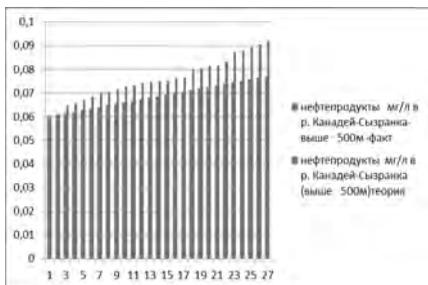
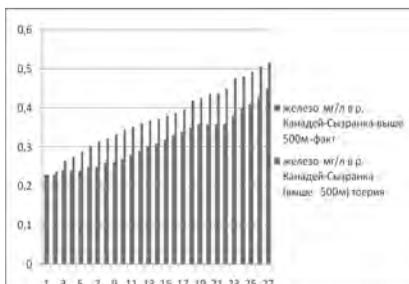
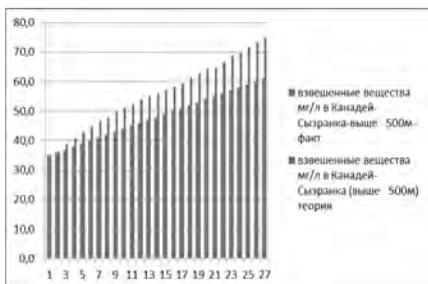
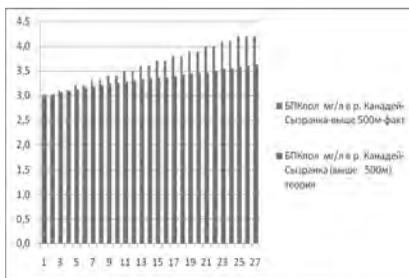
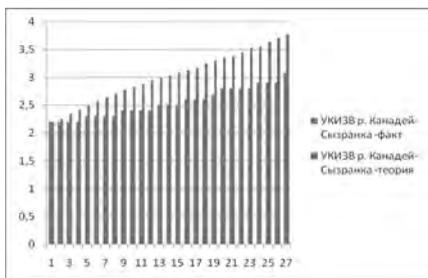
В Республике Башкортостан рассмотрим участок: от станции Юша до станции Пихта (Белорецк) – 21 направление. Железнодорожная магистраль проходит параллельно реке Инзер. Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды рек меняется: р. Инзер – с 4,19 до 4,23. Длина железно-

дорожных путей составляет по р. Инзер 42,9 км и количество пересечений на данном участке: 22 шт.; длина водотока вдоль путей 39 км; водосборная площадь 385 км<sup>2</sup>; грузонапряженность 342 (Ю-УЖД) млн. тонн/год (см. рис. 5).



**Рис. 2.** Зависимости расчетов по стандартной методике и предложенного теоретического расчета для реки Выша Пензенской области

В гистограммах на рис. 1-5 представлены фактические и расчетные данные, согласно предложенной теории, подтверждающей превышение загрязнений в р. Исса, р. Выша, р. Канадей – Сызранка, р. Зай, р. Инзер по сравнению с данными находящимися в свободном доступе.

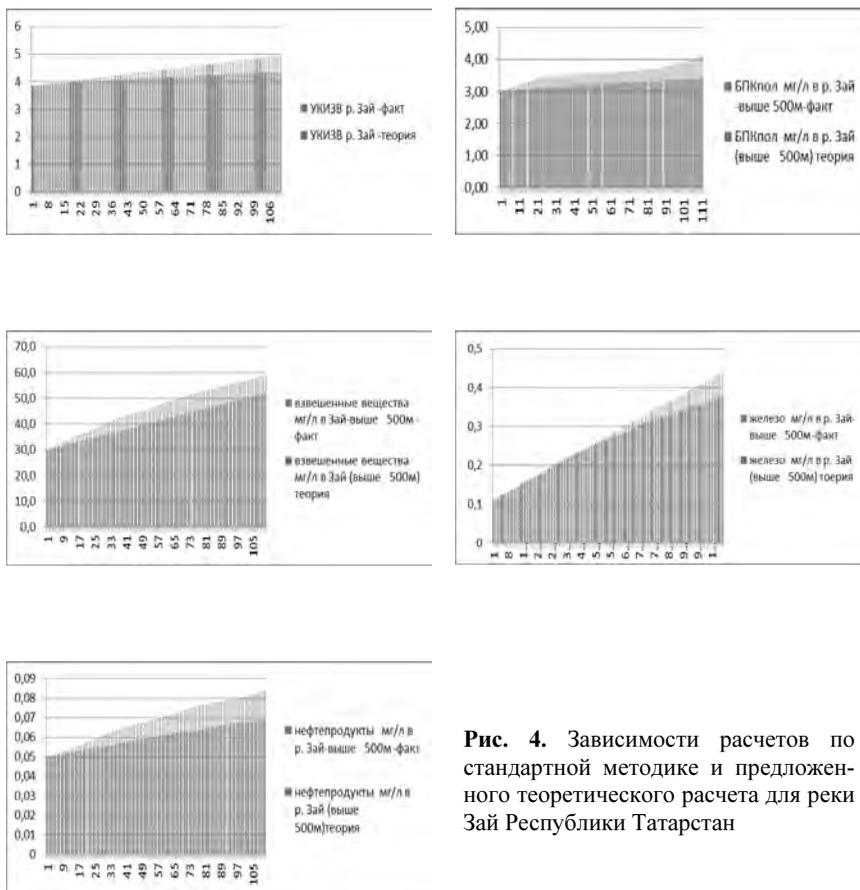


**Рис. 3.** Зависимости расчетов по стандартной методике и предложенного теоретического расчета для реки Канадей-Сызранка Ульяновской области

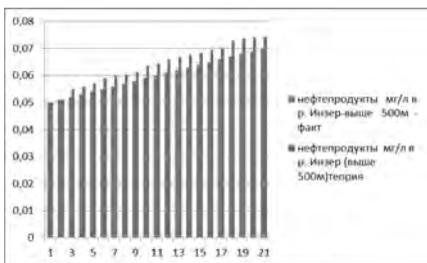
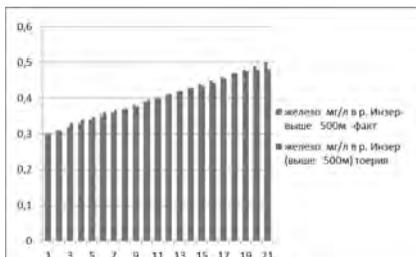
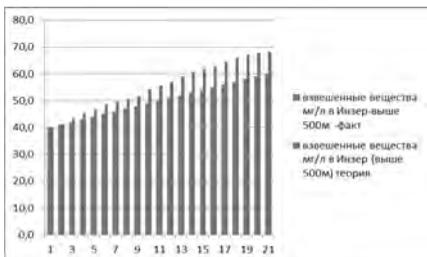
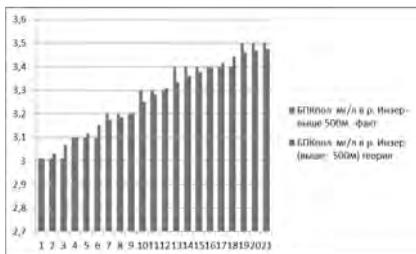
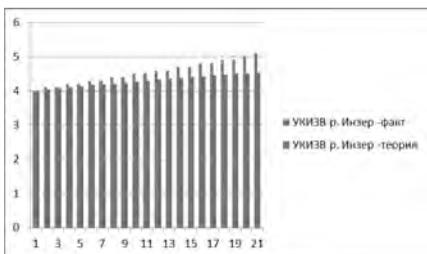
Результаты расчетов по матрицам пересечений сведены в табл. 3.

**Выводы:** Предложенная и апробированная методика моделирования систем водоотведения поверхностного стока с железнодорожного полотна при параллельном расположении водных объектов и транспортных железнодорожных магистралей показывает наличие и привнесение ранее не учитываемых дополнительных загрязнений в водные объекты с железнодорожного полотна.

Исследовано влияние поверхностных сточных вод от железнодорожных магистралей по КЖД (Пензенская, Ульяновская области; Республики Мордовия, Татарстан, Башкортостан), от пересечений водных объектов и их притоков мостами или мостовыми переходами на близлежащие водотоки (реки) с проведением численно-математического прогнозирования экологической ситуации. Выявлено негативное влияние сточных вод от пересечения водных объектов железнодорожными путями на малые реки (с расходом 3000 – 20000 л/с) по следующим ингредиентам: БПКпол, взвешенные вещества, железо (общее), нефтепродукты, УКИЗВ.



**Рис. 4.** Зависимости расчетов по стандартной методике и предложенного теоретического расчета для реки Зай Республики Татарстан



**Рис. 5.** Зависимости расчетов по стандартной методике и предложенного теоретического расчета для реки Инзер Республики Башкортостана

Сводная ведомость превышения загрязнений по водотокам регионов КЖД

№	Наименование региона	Река	Расход реки	Превышение загрязнений по				Нефтепродукты
				УКИЗВ	БПК <sub>полн</sub>	Взвешенные вещества	Железо	
1	Республика Мордовия	Исса	4200 - 8700	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,951	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,941	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,954	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,953	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,943
2	Пензенская область	Вьша	5950-11050	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,804	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,995	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,966	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9945	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9883
3	Ульяновская область	Канадей - Сыранка	6900 - 13500	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9945	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9917	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9942	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9918	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9759
4	Республика Татарстан	Зай	5900 - 8725	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9902	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9901	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9897	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9894	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9883
5	Республика Башкортостан	Инзер	6000 - 9700	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9939	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,991	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9943	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9929	Сходимость данных R <sup>2</sup> =0,9847

## Библиографический список

1. Байдарашвили М.М. Метод защиты природно-техногенных систем с учетом концепции устойчивого развития при осуществлении строительной деятельности // Материалы IV международной научно-практической конференции «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЕБТРАНС-2014)», 22 – 24 октября 2014 г. – СПб.: ФГОУ ВПО ПГУПС, 2010. – С. 32-36.
2. Богомолов О.А. Экономика и экология железнодорожного транспорта в современных реалиях [Электронный ресурс] // Интернет-журнал Науковедение. 2011. Вып. № 1 (6). С.12-28.
3. Теплых С.Ю., Стрелков А.К. Бухман Н.С., Горшкалев П.А. Математическое моделирование загрязнения водотоков поверхностным стоком с железнодорожного полотна // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. №12. С. 44-52.
4. Стрелков А.К., Теплых С.Ю., Горшкалев П.А., Саргсян А.М. Загрязнение водоемов поверхностных водотоков // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. №8. С. 10-12.
5. Теплых С.Ю., Саргсян А.М. Влияние поверхностного стока с путей на водные объекты водотоков // Путь и путевое хозяйство. 2012. №5. С. 27-29.
6. Демидов В.Н. Численное моделирование процессов формирования дождевого стока: автореферат дис ... док. физ-мат. наук; РАН ИВП. – М., 2007 – 36 с.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ДЕМПФЕРНЫЙ РЕЗЕРВУАР КАНАЛИЗАЦИОННЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

**Д.В. Скибо**, МУП «Водоканал» г. Иркутск; **М.Ю. Толстой**, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск; **К.И. Чижик**, НИУ МГСУ, г. Москва

### **Введение**

Развитие городской агломерации, промышленных центров, а также улучшение благосостояния населения продуцирует рост хозяйственно-питьевого и производственного водопотребления. Увеличение расхода воды на бытовые и производственные нужды пропорционально отражается на количестве стоков, поступающих в систему ВО. Точечная застройка в границе населенного пункта способствует формированию значительного объема сточных вод, увеличивая нагрузку на участки существующей канализационной сети. Системы ВО нашей страны в основной своей массе построены во второй половине XX века, при этом их значительная часть на сегодняшний день утратила более половины своего ресурса и имеет высокий уровень аварийности [1-16]. Кроме того, существенное влияние на работу системы оказывают весенний сезон таяния снега и атмосферные осадки в виде дождей большой интенсивности, внезапность которых предусмотреть невозможно [17].

Воздействия тех или иных факторов на участки действующей канализационной сети не могут не сказываться на работе трубопроводов и оборудования [18-20]. Расходы, сформированные посредством атмосферных осадков, могут ощутимо превысить рабочие параметры хозяйственно-бытовой системы канализации и дестабилизировать ее работу. Поступление стоков, превышающих расчетные показатели, наиболее остро сказывается на работе канализационных насосных станций КНС, вызывая аварийные режимы ввиду несоответствия производительности основных насосных агрегатов фактическому притоку сточных вод. Особое внимание следует обратить на санитарное состояние близ расположенных водных объектов, воспринимающих в этих случаях повышенную антропогенную нагрузку. Приток сточных вод на КНС неравномерный и зависит от внутри суточных колебаний, на основе этих данных подбираются рабочие характеристики основного насосного оборудования и устанавливаются режимы, обеспечивающие надежную и эффективную эксплуатацию станции.

### **Материалы и методы исследований**

Современные достижения в области домостроения позволили эффективно использовать селитебные территории за счет увеличения этажности жилых построек. Применение новейших материалов и технологий при возведении современных зданий позволило получать большее количество жи-

лой площади с занимаемых земельных участков, чем в аналогичных случаях 30-40 лет назад. Таким образом, плотность населения на единицу площади в границах населенного пункта неминуемо возрастает с последовательным увеличением объектов социально-бытовой инфраструктуры. Наличие незастроенных земельных участков, а также действующих систем жизнеобеспечения в населенных пунктах и внедрение социальных программ, направленных на повышения уровня комфорта населения, является определяющим значением в принятии решений о точечной застройки.

Влияния пиковых нагрузок на систему ВО приходится в часы максимального водопотребления, которые обусловлены жизненным циклом человека и технологическими процессами производственных предприятий. Учитывая уровень комфорта современного жилья, обусловленный качеством жизни населения, очевидно, что расход сточных вод с площадей жилой застройки стал значительно выше, чем проектировался на эти территории во второй половине XX века. На фоне экономического развития и улучшения бытовых условий населения тариф на хозяйственно-питьевое нужды для физических лиц существенно не индексируется, что отражается на объемах водопотребления. Кроме этого, темпы внедрения программ ресурсосбережения на сегодняшний день крайне незначительны, что сказывается на количестве сточных вод [21-23].

В период активного развития экономических отношений начала XXI века в городской черте отмечен рост новообразованных больших и малых производственных предприятий различных сфер деятельности. Всевозможные пункты общественного питания, аквапарки, предприятия пищевой и легкой промышленности в процессе своей деятельности осуществляют отведение сточных вод в общегородскую систему канализации. Зачастую, фактическое водопотребление подобными структурами на порядок превышает объемы, заявленные в технических условиях при подключении абонента к водопроводным сетям и канализации. При этом очевидно, что гидравлический и оптимизационный расчеты по обоснованию режимов работы сети и сооружений фактически не производились.

Принимая во внимание период массового строительства и ввода в эксплуатацию канализационных сетей и сооружений нашей страны, датированных 60-70-ми годами прошлого века, можно сделать вывод о несоответствии параметров системы тем нагрузкам, которые имеют место на данный момент времени [24-26].

Отдельно следует рассматривать влияние погодных условий на эксплуатационные способности систем ВО, как факторы воздействия на режимы ее работы. Наиболее ощутимым оказывающим дестабилизирующее воздействие на работу оборудования и сооружений можно назвать такие факторы, как ливневые дожди и талые воды в весенний период. Поверхность ландшафта городских территорий нашей страны ввиду всевозможных обстоятельств имеет различный уровень благоустройства, при этом отметки канализационных люков расположены в соответствии с рельефом местности на возвышенности или впадинах. Поверхностный сток, ин-

фильтрируя в участках верховья бассейна ВО через не герметичность крышек канализационных люков, создает значительный расход в сборных самотечных коллекторах хозяйственно-бытовой системе ВО. Атмосферные осадки, а особенно интенсивные дожди, вызывают внезапное повышение уровня стоков в канализационных камерах и самотечных трубопроводах. Резкое увеличение объемов стока поступающего по подводящему самотечному коллектору в КНС приводит к сбоям ее работы [17, 24].

В составе системы ВО КНС осуществляет перекачивание сточных вод на необходимые расстояния и высоты с заданной производительностью. Функция по перемещению перекачиваемой среды в данном гидротехническом сооружении выполняется фекальными насосами центробежного типа по напорным трубопроводам. Основное насосное оборудование, входящее в состав станции, определяется расчетом и в соответствии с категорией надежности действия. Кроме этого, важным элементом является приемный резервуар КНС, рабочий объем которого определяется в зависимости от расхода сточных вод, производительности насосов и допустимой частоты их включения. В случаях внезапного превышения максимально расчетного притока сточных вод в приемном резервуаре КНС происходит увеличение частоты включений основных насосов, что является нежелательным, так как при этом сокращается ресурс электрооборудования и может привести к внезапному отказу. В других случаях, когда приток стоков превышен значительно и производительности всех штатных насосов не достаточно для опорожнения резервуара, создается угроза подтопления станции, в связи с чем в целях безопасности предусматривается аварийное отключение электрооборудования в автоматическом режиме.

Аварийный выход из строя участка системы ВО КНС – напорный трубопровод, от запорной арматуры на подводящем коллекторе станции до камеры гашения напора КГН может происходить по ряду причин. Наиболее часто встречаемые в практике эксплуатации, это повреждение напорного трубопровода и отказы электрооборудования станции. Развитие событий при внезапном прекращении транспортировки жидкости в рассматриваемом участке происходит в следующей последовательности: переполнение стоками самотечных коллекторов приводит к изливу их через смотровые колодцы на рельеф [3, 5, 6, 8, 27].

Учитывая то, что основная масса населенных пунктов нашей страны имеет систему хозяйственно-питьевого водопровода, совмещенную с противопожарным, отсутствует техническая возможность оперативно снижать подачу воды абонентам на хозяйственно-питьевые нужды в период аварии на сетях ВО. Из чего следует, что изливающийся объем стоков в момент аварии и размер экологического ущерба зависит от временного периода, необходимого для устранения неполадок.

Таким образом, во всех рассмотренных случаях характерно то, что сформированный под воздействием тех или иных факторов объем канализационных стоков по тем или иным причинам не может быть транспортирован по напорному участку канализационной системы от КНС до КГН.

Техническим решением данного вопроса является аварийные выпуски от КНС и подводящих самотечных коллекторов, предназначенных отводить сточные воды от аварийных участков канализационной сети. Но, анализируя требования изданий СНиПы – 62, 74, 85 годов, СП 32.13330.2016, можно сделать вывод о том, что нормирование этих требований в период 1962 – 1986 годы носили не однозначный характер. Строительными нормами и правилами, датированными 1962 г. и 1974 г., предусматривалось устройство аварийных выпусков для отведения сточных вод от канализационных сооружений на период аварии в водоемы, при этом вступивший в силу 1986 году СНиП 2.04.03-85, а также СП 32.13330.2016 регламентирует перепуск сточных вод в другие сети или аварийные резервуары без сброса стоков в водные объекты.

### **Результаты и их анализ**

Анализируя технические регламенты по строительству наружных канализационных сетей и сооружений периода 1962 – 1986 годов следует отметить то, что КНС на территории СССР до 1986 года постройки оснащались аварийными выпусками с условием сброса в водные объекты. Принимая во внимание неблагоприятные экономические условия 90 годов прошлого века, можно сделать вывод о том, что значительная часть станций по перекачиванию сточных вод на территории нашей страны имеют техническое оснащение не соответствующее современным экологическим требованиям.

Современные условия развития градостроительства, а также изменение экологических требований, обуславливают целесообразность в повышении пропускной способности и оптимизации технологических режимов в существующей канализационной сети, а именно:

- уменьшение амплитуды колебаний притока сточных вод в условиях суточной неравномерности;
- оптимизация режимов работы и повышение надежности КНС;
- обеспечение экологически безопасного аварийного сброса сточных вод от сооружений системы ВО.

Очевидно, что для выполнения представленных задач необходимо переоснащение отдельных участков канализационных сооружений, а также внедрение новых технических решений в эксплуатацию гидравлического транспорта, способных удовлетворять перечисленные требования.

Конкретизируя необходимость внедрения технологического объекта в систему ВО и определяя состав его функций, можно выразить следующее:

- наличие резервуара для приема зарегулированного или аварийного объема сточных вод из канализационной сети или сооружения в самотечном режиме без применения насосного оборудования;
- способность резервуара опорожнять содержимое в сеть или объект ВО в самотечном режиме с сохранением условий, обеспечивающих предотвращение донных отложений без применения насосного оборудования;

- конструктивное исполнение резервуара должно обеспечивать возможность его применения в границах автомобильных дорог различного назначения с минимальными ограничениями местоположения в плане;

- функционирование резервуара в составе системы ВО должно предусматривать аппаратный контроль в автоматическом режиме, полностью или частично ограничивая присутствие человека.

На сегодняшний день в целях повышения эффективности существующих и вновь проектируемых систем канализации ОАО «Мосводоканал» разработал технические требования по применению аварийно-регулирующих резервуаров АРР.

АРР является природоохранным сооружением, необходимым элементом коммунальной инфраструктуры, обеспечивающий надежное отведение сточных вод в замкнутом бассейне ВО. АРР позволяет снизить коэффициент неравномерности за счет регулирования сточных вод в бассейне ВО, а также аккумулирует их при аварии [28,29].

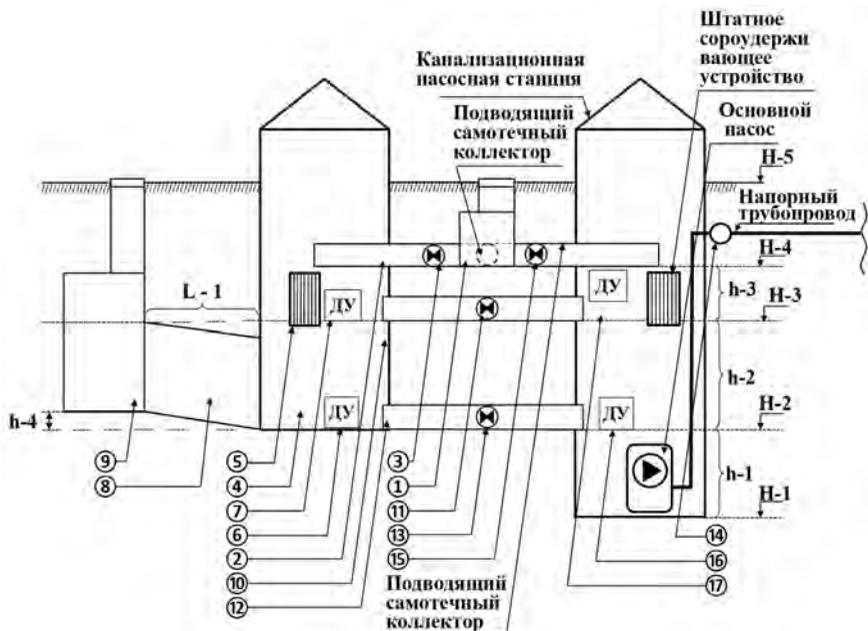
Учитывая вышеперечисленные, а также требования [30], в целях повышения экологической безопасности и эффективности работы системы ВО на базе кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения ФГБОУ ИРНИТУ было разработано устройство «Автоматизированный демпферный резервуар канализационных насосных станций» рис. 1, далее АДР [31]. Устройство относится к области систем ВО и защиты окружающей среды, в частности к дополнительным сооружениям канализационных насосных станций, предназначено для гашения колебаний притока сточных вод и аккумулирования их при аварийной остановке насосов в автоматическом режиме, а также эксплуатации канализационных насосных станций в условиях ограничений для аварийного выпуска сточных вод.

Технический результат заявляемого устройства заключается в автоматизации процесса распределения избыточного и аварийного объемов сточных вод, а также функциональности размещения демпферного коллектора (установка демпферного коллектора в границах автомобильной дороги с возможностью изменения в плане его длины, направления и конфигурации в зависимости от индивидуальных условий местности) [31].

Результат применения АДР как природоохранного и технологически-эффективного сооружения зависит от качества проработки исходных данных табл. 1. Принцип работы устройства основан на действии сил гравитации и законов движения жидкости, в связи с чем, его функциональные возможности необходимо определять математическим моделированием и аналитическим методом исследования. Рабочие параметры устройства должны обеспечивать реверсивное движение необходимого объема жидкости за счет собственной кинетической энергии без дополнительных затрат. Интеграция АДР в действующую систему ВО основана на детальном изучении действительных и предполагаемых условий, формирующих среду его эксплуатации.

Наряду с обработкой исходных данных, основным условием для возможности аккумулирования избыточного притока является объем

резервуара. Определение параметров устройства как аварийно-регулирующего, способного в необходимый момент принимать сточные воды без ущерба для санитарного состояния территорий основывается на предполагаемом притоке хозяйственно-бытовых сточных вод в период аварии на напорных участках канализационной сети и вод сформированных в период интенсивного дождя.



**Рис. 1.** Принципиальная высотная схема автоматизированного демпферного резервуара канализационных насосных станций:

1 - разделительная камера; 2 - обводной самотечный трубопровод; 3 - запорная арматура с электроприводом; 4 - приемная камера демпферного коллектора; 5 - сороудерживающее устройство; 6 - датчик уровня воды; 7 - датчик уровня воды; 8 - демпферный коллектор; 9 - смотровой канализационный колодец; 10 - перепускной самотечный трубопровод; 11 - запорная арматура с электроприводом; 12 - сбросной самотечный трубопровод; 13 - запорная арматура с электроприводом; 14 - расходомер; 15 - запорная арматура с электроприводом; 16 - датчик уровня воды; 17 - датчик уровня воды; 18 - операционный модуль; 19 - коммуникационные кабели; 20 - силовые кабели [31]

Учитывая внезапность повреждений напорных участков канализационной сети как вероятное событие, очевидно, что точное время аварии, а, следовательно, расход стоков, транспортируемых в гидравлической линии, предусмотреть невозможно, поэтому оценку объема аварийного притока справедливо представить в виде среднеквадратического откло-

нения –  $\sigma$  рис. 2, определяемого как квадратный корень из дисперсии случайной величины:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i (x_i - \mu)^2},$$

При этом нормальное распределения среднеквадратического отклонения, как показатель рассеивания случайной величины относительно ее математического ожидания [28] будет записано как:

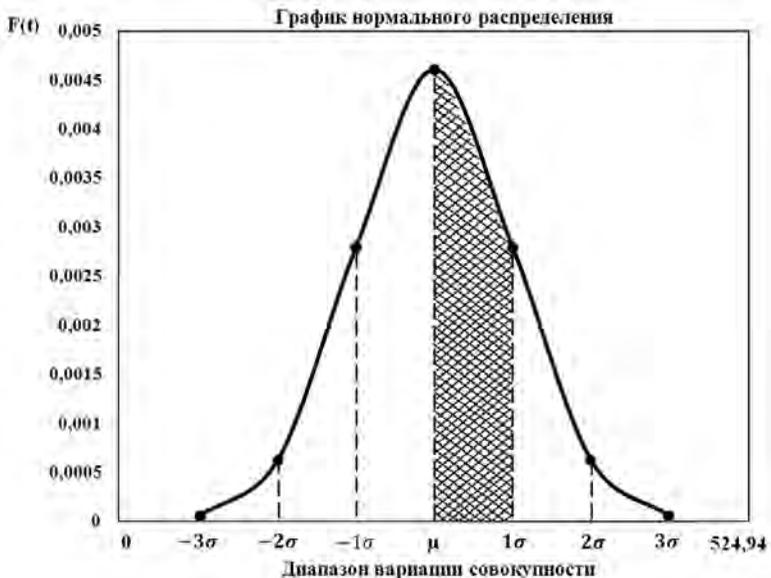
$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

где  $\mu$  – оценка математического ожидания величины;  $x_i$  –  $i$ -й элемент выборки;  $n$  – объём выборки.

Таблица 1

### Структурный план определения условий внедрения АДР





**Рис. 2.** Среднеквадратическое отклонение притока сточных вод от бассейна ВО микрорайона «Берёзовый» в городе Иркутске [23, 32]

Принимая во внимание вышеизложенное, приток хозяйственно-бытовых сточных вод к КНС в период аварии на напорном участке канализационной сети будет смоделирован на примере фактических данных бассейна ВО микрорайона «Берёзовый» в городе Иркутске [23] табл. 2.

Где значение признаков генеральной совокупности будут колебаться от среднеарифметической  $\pm 3\sigma$  рис. 2.

Таким образом, на основании правила 3-х сигм объем стоков от исследуемого объекта будет лежать в диапазоне значений  $\mu = 262,5$  и  $1\sigma = 87,1$  в 6-ти часовом интервале времени при аварии на напорном участке канализационной линии с учетом допустимого 30-ти % снижения подачи воды потребителям на хозяйственно-бытовые нужды.

Следовательно, определение емкости демпферного коллектора –  $V_p$  будет представлено как:

$$V_p = \frac{1}{2}(V_{ав} + V_{атм}) - V_{св} ,$$

где  $V_{ав}$  – аварийный объем стоков (принимается максимальное значение  $\mu + 1\sigma$ );  $V_{св}$  – аккумулирующая способность самотечной канализационной сети, расчет объема которой определяется из свободного объема рабочей части смотровых колодцев, имеет следующий вид:

## Расчетные величины на основе фактических показателей

Часы суток	Суточная неравномерность, %	Расход, м3/ час	Приток при 6-ти часовой аварии, м3	Приток с учетом допустимого 30-ти % снижения подачи, м3	Дисперсия квадратов отклонения
0–01	1,6	24,0	157,5	110,25	23170,9
01–02	1,3	19,5	216,0	151,2	12381,0
02–03	1,3	19,5	298,5	208,95	2864,4
03–04	1,3	19,5	384,0	268,8	40,1
04–05	1,5	22,5	459,0	321,3	3461,0
05–06	3,5	52,5	513,0	359,1	9337,4
06 – 07	5,5	82,5	523,0	366,1	10739,2
07 –08	6,8	102,0	493,0	345,1	6827,7
08 – 09	7	105,0	436,5	305,55	1855,9
09 – 10	6,3	94,5	379,5	265,65	10,1
10 – 11	5,1	76,5	337,5	236,25	687,5
11 – 12	4,2	63,0	325,5	227,85	1198,5
12 – 13	3,5	52,5	345,0	241,5	439,7
13 – 14	3	45,0	388,5	271,95	89,9
14 – 15	3,2	48,0	448,5	313,95	2650,2
15 – 16	3,5	52,5	513,0	359,1	9337,4
16 – 17	4,3	64,5	544,5	381,15	14084,9
17 – 18	5,5	82,5	532,5	372,75	12161,7
18 – 19	6,4	96,0	474,0	331,8	4806,6
19 – 20	7	105,0	402,0	281,4	358,3
20 – 21	7,5	112,5	316,5	221,55	1674,4
21 – 22	5,6	84,0	223,5	156,45	11240,2
22 – 23	3,5	52,5	159,0	111,3	22852,4
23 – 24	1,6	24,0	129,0	90,3	29642,5
Всего	100	1500,0	8999,0	6299,3	181912,0

$$V_{св} = \sum N_{xx} \cdot (D_{xx} \cdot H_{xx}),$$

где  $N_{xx}$  – количество канализационных колодцев в границах бассейна ВО;  $D_{xx}$  – диаметр канализационного колодца;  $H_{xx}$  – высота канализационного колодца, определяется как:

$$H_{xx} = h_{л} + h_{пр},$$

где  $h_{л}$  – отметка лотка канализационного колодца, принимаемая из условий;

$$h_{л} < (h_{пр,мин} - 0,5 - 1,8),$$

$h_{пр. мин}$  – минимальная проектная отметка земли смотрового колодца самотечной канализационной сети;  $h_{пр.}$  – проектная отметка земли смотрового колодца самотечной канализационной сети (уровень расчетного наполнение свободной емкости сети принимается  $< 0,5$  м от кромки люка смотрового канализационного колодца, расположенного в пределах наименьшей горизонтальной отметки);  $V_{атм}$  – объем дождевых вод, поступающий в систему канализации через смотровые колодцы [33] хозяйственно-бытовой канализации в период интенсивности атмосферных осадков, определяемый как:

$$V_{атм} = N_x \cdot t_{20} \cdot Q_{инф} \cdot P,$$

где  $N_x$  – количество канализационных колодцев в границах бассейна ВО;  $t_{20}$  – продолжительность дождя при максимальной интенсивности 20 мин;  $Q_{инф}$  – расход воды, л/с, сформированный путем инфильтрации через зазор между крышкой и корпусом люка канализационного колодца, определяются следующим образом [34]:

$$Q_{инф} = \frac{2}{3} \mu_{инф} b \sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2}),$$

где  $\mu_{инф}$  – для большинства случаев истечения воды из круглых и других форм отверстий принимается 0,6;  $b$  – горизонтальный показатель сечения прямоугольного отверстия;  $H_2$  – напор в нижней части отверстиям, м, определяемый следующим образом:

$$H_2 = \frac{q_{20} \cdot 1200}{10000},$$

где  $q_{20}$  – интенсивность дождя для данной местности, м<sup>3</sup>/с на 1 га,  $H_1$  – напор в верхней части отверстия, м, будет иметь вид:

$$H_1 = H_2 - b,$$

$P$  – коэффициент вероятности выпадения интенсивного дождя, определяемый как:

$$P = \frac{m_\gamma}{\sum_{i=1}^n M_i},$$

где  $m_\gamma$  – среднее количество дождей за год;  $M$  – количество дней в месяце.

Алгоритм в системе расчета аварийного объема хозяйственно-бытовых сточных вод и влияния на него атмосферных осадков, построен на резуль-

татах проводимых исследований [24, 25, 35] и позволяет определить основной рабочий параметр природоохранного сооружения.

### Вывод

В результате проведенных исследований при учете аварий на канализационных насосных станциях рассмотрены проблемы эксплуатации объектов системы ВО. Проанализирована и дана оценка техническому оснащению действующих канализационных насосных станций на территории РФ. Определены условия воздействия внешних факторов на работу канализационной системы. Представлено инновационное решение: «Автоматизированный демпферный резервуар канализационных насосных станций», как дополнительное сооружение насосной станции. Определены условия для адаптации инновационной разработки в технологическом процессе действующих систем ВО. Был составлен алгоритм в системе расчета аварийного объема хозяйственно-бытовых сточных вод и влияния на него атмосферных осадков на основе структурного плана определения условий внедрения АДР. Определена зависимость расчета резервуара на основе вероятностного подхода (правило 3-х сигм), построен график распределения квадратичного отклонения на результатах проводимых исследований, который позволяет определить основной рабочий параметр природоохранного сооружения.

Данная научная работа не является завершенной и в рамках внедрения инновационной разработки будет продолжена. В последующих научных трудах авторы предполагают исследовать условия применения сооружения с зарегулированным стоком, а так же разработку конструктивных решений по промывки демпферного коллектора, и его вентиляции.

### Библиографический список

1. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение» направления подготовки дипломированных специалистов «Строительство» / Ю.В. Воронов; под общ. ред. Ю. В. Воронова. Москва, 2009. (5-е издание, переработанное и дополненное). Учебное издание: – М.: Изд-во АСВ, 2009 – 760 с.

2. Shcherbakov V., Akulshin A., Chizhik K., Tolstoy M. Design of interacting wells for optimization of investments and operating costs while constructing water-diverting structures // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 251, 03037.

3. Орлов В.А. Расчет и проектирование трубопроводов при реконструкции: учебно-методическое пособие / Орлов В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: МИСИ-МГСУ, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2018. — 89 с. [Электронный ресурс] <http://www.iprbookshop.ru/76896.html>.— ЭБС «IPRbooks» (дата обращения 20.02.2019 г.)

4. Гогина Е.С., Шмалько В.М., Толстой М.Ю. Технологии очистки сточных вод в условиях Байкальской природной территории // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 7. С. 11-15.
5. Алексеев М.И., Баранов Л.А., Ермолин Ю.А. Оценка времени жизни объектов ВКХ под воздействием периодически изменяющегося потока отказов // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 4. С. 50-54.
6. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. О показателях надежности систем водоотведения // В сборнике: Яковлевские чтения. X Научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева: сборник докладов. 2015. С. 211-214.
7. Alekseev M., Smirnova E. Waste water of North-West Russia as a threat to the Baltic // Journal of Environmental Engineering and Science. 2016. Т. 11. № 3. С. 67-78.
8. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. О некоторых тенденциях в публикациях по надежности объектов водопроводно-канализационного хозяйства // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 3. С. 70-71.
9. Orlov V. Hydraulic characteristics of internal protective coatings used for rehabilitation of pipelines of water supply and sanitation systems // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 144. 02017.
10. Shmalko V., Gogina E. Environmental situation of Baikal Lake // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 144. С. 05008.
11. Саломеев В.П., Гогина Е.С., Орлов В.А., Макиша Н.А. / Реконструкция систем и сооружений водоотведения. Москва: НИУ МГСУ, 2017.
12. Гогина Е.С., Шмалько В.М., Толстой М.Ю. Технологии очистки сточных вод в условиях байкальской природной территории // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 7. С. 11-15.
13. Саломеев В.П., Гогина Е.С., Орлов В.А. Реконструкция систем водоотведения: учебное пособие. – Электрон. дан. и прогр. (10 Мб). – М.: НИУ МГСУ, 2016. [Электронный ресурс] <http://www.iprbookshop.ru/> (дата обращения 20.02.2019 г.)
14. Воронов Ю.В., Ширкова Т.Н. Проектирование дренажных систем подтапливаемых территорий на основе численного моделирования // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 4. С. 48-54.
15. Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Залетова Н.А., Алексеев С.Е., Гогина Е.С., Ружицкая О.А. Водоотведение и водная экология / Учебно-методическое пособие. М.: Изд-во АСВ, 2016. – 240 с.
16. Ермолин Ю.А., Алексеев М.И. Учет «старения» объекта при оценке его надежности // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 5. С. 68-71.
17. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. Дополнения к СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 [Электронный ресурс] <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293769/4293769496.pdf> (дата обращения 21.02.2019 г.)

18. Кармазинов Ф.В., Мельник Е.А., Пробирский М.Д., Панкова Г.А., Михайлов Д.М., Ильин Ю.А., Игнатчик В.С., Игнатчик С.Ю. Техническое обследование насосных станций системы водоотведения Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 1. С. 20-28.
19. Саломеев В.П. Восстановление и реконструкция насосных станций водоотведения // Научное обозрение. 2017. № 15. С. 35-38.
20. Саломеев В.П., Рыжков А.Д. Восстановление и реконструкция насосных станций в критических ситуациях // Вода Magazine. 2017. № 3 (115). С. 30-33.
21. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 [Электронный ресурс] <http://docs.cntd.ru/document/1200093820> (дата обращения 12.02.201 г.)
22. Скибо Д.В., Толстой М.Ю. Механическая очистка сточных вод на канализационных насосных станциях как способ снижения антропогенного воздействия на окружающую среду // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 10 (62). С. 117-125.
23. Скибо Д.В., Толстой М.Ю. исследование проблем в работе канализационной насосной станции микрорайона «Берёзовый» города Иркутска и методы их решения // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 12 (64). С. 123-132.
24. Чупин В.Р., Мелехов Е.С., Чупин Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения / Монография. – М.: АСВ, 2011. – 325 с.
25. Чупин В.Р., Зеленин А.М., Чупин Р.В Напорно-безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры/ Материалы международной научно-практической конференции: Строительный комплекс Росси. Наука. Образование. Практика. Улан-Удэ. Издат. ВСГУТУ. 2012. С. 137-143.
26. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. – 418 с.
27. Игнатчик С.Ю. Энергосбережение и обеспечение надежности при реконструкции канализационных насосных станций // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. №12. С. 37-43.
28. Постановление Правительства Москвы от 25.01.2000 N 49 (ред. от 23.12.2015) «Об утверждении Норм и правил проектирования планировки и застройки Москвы МГСН 1.01-99».
29. Саломеев В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения / Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 192 с.
30. Федеральный закон № 7 «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 [Электронный ресурс] [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/) (дата обращения 12.02.201 г.)
31. Скибо Д.В., Толстой М.Ю. Автоматизированный демпферный резервуар канализационных насосных станций Патент на полезную модель RU №186682 U1, Опубликовано: 29.01.2019 Бюл. №4.

32. Материал из Википедии — свободной энциклопедии [Электронный ресурс] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Среднеквадратическое\\_отклонение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Среднеквадратическое_отклонение) (дата обращения 21.02.2019 г.)

33. ГОСТ 3634-99 Люки смотровых колодцев и дождеприемники ливне-сточных колодцев. Технические условия (с Поправкой) [Электронный ресурс] <http://docs.cntd.ru/document/1200006883> (дата обращения 21.02.2019 г.)

34. Киселев П.Г., Альтшуль А.Д., Данильченко Н.В., Каспарсон А.А., Кривченко Г.И., Пашков Н.Н., Слисский С.М. Справочник по гидравлическим расчетам /коллектив авторов; под ред. П.Г. Киселева. – 4-е изд., С74 перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1972 г. – М.: ЭКО-ЛИТ, 2011. – 312 с.

35. Щадов М.И., Огнёв И.А., Конюхов В.Ю. Математические модели в горном менеджменте: учебное пособие. – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2011. – 63 с.

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ (БТИ-БОС) ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

**Н.С. Урмитова**, доц., к.т.н., КГАСУ, г. Казань; **А.Х. Низамова**, ст. преподаватель, КГАСУ, г. Казань; **Д.И. Хабибуллин**, ген. директор ООО «НПК Биотехинжиниринг», г. Казань; **А.М. Хабиева**, студент магистратуры, КГАСУ, г. Казань

Биологические очистные сооружения БТИ – БОС, производительностью 450 м<sup>3</sup>/сут, предназначены для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод и приравненных к ним по составу производственных стоков отдельно стоящих зданий и объектов инфраструктуры при отсутствии централизованной системы канализации.

*Таблица 1*

### Основные технические характеристики

№	Название	Ед. изм	Величина
1	Суточный расход	м <sup>3</sup> /сут	450
2	Часовой расход	м <sup>3</sup> /ч	18,75
3	Мощность БТИ-БОС	кВт	до 60
4	Масса оборудования	т	26
5	Сточные воды	хозяйственно-бытовые	

Биологические очистные сооружения типа БТИ-БСО построены в г. Лаишево Республики Татарстан. Сточные воды с территории г. Лаишево поступают в канализационный колодец биологических очистных сооружений БТИ-БОС, в котором установлена решетка-корзинка с прозорами 10 мм для удаления грубодисперсных примесей.

Затем сточные воды отводятся в резервуар-усреднитель емкостью объемом по 50 м<sup>3</sup>. В горловине резервуара-усреднителя установлена решетка-корзинка с прозорами 4 мм. Основным предназначением резервуара-усреднителя является выравнивание колебаний расхода, концентраций взвешенных частиц и температуры сточных вод. Барботажная линия в усреднителе предусмотрена для избежания заиливания дна резервуара-усреднителя и перемешивания стоков. Подача воздуха в усреднитель регулируется вентилем, находящимся в здании биологических очистных сооружений (БОС), а также вентилями в горловинах резервуаров-усреднителей.

После резервуара-усреднителя сточные воды по двум напорным трубопроводам с помощью насосных агрегатов ESPA DRAINEX 401 поступают в здание БОС в песколовку. Тяжелые примеси и песок оседают на дно песколовки и по мере накопления при помощи системы эрлифтов отводятся на песковые площадки.

Далее сточные воды разделяется на две параллельно функционирующие линии и подаются в денитрификаторы. Одновременно в денитрификаторы из вторичных отстойников подается иловая смесь.

В денитрификаторе происходит денитрификация иловой смеси подаваемой из вторичных отстойников. Денитрифицирующие бактерии при биологической очистке сточных вод интенсивно окисляют углеродосодержащую органику, используя нитратный кислород. При этом снижается БПК, повышается щелочность и рН среды. Максимальная интенсивность процесса достигается при рН 7,0-8,2. При значениях рН меньше 6,1 и выше 9,6 процесс полностью затормаживается. Повышение температуры и присутствие легко окисляемых органических веществ интенсифицируют процесс.

Затем сточные воды поступают в аэротенки, где происходит окисление органических загрязнений в присутствии кислорода за счет жизнедеятельности микроорганизмов активного ила.

После аэротенков иловая смесь поступает во вторичные отстойники, где происходит отделение активного ила от воды. В нижней зоне отстойника размещаются эрлифты для возврата циркулирующего и удаления избыточного активного ила. Отстаивание производится в течении 2-2,5 часов, в результате чего активный ил оседает на дно отстойника, откуда эрлифтами подается в денитрификаторы. В случае увеличения дозы ила в аэротенках предусмотрена регулировка отвода ила из вторичных отстойников в минерализатор - стабилизатор. Регулировка подачи воздуха в эрлифты осуществляется при помощи вентиляей.

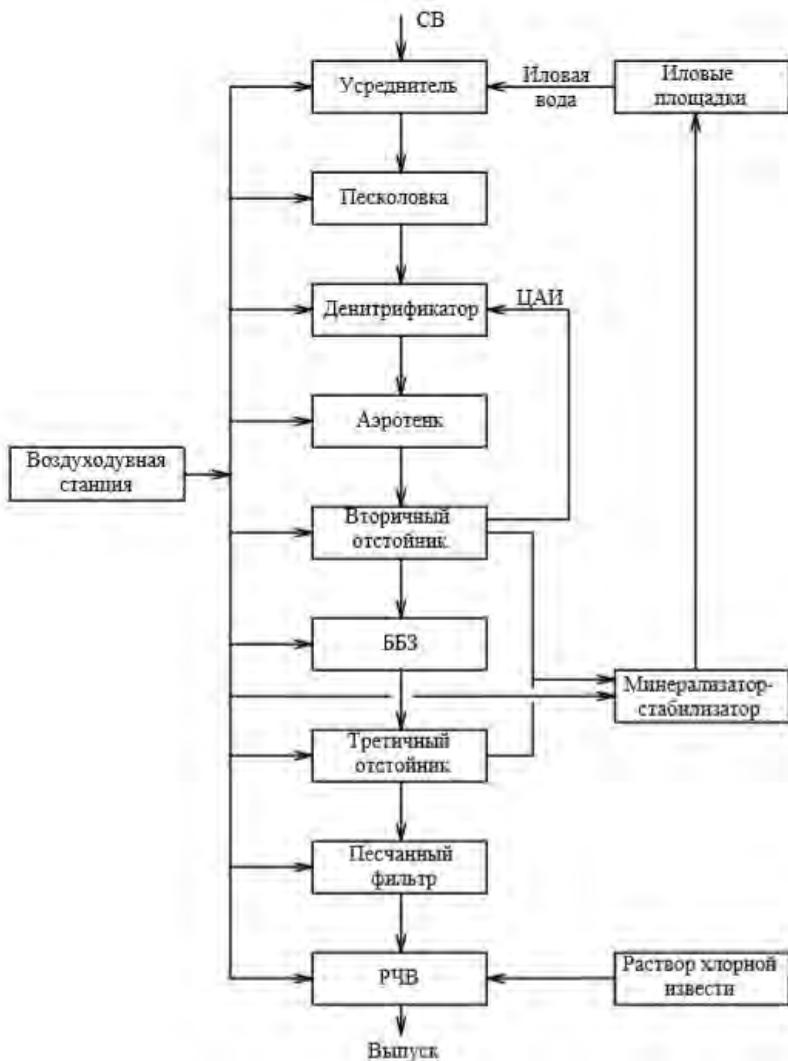
После вторичного отстойника стоки поступают в установку доочистки, оснащенные блоками биологической загрузки (ББЗ). Установка ББЗ оснащена аэрационной системой и системой подачи воздуха для барботирования ББЗ. После установки доочистки с ББЗ стоки поступают в третичный отстойник.

Третичный отстойник предназначен для доочистки стоков, для выделения очищенной сточной воды от свободно плавающего ила. В отстойнике размещаются две эрлифтные установки для удаления образующегося осадка, один ряд ББЗ. Отстаивание производится в течении 2-2,5 часов, в результате чего осадок оседает на дно отстойника откуда эрлифтами подается в минерализатор. На отстойниках предусмотрена система подачи воздуха. Опорожнение емкости осуществляется с помощью крана на линии опорожнения емкостей (аварийной линии).

Из третичных отстойников сточные воды через систему трубопроводов подаются на доочистку в песчаные фильтры из кварцевого песка высотой 1,2 м, сточная вода подается сверху вниз. Ежедневно необходима промывка двух из четырех фильтров.

После доочистки сточная вода поступает в резервуар чистой воды (РЧВ) и отводится с территории очистных сооружений.

Избыточный активный ил из вторичных отстойников, осадок из третичных отстойников удаляются эрлифтами в минерализатор-стабилизатор, где осуществляется стабилизация иловой смеси. Стабилизированная иловая смесь самотеком поступает в зону уплотнения, откуда после уплотнения направляется на дальнейшее обезвоживание на иловые площадки.



**Рис. 1.** Технологическая схема установки БТИ-БОС

Стабилизированный осадок самотеком поступает в зону уплотнения, далее на дальнейшее обезвоживание на иловые площадки. Воздух в аэробный минерализатор-стабилизатор подается постоянно.

Промывные и дренажные воды отводятся в резервуар-усреднитель.

Все образующиеся отходы, после очистки сточных вод вывозятся в места, согласованные с местными территориальными органами местного Управления Роспотребнадзора.

Воздух в аэрационные сооружения подается компрессорами.

Требуемая степень очистки сточных вод очистными сооружениями выбрана исходя из требования норм предельно-допустимой концентрации (ПДК).

Таблица 2

**Концентрация загрязнений в исходной и очищенной воде**

№ п/п	Анализируемые показатели	ПДК рыб-хоз (Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 №20 и СанПиН 2.1.5.980-00)	Содержание в исходной сточной воде
1	Взвешенные вещества, мг/л	10	300
2	рН	6,5-8,5	7
3	БПКполн, мгО <sub>2</sub> /л	3	250
4	Растворенный кислород О <sub>2</sub> , мг/л	6	-
5	Фосфаты (полифосфаты) Me <sub>n</sub> (PO <sub>3</sub> ) <sub>n</sub> , Me <sub>n+2</sub> P <sub>n</sub> O <sub>3n+1</sub> , Me <sub>n</sub> H <sub>2</sub> P <sub>n</sub> O <sub>3n+1</sub> , мг/л	0,2	4
6	Ион аммония NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	0,5	18
7	Нитрит-ион NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,08	0,1
8	Нитрат-ион NO <sub>3</sub> , мг/л	40	0,5

Операции по изготовлению и сборке очистных сооружений ООО «НПК Биотехинжиниринг» проводятся на собственном производстве, где установлены новейшие станки и оборудование от ведущих мировых производителей. Они позволяют во много раз улучшить качество и скорость сборки нашей продукции. Все готовые установки проходят многоступенчатую систему контроля качества: проверка качества сборки и работоспособность узлов очистного сооружения, проверка на герметичность.

Корпуса сооружений биологической очистки типа БТИ-БГО изготовлены из полимерных материалов. Их применение обеспечивает большой экономический эффект благодаря их свойствам.

Преимущества данных конструкций:

- изготовление конструкций (деталей) из полимерных материалов, как правило, менее трудо- и энергоемко, чем из других материалов;
- конструкции (детали) из полимерных материалов легко перерабатываются в изделия различными способами, приобретая при этом любую заданную форму, цвет, фактуру, не требуя почти никакой дополнительной обработки;
- исключается проблема защиты от коррозии;
- высокая химическая стойкость ко многим агрессивным средам;

- использование полимерных материалов позволяет в 8-10 раз уменьшить массу изделий;
- использование полимерных материалов позволяет на 15-20 % снизить расходы на транспорт;
- полимерные материалы имеют такие свойства, как эластичность, низкая теплопроводность, оптическая прозрачность, высокие диэлектрические характеристики, высокие антифрикционные свойства;
- полимерные материалы окрашиваются в любой цвет, а также могут окрашиваться как во всем объеме, так и поверхностно.

Целостность емкостей (резервуаров) достигается при помощи сварки.

Сварка полимерных материалов представляет собой такой способ соединения, при котором полностью или частично исчезает граница раздела между приведенными в контакт поверхностями и образуется структурный переход от одного объема полимера к другому.

Таблица 3

Модель	Габаритные размеры станции очистки		
	длина, мм	ширина, мм	высота, мм
БТИ – БОС, производительностью 450 м <sup>3</sup> /сут	36000	14000	5000

#### Библиографический список

1. Биологические очистные сооружения БТИ-БТИ производительностью 450 м<sup>3</sup>/сут. Технические условия. ТУ 4859 – 001 – 77187807 -2015.
2. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».
3. Мишуков Б.Г., Соловьева Е.А. Глубокая очистка городских сточных вод: учеб. пособие. – СПб.: СПбГАСУ, 2014. – 180 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОНБАССКОГО АКТИВИРОВАННОГО АНТРАЦИТА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЗАПАХА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ НИЖНЕГО ДОНА

**Л.Н. Фесенко**, д.т.н., проф., каф. водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им М.И. Платова, г. Новочеркасск; **Р.В. Израилов**, аспирант, каф. водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им М.И. Платова, г. Новочеркасск; **С.И. Игнатенко**, к.т.н., заместитель директора по научной работе, ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск

На городских водоочистных станциях г.г. Ростов-на-Дону, Таганрог, Азов, Новочеркасск и др. с водозабором из р. Дон в летне-осенний период в отдельные годы наблюдается земляной, затхлый запах воды. Присутствие веществ, придающих питьевой воде нежелательный вкус и запах, вызывает обоснованные претензии и жалобы потребителей. Наличие этих веществ чаще всего связано с естественными процессами – активным ростом и метаболизмом организмов в источниках питьевой воды. Так, по данным лаборатории АО «Ростовводоканал» в теплое время года концентрация фитопланктона превышает более чем в 4 раза допустимый норматив для источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (ГОСТ 2761-84), концентрация микроводорослей в отдельные дни превышает 400000 клеток/см<sup>3</sup> [1].

Микрофиты присутствуют в донской воде во все периоды года и представлены в основном сине-зелеными водорослями (Cyanophyta), диатомовыми водорослями (Bacillariophyta) и зелеными водорослями (Chlorophyta), причем из года в год наблюдается устойчивый рост количества клеток микроводорослей и изменение их видового состава [2-4].

Наиболее часто появляется запах, характеризующийся как земляной, плесневый, иногда наблюдается рыбный. В первую очередь это связано с такими соединениями, как геосмин и 2-метилизоборнеол, которые являются продуктами метаболизма целого ряда микроорганизмов. В основном актиномицетов и цианобактерий, а также многих видов микроводорослей [5]. Эти микроорганизмы входят в водные биоценозы и тесно связаны с развитием фитопланктона.

Дезодорация воды частично достигается при коагулировании примесей и их флокулирования с последующим фильтрованием, однако для устранения нежелательных запахов и привкусов, присущих донскому водоему в июле – сентябре месяцах и отличающихся большой стойкостью, требуется применение специальных технологий. Универсальных методов дезодорации воды на сегодня не существует, однако, использование некоторых из них в сочетании обеспечивает требуемую степень очистки. Запахи и привкусы, вызываемые органическими веществами извлекают путем сорбции, для чего используют гранулированный и порошкообразный активный уголь, активированный антрацит, углеродные волокнистые мате-

риалы и не углеродные природные сорбенты (клиноптилолит, цеолиты и др.) Активный уголь изготавливают из углеродсодержащих материалов: угля, антрацита, древесины, кокосовой скорлупы, торфа и др. Размолотое до размеров 10-100 мкм и отсортированное сырье карбонируют обычно в барабанных печах без доступа воздуха при температуре 700-800 °С, в результате чего из угля выделяются летучие соединения, он уплотняется, приобретает прочность и макропористую структуру. Активируют уголь газами (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) при температуре 750-1000 °С. Чаше других применяют комбинированный парогазовый способ с использованием топочных газов состава CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+ O<sub>2</sub>. Неорганические активирующие добавки из угля вымывают.

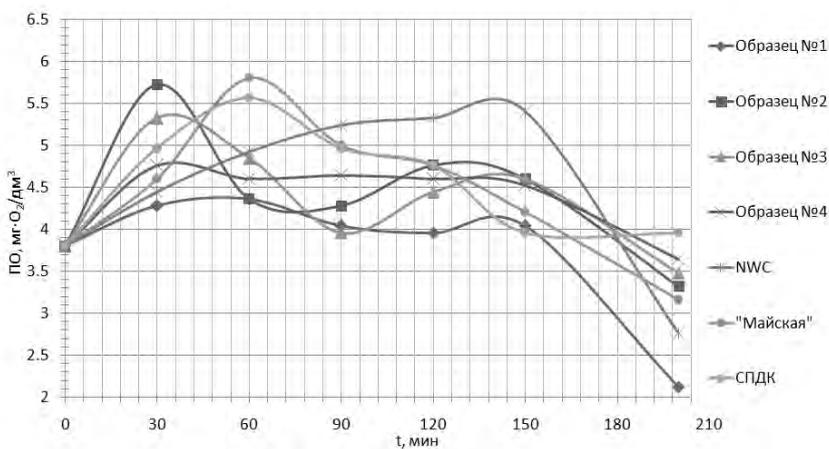
По сравнению с окислительным сорбционный метод является более надежным, т.к. он основан не на деструкции органических веществ, а на их извлечении из воды. Активные угли (АУ) могут применяться двумя способами: введением в обрабатываемую воду порошкообразного угля (углеванием) и фильтрованием через гранулированный активный уголь. Более надежным является применение гранулированных АУ, используемых в качестве фильтрующей загрузки. Такие фильтры независимо от колебания уровня загрязнения воды, служат постоянно действующим барьером по отношению к сорбционным веществам, если емкость угля не исчерпана. Однако серьезным затруднением этого метода дезодорации воды в условиях донских водопроводов является сравнительно малая поглощающая способность АУ, что вызывает необходимость частой его замены или регенерации, а также отсутствие на фильтровальной станции площадей (и недостаток средств) на размещение сорбционных фильтров второй ступени очистки воды. Досыпка действующих скорых песчаных фильтров вторым слоем из гранулированного АУ вызовет трудности при промывке таких фильтров. За счет разности объемных весов загрузок нижний фильтрующий слой не перейдет во взвешенное состояние и со временем кольматируется, а увеличение интенсивности промывки вместе с промывной водой вынесет и весь слой АУ.

Несмотря на ряд существенных недостатков углевания воды (постоянная корректировка дозы в соответствии с концентрацией и видом одорантов, порошкообразный АУ пылит, взрывоопасен, трудности замачивания и дозирования пульпы и др.), тем не менее оно нашло практическое применение, особенно в тех случаях, когда дезодорация должна производиться эпизодически, кратковременно и в небольших дозах АУ, как это и имеет место при сезонном углевании донской воды.

До настоящего времени порошкообразный активный уголь (ПАУ) на Донских водопроводах не применялся и не исследовался, вследствие чего нет практических рекомендаций по технологическим параметрам использования на водопроводных станциях нижнего Дона (марка ПАУ, доза, точки ввода, время контакта и др.). Для изучения этой проблемы на первом этапе были проведены лабораторные исследования по изучению сорбции соединений – одорантов из сырой воды р.Дон углеродными сорбентами

следующих марок ПАУ: СПДК (производство ОАО «Сорбент», г. Пермь); NWC (Индийский ПАУ из кокосовой скорлупы, ООО «Ватер Хим», г. Москва); дробленый антрацит шахты «Майская» (активированный в ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Ростовской обл.); образцы №№ 1, 2, 3, 4 (полученные из антрацита угольного пласта «Обуховский» шахты Шерловской, Шахтинского района, Ростовской области и активированные в ООО «Термолант», г. Гуково, Ростовской обл.).

Исследования проводили на воде (протока р. Дон) водозабора очистных сооружений ст. Бессергеновской по следующей схеме: в стакан наливали 1,5 л исходной сырой воды, ставили на магнитную мешалку и добавляли заранее приготовленные пульпы изучаемых образцов ПАУ дозами 15 мг/л для каждого опыта. Во времени перемешивания определяли перманганатную окисляемость (ПО) в отфильтрованных пробах. Спустя 2,5 часа перемешивания в воду с ПАУ добавляли коагулянт – оксихлорид алюминия марки «Аурат<sup>TM</sup>30» дозой 30 мг/л и после осаждения взвеси также определяли ПО. Кинетические кривые получены по пяти временным точкам и представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Динамика изменения перманганатной окисляемости сырой воды во времени контакта с сорбентами: дозы: сорбента – 15 мг/л; оксихлорида алюминия – 30 мг/л

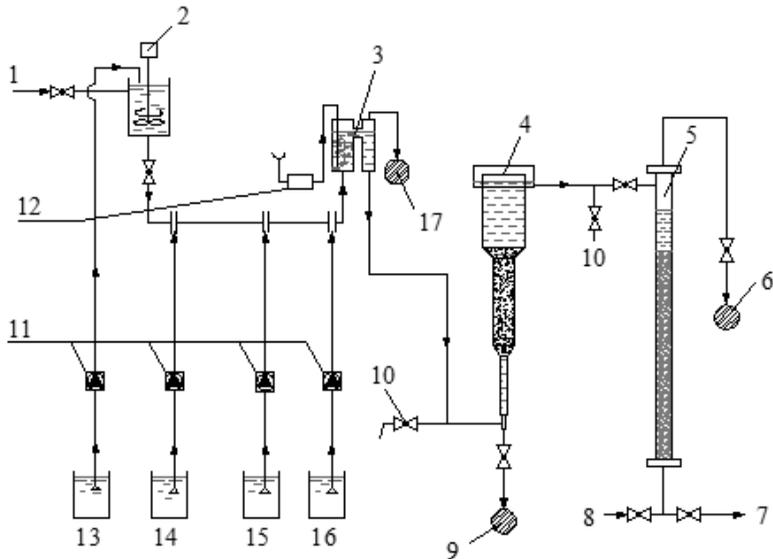
Как следует из представленных графиков, лучшие показатели по величине ПО демонстрирует образец № 1, что особенно наглядно после коагулирования воды.

С целью экспериментальной проверки эффективности технологии сорбционного удаления из исходной воды загрязняющих веществ, обуславливающих запахи и привкусы, были выполнены пилотные испытания дозирования ПАУ (образец № 1 и ПАУ марки СПДК) с последующей коагуляцией в слое взвешенного осадка и фильтрованием на модели скорого

фильтра. Испытания проводили на площадке Бессергеновских водопроводных очистных сооружений (БОС) в период июль-август 2017 г. Технологическая схема пилотной установки полностью моделировала состав сооружений БОС, которые включают вертикальный вихревой смеситель, осветлители со слоем взвешенного осадка коридорного типа, скорые фильтры. Из реагентов на БОС применяют хлорирование электролизным гипохлоритом натрия с аммонизацией и коагулянт – оксихлорид алюминия «Аура-ТМ30». В состав установки входили: контактная ёмкость с пропеллерной мешалкой, моделирующая время пребывания сырой воды (15 мин) в воде от водозабора до площадки БОС, смеситель-аэрактор для максимально полного смешения реагентов (ПАУ, сульфат аммония, электролизный гипохлорит натрия, «Аква-Аурат ТМ 30») с водой; осветлитель со слоем взвешенного осадка типа «Гиразер», в средней части которого формировался и накапливался слой взвешенного осадка из хлопьев гидроксида алюминия, скорый фильтр с зернистой загрузкой из сорбционно-фильтрующего материала ОДМ – 2Ф (опока дробленая, модифицированная с диаметром зерен 0,8-1,5 мм). Технологическая схема и общий вид установки представлены на рис. 2 и 3.

Осветлитель со слоем взвешенного осадка или осадитель типа «Гиразер» [6] состоит из трех поставленных друг на друга цилиндров увеличивающегося диаметра (50, 110 и 150 мм), соединённых между собой усечёнными конусами (рис.3). Скорости восходящего снизу-вверх потока воды приняты такими, чтобы в нижней части не происходило осаждения взвеси ( $V = 2,0-2,5$  мм/с), а в верхней отсутствовал вынос осадка в осветленную воду ( $V = 0,2-0,3$  мм/с). Скорость потока в средней части ( $V = 0,8-1,0$  мм/с) обеспечивает гидродинамическое равновесие слоя взвешенного осадка (рис. 4), который по мере его накопления выводится из осветлителя. Установка также укомплектована тремя перистальтическими насосами ETATRONDS-ROME тип B-VIRATACQUE с расходом от 2 до 5 л/ч (дозирование пульпы ПАУ, растворов гипохлорита натрия и коагулянта) и одним мембранным дозатором марки ETATRONDS-ROME тип DLX с расходом до 5 л/ч для подачи раствора сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Производительность пилотной установки 35 л/ч или 0,6 л/мин. После каждого сооружения установки имеется пробоотборник. Для работы с установкой была приготовлена пульпа ПАУ образец №1 и СПДК концентрациями 0,035%, а также растворы: 0,003%  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; 0,1%  $\text{NaClO}$  и 0,1%  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ .

Схема работы установки следующая: исходная сырая вода подавалась в контактную ёмкость, оборудованную пропеллерной мешалкой, чтобы исключить оседание дозируемой в ёмкость пульпы АУ. Из контактной ёмкости сырая вода с ПАУ самотеком направлялась в смеситель, в трубопровод перед которым дозировали последовательно по ходу движения воды сульфат аммония, гипохлорит натрия и коагулянт. После смесителя вода с реагентами проходила осветлитель со слоем взвешенного осадка и скорый фильтр. В процессе испытаний варьировали дозы ПАУ от 0 до 25 мг/л и коагулянта от 20 до 30 мг/л.



**Рис. 2.** Технологическая схема опытно-производственной пилотной установки дедорации воды:

1 – исходная вода; 2- контактная емкость; 3 – смеситель; 4 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 5 – скорый фильтр; 6 – сброс промывной воды; 7 – очищенная вода; 8 – вода на промывку; 9 – сброс осадка; 10 – пробоотборники; 11 – насосы дозаторы; 12 – компрессор; 13 – ПАУ; 14 – сульфат аммония; 15 – гипохлорит натрия; 16 – коагулянт «АКВА-АУРАТ™30»; 17 – отвод переливной воды



**Рис. 3.** Опытно-производственная пилотная установка дедорации воды



**Рис. 4.**Слой взвешенного осадка хлопьев  $Al(OH)_3$  с сорбированным на них ПАУ

Соотношение доз  $(NH_4)_2SO_4$  (по  $NH_4$ ) и  $NaClO$  (по активному хлору) составляло 1:5, расходы дозаторов корректировали по величине остаточного хлора после фильтра и который поддерживали равным: 0,2 мг/л – активный и 1,0 мг/л – активный связанный хлор. Снижение ПО при углевании донской воды с применением ПАУ «Термолант» образец №1 и СПДК представлены на рис.5 из которого следует, что наилучшие результаты были получены с применением в схеме дезодорации ПАУ образца №1 производства ООО «Термолант» при дозах ПАУ 15 мг/л и коагулянта 20 мг/л.

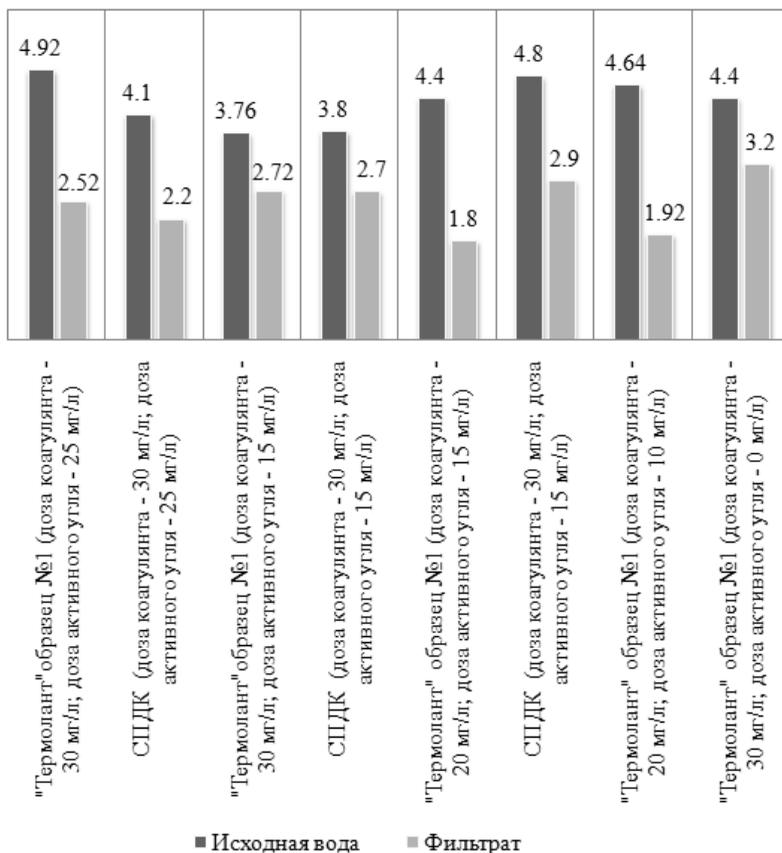
Увеличение доз ПАУ и коагулянта свыше указанных эффекта дезодорации не повышало. При установленных оптимальных дозах ПАУ «Термолант» и оксихлорида алюминия запахи и привкусы в фильтрате пилотной установки отсутствовали в отличие от питьевой воды, прошедшей очистку на БОС по традиционной двухступенчатой схеме без этапа углевания.

## **Выводы**

1. Запахи, периодически появляющиеся в донской воде, которая является основным водоисточником практически всех крупных городов Ростовской области, обусловлены присутствием диатомовых, сине-зеленых и зеленых водорослей.

2. Установлена перспективность дезодорации воды нижнего течения р. Дон методом сорбции с использованием ПАУ, получаемого активированием местных антрацитов угольного пласта «Обуховский» Шахтинского района Ростовской области.

3. Пилотные испытания очистки воды на опытно-производственной установке показали эффективность применения ПАУ на базе активированного антрацита Гуковского месторождения, при этом оптимальная доза ПАУ составляет 15-20 мг/л при дозе коагулянта – оксихлорида алюминия – 20-25 мг/л.



**Рис. 5.** Снижение перманганатной окисляемости при использовании разных образцов ПАУ

#### Библиографический список

1. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Изменение качества воды реки Дон. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей. Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016»: материалы IX Межд. науч.- практ. конф.; г. Ростов-на-Дону, 5-7 октября 2016 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2016. – 300 с.

2. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 10 с.

3. Лысов В.А., Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В. Микрофиты в системе подготовки донской воды / «Строительство-2009»: Мат. юбилейной Межд. науч.-практ. конф.. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2009. 334 с.

4. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В. Изменение качества реки Дон: микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства воды / Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»: материалы VIII Межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 23-24 октября 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ). Новочеркасск: Лик, 2014. 285 с.

5. Бекренев А.В., Русанова Л.П., Викторовский И.В., Воякина Е.Ю., Жаковская З.А., Кухарева Г.И., Хорошко Л.О., Чернова Е.Н. Возникновение запаха воды и его удаление на водопроводных станциях Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 6. С. 17-21.

6. Технические записки по проблемам воды: Пер. с англ. В 2-х т. Т1 / К. Барак, Ж. Бебен, Ж. Бернар и др. Под ред. Т.А. Карюхиной, И.Н. Чурбановой. М.: Стройиздат, 1983. С. 158-159.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЖЕЛЕЗО-КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ СЕРОВОДОРОДА КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА В РЕАКТОРЕ С УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫМ РАЗДЕЛИТЕЛЕМ ПРИ ОЧИСТКЕ ПРИРОДНЫХ ВОД

**Л.Н. Фесенко**, д.т.н., проф., кафедры «Водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им М.И. Платова, г. Новочеркасск; **С.А. Щукин**, аспирант, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им М.И. Платова, г. Новочеркасск; **А.Ю. Черкесов**, к.т.н., главный инженер, ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск; **С.И. Игнатенко**, к.т.н., заместитель директора по научной работе, ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск; **В.А. Онкаев**, к.т.н., доцент Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, г. Элиста

Подземные воды, рассматриваемые как полезные ископаемые, с каждым годом приобретают все большую ценность для общества. Неуклонное ухудшение качества поверхностных вод приводит к усложнению и увеличению стоимости их очистки для целей обеспечения населения качественной питьевой водой. Одним из решений является увеличение доли подземных источников для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Несмотря на сложную гидрохимическую систему большинства подземных вод, им присуща высокая стабильность в отношении физико-химических показателей воды. Одним из наиболее распространенных типов подземных вод являются артезианские воды содержащие сероводород [1-2].

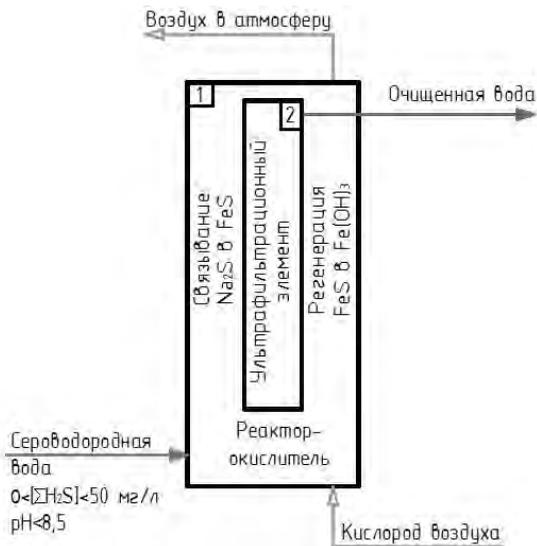
Использование подземных сероводородных возможно только после доведения их качества до требований СанПиН 2.1.4.1074-01, согласно которому концентрация  $H_2S$  в питьевой воде не должна превышать  $0,003 \text{ мг/дм}^3$ .

Одним из перспективных направлений очистки природных вод от сероводорода является метод железо-каталитического окисления сульфида кислородом воздуха в реакторе с ультрафильтрационным разделителем в присутствии катализатора  $Fe(OH)_3$  [3-4]. Принципиальная схема реализации данного метода представлена на рис. 1.

Суть метода заключается в окислении  $H_2S$  до  $S^0$  последовательно по реакциям: образование нерастворимого промежуточного продукта – сульфида железа, который в процессе окисления кислородом воздуха переходит в гидроксид железа (III), являющийся катализатором процесса.

На кинетику протекания процесса влияют следующие факторы:

- 1 - концентрация сероводорода в исходной воде;
- 2 - концентрация гидроксида железа в реакторе-окислителе;
- 3 - время контакта в реакторе окислителе;
- 4 - расход подаваемого воздуха в реактор окислитель;
- 5 - pH среды в реакторе-окислителе;
- 6 - температура в реакторе-окислителе.



**Рис. 1.** Принципиальная схема удаления сероводорода методом железокаталитического окисления в реакторе с ультрафильтрационным разделителем: 1 – реактор-окислитель; 2 – ультрафильтрационный элемент

Ранее выполненными исследованиями была определена рациональная область применения метода [4], однако, условия проведения эксперимента принимались на основании результатов исследований железокаталитического окисления сульфидов сернисто-щелочных сточных вод [4-7].

Для оптимизации параметров технологии очистки требуется построение математической модели (функции) зависимости эффекта удаления сероводорода от влияющих на этот процесс факторов, для чего необходима постановка многофакторного эксперимента [8].

На первом этапе работ проведен поиск граничных условий факторов.

Значения граничных условий 1, 5 и 6-го факторов были приняты на основании данных гидрогеологических исследований подземных сероводородных вод [9]. Граничные условия для концентрации сероводорода в исходной воде её рН и температуры находятся в диапазонах 2-50 мг/дм<sup>3</sup>, 6-9 единиц рН и 5-25°С соответственно. Время контакта принято 0,25-1 ч (увеличение времени контакта прямо пропорционально увеличению объемов сооружений).

Граничные значения факторов 2 и 4 были получены экспериментально на лабораторной установке (рис. 2), в которой искусственно приготовленная (модельная) сероводородная вода из расходной емкости (1) перистальтическим насосом (2) подавалась в реактора-окислитель (3). Расход подаваемой и отбираемой воды составлял 2 дм<sup>3</sup>/ч, что соответствовало времени пребывания в реакторе-окислителе 1 ч. Суммарная концентрация серово-

дорода в модельной воде была равной  $50 \text{ мг/дм}^3$ . После окисления сероводорода разделение очищенной воды от катализатора (гидроксида железа (III)) осуществлялось при помощи ультрафильтрационной мембраны (4), перистальтического насоса (5). Отводимый пермеат проходил через проточную Eh-ячейку (6) и поступал в сборную ёмкость. Для перевода  $\text{FeS}$  в  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в реактор-окислитель компрессором (7) через аэратор (8) подавался воздух. Температура среды в реакторе-окислителе поддерживалась постоянной крио-термостатом (9).



**Рис. 2.** Лабораторная установка реактора с ультрафильтрационным разделителем: 1 – расходная емкость с модельной водой; 2 – насос подачи модельной воды; 3 – реактор-окислитель; 4 – ультрафильтрационный разделитель; 5 – насос отвода пермеата; 6 – Eh-ячейка; 7 – компрессор подачи воздуха; 8 – аэратор; 9 – крио-термостат

Эксперимент проводили при температуре воды и среды в реакторе  $20^\circ\text{C}$ . Водородный показатель поддерживали на уровне  $\text{pH} = 7$ .

Начальная концентрация гидроксида железа в реакторе-окислителе и расход подаваемого в него воздуха были приняты равными их стехиометрическими значениями, концентрация железа составляла  $50 \text{ мг/дм}^3$ , расход подаваемого воздуха  $0,05 \text{ дм}^3/\text{мин}$  на  $1 \text{ дм}^3$  объема реактора. Расход воздуха контролировали ротаметром. В последующих экспериментах концентрацию гидроксида железа увеличивали до момента непрерывной работы установки с отсутствием сероводорода в пермеате на протяжении 8 часов, что соответствовало 8-ми кратному водообмену в реакторе.

Сероводород в фильтрате определяли при помощи ред-оксиметрии (качественно) и аналитическим методом. Окислительно-восстановительный потенциал воды равный нулю и более мВ свидетельствовал о полном отсутствии сероводорода, отрицательные значения – о его наличии. Полученные результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты поиска рабочего диапазона дозы гидроксида железа**

№ п/п	Концентрация Fe(OH) <sub>3</sub> в реакторе, мг/дм <sup>3</sup>	Eh среды в реакторе на конец эксперимента, мВ	Eh пермеата на конец эксперимента, мВ	Остаточная концентрация H <sub>2</sub> S в пермеате на конец эксперимента, мг/дм <sup>3</sup>
1	104*	-213	-130	5,96
2	200	-144	-69	2,56
3	300	-109	-59	2,56
4	400	-196	-79	1,36
5	500	-123	-44	1,53
6	600	-45	+166	0
7	700	-105	+100	0
8	800	-131	+124	0
9	900	-39	+118	0
10	1000	-80	+121	0

\* Стехиометрическая доза гидроксида железа рассчитанная по реакциям, представленным в [3-4].

Исходя из данных, представленных в табл. 1, следует, что минимальная доза гидроксида железа в реакторе-окислителе при минимальном расходе подаваемого воздуха и концентрации H<sub>2</sub>S в исходной воде 50 мг/дм<sup>3</sup> составляет 600 мг/дм<sup>3</sup>. Таким образом, последующие исследования по оптимизации дозы гидроксида железа в реакторе-окислителе при различных расходах воздуха целесообразно проводить в диапазоне от 100 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Такие значения и являются граничными условиями для второго фактора.

Граничные условия расхода подаваемого воздуха в реактор были получены при проведении повторных экспериментов с концентрациями гидроксида железа в реакторе 400 и 500 мг/дм<sup>3</sup>. Расход воздуха в обоих случаях постепенно увеличивали до момента полного отсутствия сероводорода в пермеате, однако такой результат удалось получить только с концентрацией гидроксида железа 500 мг/дм<sup>3</sup>. Результаты экспериментальных исследований показали, что верхнее граничное условие расхода воздуха, подаваемого в реактор для регенерации сульфида железа составляет 1 дм<sup>3</sup>/мин на 1 дм<sup>3</sup> объема реактора.

По результатам проведенных исследований возможно рекомендовать граничные условия для последующих экспериментов по очистке природных сероводородсодержащих вод методом железо-каталитического окисления кислородом воздуха в реакторе с ультрафильтрационным разделителем:

- для концентрации гидроксида железа в реакторе-окислителе рабочий диапазон значений находится в интервале от 100 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>;
- для расхода воздуха, подаваемого в реактор-окислитель, рабочий диапазон значений находится в интервале от 0,05 до 1 дм<sup>3</sup>/мин на 1 дм<sup>3</sup> объема реактора;
- для концентрации сероводорода в исходной воде, рН и температуры значения находятся в диапазонах 2-50 мг/дм<sup>3</sup>, 6-9 единиц рН и 5-25°С соответственно.

### Библиографический список

1. Линевич С.Н. Комплексная обработка и рациональное использование сероводородсодержащих природных и сточных вод. – М.: Стройиздат. – 1987. С. 30.
2. Линевич С.Н. Очистка природных и сточных сероводородных вод: Учеб пособие / Новочерк. политехн. ин-т. Новочеркасск. – 1979. 51 с.
3. Очистка сероводородных природных вод методом железо-каталитического окисления кислородом воздуха в реакторе с ультрафильтр-рационнным разделителем // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., г. Астрахань, 4-6 окт. 2017 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2017.
4. Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Игнатенко С.И., Щукин С.А. – Очистка сероводородсодержащих природных вод железо-каталитическим окислением в реакторе с ультрафильтрационным разделением // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 7. С. 19-22.
5. Фесенко Л.Н., Черкесов А.Ю., Игнатенко С.И., Костюков В.П. Экспериментально-производственные исследования железо-каталитической технологии очистки сернисто-щелочных стоков производства мономеров // Яковлевские чтения. Сборник докладов научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, 15-16 марта 2012 г., Москва / ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». – Москва: МГСУ, 2012. – С. 152-163
6. Технологические схемы очистки воды от сульфидов методом железо-каталитического окисления кислородом воздуха [Текст] / А. Ю. Черкесов [и др.] // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2014»: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., г. Сочи, 23-24 окт. 2014 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2014. – С. 118-129.
7. Черкесов А.Ю. Очистка сернисто-щелочных сточных вод нефтеоргсинтеза от сероводорода: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.04 / Черкесов Аркадий Юльевич; [Место защиты: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет - ГУВПО]. – Волгоград, 2015. – 173 с.
8. Адлер Ю.П., Марков Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 156 с.
9. Плотникова Г.Н. Сероводородные воды СССР. – М.: Недра, 1976. – 132 с.

## К ВЫБОРУ МЕТОДА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ПРЯМОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ МОРСКОЙ ВОДЫ

**Л.Н. Фесенко**, д.т.н., проф. каф. «ВХИСЗОС», ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск; **И.В. Пчельников**, к.т.н., доц. каф. «ВХИСЗОС», ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск; **А.С. Териков**, инженер-проектировщик, ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск; **Нгуен Тхи Туан Зьеп** аспирант, ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск

Мировой опыт имеет практическое подтверждение перспективности и экономической целесообразности применения для биоцидной обработки питьевой и технологической воды низкоконцентрированного электрохимического гипохлорита натрия [1-4].

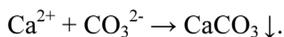
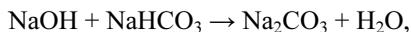
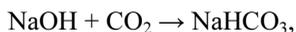
На предприятиях энергетики для обеззараживания охлаждающей воды и предупреждения биообрастаний в теплообменных системах признано оптимальным применение электрохлораторных установок, поскольку обеспечение электроэнергией энергоемкого электролизного процесса на АЭС или ТЭЦ не вызывает дополнительных трудностей [1-4]. Возможность же использования в технологическом процессе производства ГХН в качестве сырья морской воды делает такую схему предотвращения биообрастаний в охлаждающих конденсаторах наиболее экономически целесообразной в сравнении с конкурирующими аналогами.

Состав морской воды существенно отличается от состава искусственно приготовленных растворов поваренной соли [5]. Особенно заметно в морской воде значительное (до 5 раз) превышение концентрации ионов магния над ионами кальция. Из чего следует, что осадки, образующиеся на поверхности катода при электролизе морской воды и раствора пищевой поваренной соли могут значительно отличаться не только по химическому составу, но и по физическим свойствам [5].

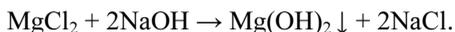
При этом основная проблема надежности работы электролизеров на морской воде связана с образованием на поверхности катодов электролизера нерастворимых соединений ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ), что приводит к нештатному режиму электролиза, перегреву и короблению электродной системы, разрушению оксидного покрытия анодов, резкому снижению производительности установки и др.

Установлено, что скорость образования осадков и их структура зависят от плотности тока, состояния поверхности электрода, времени поляризации и химического состава воды [6]. Наибольшее влияние на образование отложений солей жесткости и гипса при электролизе солевых растворов, оказывает химический состав воды, что связано с наличием ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и растворенного  $\text{CO}_2$ , присутствующих в воде.

В щелочном (по реакции среды) прикатодном пространстве свободная углекислота  $\text{CO}_2$  и ионы гидрокарбоната  $\text{HCO}_3^-$  взаимодействуют с катионами кальция  $\text{Ca}^{2+}$  с последующим образованием  $\text{CaCO}_3$  по реакциям:



Выделившиеся при электролизе ионы  $\text{OH}^-$  не только смещают карбонатное равновесие в область  $\text{CO}_3^{2-}$ , но и участвуют в образовании  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :



На практике проблему образования отложений на катодах электролизера решают удалением из воды солей жесткости, снижением её щелочности (декарбонизации), увеличением скорости потока электролита, использованием ингибиторов (антискалантов), а также применением метода переполюсовки.

При использовании технологии переполюсовки (реверса тока) – периодическим переключением режима работы электрода с анодной поляризации «+» на катодную «-» и обратно, происходит непрерывное уменьшение толщины активного покрытия и, как следствие, необратимая потеря оксидов рутения и иридия. При этом скорость коррозии растет с увеличением плотности тока.

Удаление карбонатных отложений производят путем периодической промывки электродной системы 3-5% раствором соляной кислоты, что не всегда оправдано, поскольку требует частых остановок электролизера и значительного расхода кислоты. Поэтому экономически целесообразным может быть включение в состав электролизной установки блока кондиционирования морской воды с целью удаления из неё солей жесткости или снижения щелочности (декарбонизации).

Для предотвращения образования осадка необходимо удалить из воды ионы кальция, магния и гидрокарбоната, либо одного из них. Поскольку обычно применяемое Na-катионитовое умягчение водопроводной воды, используемой при приготовлении искусственных солевых растворов, для морской воды неприемлемо ввиду высокого противоионного эффекта, то для снижения интенсивности катодных отложений возможно применить декарбонизацию морской воды путем ее подкисления до  $\text{pH}=4,0-4,1$  с переводом иона  $\text{HCO}_3^-$  в свободную углекислоту  $\text{CO}_2$  и последующей дегазацией углекислого газа в аппарате барботажного или пленочного типов.

В исследовании использовали лабораторную установку, представленную в работе [7]. Исследования электролиза морской воды проводили на искусственно приготовленном модельном растворе, полученным растворением расчетных навесок солей. Для приготовления модельного раствора были использованы данные диаграммы (рис. 1).

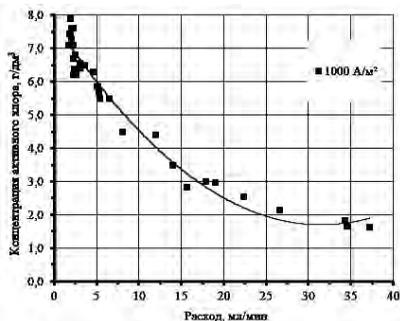
21,0	120,7	528,1
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	СГ
2,3	63,5	604,0

**Рис.1.** Диаграмма гипотетического состава морской воды, в мг-экв/дм<sup>3</sup>

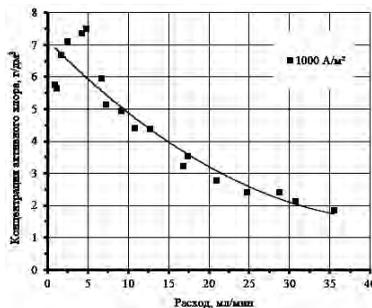
На первом этапе исследований изучали влияние декарбонизации на образование отложений осадка при электролизе морской воды.

Для получения декарбонизированного раствора морской воды использовали 5% соляную кислоту, которую добавляли для доведения pH до значений 4,0-4,1 ед. с последующей отдувкой выделившегося CO<sub>2</sub>.

Результаты исследований электролиза декарбонизированной морской воды представлены на рис. 2 в виде графика зависимости концентрации получаемого активного хлора от расхода воды из которого следует, что при электролизе без декарбонизации (рис. 3) и с ней (рис. 2) сопоставимые результаты по расходам воды через ячейку наблюдаются для концентрации получаемого активного хлора в области от 3,0 г/дм<sup>3</sup> и менее.



**Рис. 2.** Зависимость концентрации активного хлора от расхода декарбонизированной морской воды



**Рис. 3.** Влияние расхода электролита на концентрацию активного хлора при электролизе недекларбонизированной морской воды

С переходом в область более высоких концентраций по эквиваленту активного хлора (э.а.х.) (от 5,5 до 6,0 г/дм<sup>3</sup>) при равных расходах электролита для недекларбонизированной воды получают более высокие (на 10-15 %) концентрации гипохлорита. Для концентрации по э.а.х. ≈ 2,0 г/дм<sup>3</sup> выход хлора по току в 90% наблюдается для недекларбонизированной воды (рис. 4) против 80-85% (рис. 5) в схеме электролиза декарбонизированной морской воды.

Сравнение удельных расходов электроэнергии на получение 1 кг э.а.х. при его концентрации в получаемом продукте около 2,0 г/дм<sup>3</sup> также свидетельствует не в пользу декарбонизации: при простом электролизе морской

воды он составляет 3,5-3,75 кВт·ч/кг против 4,3 кВт·ч/кг с применением кислотной декарбонизации.

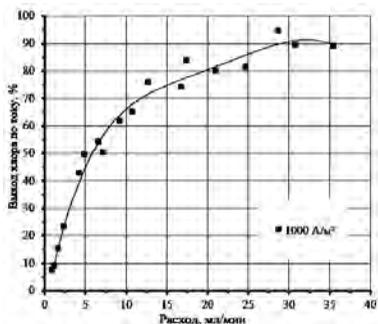


Рис. 4. Выход хлора по току от времени электролиза морской воды

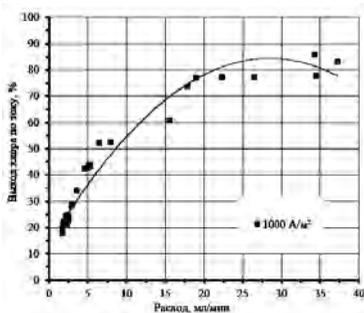


Рис. 5. Зависимость выхода хлора по току от расхода декарбонизированной морской воды

Следует отметить также, что декарбонизация морской воды не оказывает заметного влияния на снижение интенсивности осадкообразования в прикатодном пространстве (как это видно из рис. 6), поскольку основную массу образующегося осадка представляет гидроксид магния, количество которого зависит только от концентрации иона магния в растворе и величины pH (гидратной щелочности), т.е. декарбонизация воды на процесс образования  $Mg(OH)_2$  оказывать влияние не может.

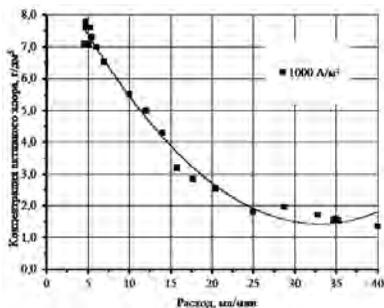


Рис. 6. Электроды, отработавшие 72 часа в декарбонизированном растворе

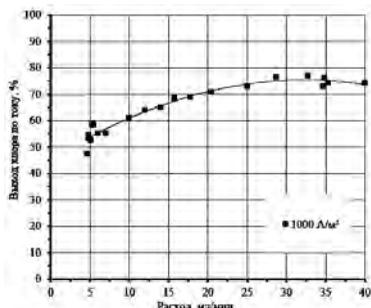
Следующий этап исследования заключался в изучении электролиза ингибированной антискалантами морской воды.

С целью установления влияния ингибитора на образование отложений осадка на катодах электролизера нами были проведены испытания с добав-

лением в модельный раствор морской воды антискаланта марки «Дженезис» (Великобритания) дозой –  $3 \text{ мг/дм}^3$ . Основное действующее вещество – нейтрализованная фосфорная кислота.



**Рис. 7.** Изменение концентрации активного хлора от расхода раствора морской воды с добавлением антискаланта



**Рис. 8.** Зависимость выхода хлора по току от расхода ингибированного электролита через ячейку

Концентрация активного хлора при использовании антискаланта находилась в пределах от  $1,5$  до  $7,7 \text{ г/дм}^3$  (рис. 7). Выход хлора по току при добавлении антискаланта в модельный раствор морской воды находился в пределах от  $50$  до  $75 \%$  (рис. 8), что вполне сопоставимо с электролизом воды без ингибирующих добавок (рис. 2, 4).

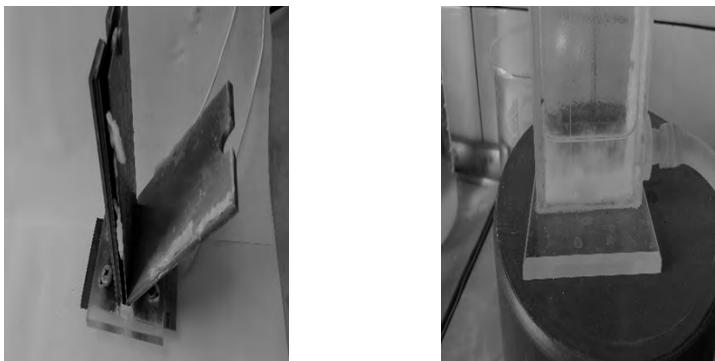
Сравнительный анализ полученных результатов электролиза с антискалантом (рис. 7, 8) с графиками электролиза декарбонизированной воды (рис. 3, 5) показывает, что применение ингибитора положительно влияет на снижение интенсивности обрастания (сравнение рис. 6 и 9), однако полностью не исключает данный процесс.

## Выводы

1. Предварительная декарбонизация морской воды заметно не влияет на снижение интенсивности осадкообразования в прикатодном пространстве, при этом осадок на  $85-87\%$  состоит из гидроксида магния. Более низкий выход хлора по току ( $80-85\%$  против  $90\%$  без декарбонизации), повышенный удельный расход электроэнергии, суточное потребление большого количества соляной кислоты, а также необходимость строительства объемных дегазаторов обуславливают неприемлемость метода декарбонизации морской воды, как метода снижения интенсивности осадкообразования в электролизном аппарате.

2. Применение ингибиторов (антискалантов) снижает интенсивность образования осадка на поверхности катода и в межэлектродном пространстве, однако полностью не исключают процесс осадкообразования. Использование ингибиторов требует своего последующего экономического

расчета и обоснования целесообразности его применения в сравнении с методом периодической кислотной промывки электролизных аппаратов.



**Рис. 9.** Электроды и корпус электролизной ячейки после 75 часов работы в растворе с антискалтантом

#### Библиографический список

1. Сайт компании «Walles & Tiernan» Электролитическая система хлорирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.evoqua.com/en/brands/Wallace\\_and\\_Tiernan/Pages/Hypochlorite-Generation-Equipment.aspx/](http://www.evoqua.com/en/brands/Wallace_and_Tiernan/Pages/Hypochlorite-Generation-Equipment.aspx/), свободный.
2. Системы OSEC® для производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecocontrol.ru/clauses/stati-pro-obezzarazhivanie-vody/sistemy-osec-dlya-proizvodstva-nizkokontsentririrova/>, свободный.
3. Сайт компании SCITEC NT-H Series Electro-chlorination from sea-water [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.cnscyee.com/djhss/html/?22.html/>, свободный.
4. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В., Териков А.С. Установки получения гипохлорита натрия электролизом морской воды // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. №7 (115). С.30-35.
5. Пчельников И.В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента – гипохлорита натрия электролизом морской воды (на примере Черного моря): дис. канд. тех. наук: 05.23.04. – Новочеркасск, 2014. – 155 с.
6. Медриш Г.Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза. [Текст] / Г. Л. Медриш, А. А. Тейшева, Д. Л. Басин. – М.: Стройиздат, 1982. – 81 с.
7. Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Териков А.С., Нгуен Тхи Туан Зьеп. Исследование влияния концентрации хлоридов на образование активного хлора при прямом электролизе // Водоснабжение и сан. техника. 2018. №8. С. 10-14.

## КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ НАСОСОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

**В.Н. Фисенко**, к.т.н., «Ru Well Systems», с. Печерск

Анализ, проведенный специализированным учреждением ООН по промышленному развитию (ЮНИДО), показывает, что от 70% до 28% первоначальной энергии теряется как в неэффективных, так и в «условно» эффективных системах с динамическими насосами, даже если они эксплуатируются в оптимальных режимах – ВЕР. Помимо указанных потерь, возникают еще дополнительные потери энергии, когда насосное оборудование работает с переменной нагрузкой, особенно при работе насосов в режимах недогрузки, отличающихся от оптимального режима ВЕР [1].

Чтобы сформировать обязательства по ограничению выбросов парниковых газов странами участниками Парижского соглашения по климату и понятную систему их контроля (COP-24), необходимо понять, насколько эффективно используется существующая инфраструктура для обеспечения жизнедеятельности человека в промышленно развитых странах, ориентированная на высокоуглеродистый тип экономики, определить какой имеется потенциал для снижения удельного потребления энергии, с тем чтобы оценить возможное уменьшение выбросов парниковых газов в атмосферу в  $\text{CO}_2$  эквиваленте, и как необходимо изменить систему показателей для оценки эффективного использования энергопотребляющего оборудования промышленных и инженерных систем.

Одними из типичных представителей такой инфраструктуры являются промышленные и коммунальные системы водоснабжения и водоотведения.

Контроль энергопотребления при эксплуатации насосов в промышленных и коммунальных системах сопровождается периодическими обследованиями [2] в соответствии с Федеральным законом РФ от 23.11.2009 № 261 и ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414), которые завершаются подготовкой отчета энергетического обследования, а данные отчета должны являться основой для заключения энергосервисных контрактов, с целью снижения энергоемкости промышленных и коммунальных технологических процессов.

Международный стандарт ISO/ASME 14414 «Оценка энергетической эффективности насосных систем», хотя и является прогрессивным и актуальным в своей области, но обеспечивает довольно схематичное и общее описание методологии проверки насосных систем, ввиду их большого количества и разнообразия, не предлагает конкретных процедур и индикаторов для оценки энергоэффективной работы насосных систем, которые могли бы использовать производители, потребители и государственные органы для контроля и стимулирования экономичного использования насосного оборудования. Практика применения [3, 4] показывает, что стандарт нуждается в этой части в обновлении.

Для получения точных данных по расчету индикаторов [5] эффективности и осуществления контроля эффективной работы насоса в системе водоснабжения необходимо следить в режиме реального времени за положением рабочей точки относительно ВЕР по характеристике насоса и учитывать отдельно: режимы работы [6] в энергоэффективной зоне (определенной стандартами ISO/ASME) и на всех остальных режимах, включая рабочую зону и зону нерасчетных режимов, что является на практике достаточно трудоемкой и затратной задачей.

Методы и материалы теории обработки сигналов были применены автором для пересмотра результатов исследований советского периода [7] и были найдены новые показатели и индексы [3-5, 8], более точно отражающие современные требования (табл. 1) к качеству разработки насосов производителем [2, 9, 10] и качеству их использования потребителем [1, 8, 11] в конкретной промышленной или коммунальной системе.

Основными задачами оценки энергоэффективной работы насоса в промышленной или коммунальной системе являются: определение фактического профиля нагрузки насоса с течением времени (рис. 1) и оценка его влияния на превышение энергопотребления насоса относительно номинального режима [3, 5], а предлагаемые методы расчета [4, 8, 11] «показателей экологически чистой эксплуатации» насосов являются наиболее сбалансированными и понятными для массового использования как производителями, так и потребителями насосов. С одной стороны, они учитывают опыт расчета аналогичных национальных показателей в ЕС и США (Таблица 1), а с другой стороны, они свободны от недостатков [11] национальных показателей в ЕС и США.

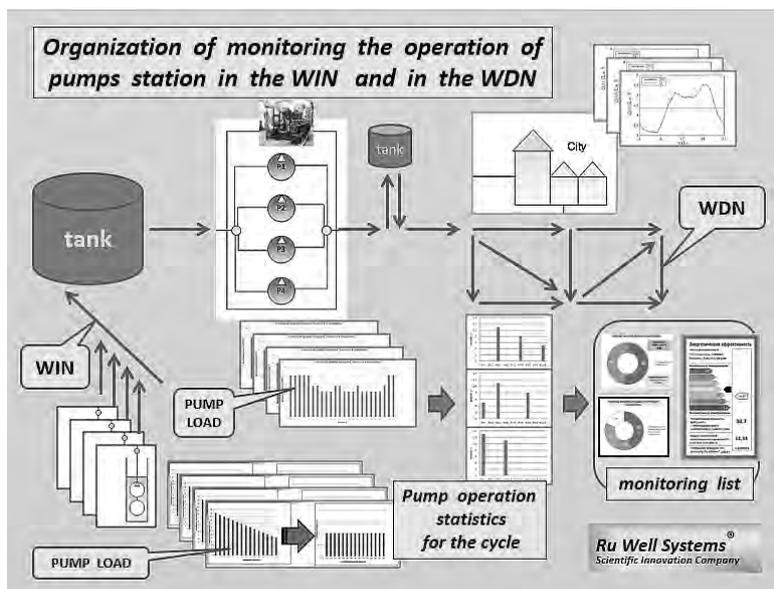
Согласно обновленным подходам [4, 8, 11] – операторы услуг в промышленных и коммунальных системах выбирают насосы не только по традиционным критериям: расчетному напору и расчетному расходу, но еще и по параметрам удельной энергоэффективности  $E_{SO}$  (для режима ВЕР) и величине индекса **EFI** для равновесного интегрального профиля [4] нагрузки ISO/ASME (110-100-75)% ВЕР, и в процессе эксплуатации, стремятся, при осуществлении стратегии управления насосами, поддерживать минимально возможные величины индикаторов **EFI**, исходя из условия обеспечения требований технологических условий производства промышленного продукта или режима водопотребления (водоотведения).

Рекомендуется [4] оснащать насосные станции помимо средств измерения расхода и потребляемой мощности, средствами расчета, контроля и учета индикаторов **EFI** для каждого насоса, например, с помощью PLC-программируемых логических контроллеров, а по изменчивости индикаторов **EFI** можно оценить, насколько эффективно группа насосов используется в течение определенного периода времени, на основании концепции ВЕР и минимизации удельного потребления энергии на 1 м<sup>3</sup> перекачанной воды.

**Соответствие «индекса экологической эксплуатации» насоса –  
EFl применяемым национальным показателям в ЕС и США и РФ**

Наименование показателя	Формула показателя	Соотношение с EFl
$P_{el,avg}$ – средняя скомпенсированная потребляемая мощность, основанная на годовом профиле нагрузки (ЕС)	$P_{el,avg} = \sum_{i=1}^{i=N} \left[ \left( \frac{\Delta t}{t_{tot}} \right) P_{el,i} \right]$	Для испытываемого насоса $P_{el,avg} = E_{so} \bar{Q}_{sx} (1 + EFl)$ где $E_{so}$ – удельное энергопотребление в точке ВЕР $\bar{Q}_{sx}$ – средневзвешенная подача насоса
<b>EEl (Energy Efficiency Index)</b> – индекс энергетической эффективности насоса (ЕС)	$EEI = \frac{P_{el,avg}}{P_{el,ref}}$	Аналогично для эталонного насоса $P_{el,ref} = E_{so,ref} \bar{Q}_{sx,ref} (1 + EFl_{ref})$
<b>PER (pump efficiency rating)</b> – рейтинг эффективности насоса (США)	$PER_{std} = \sum \omega_i \left( \frac{P_{u,i}}{\alpha_i \eta_{насосsSTD}} \right)$ $PER = \sum \omega_i (P_i^{in})$	Для испытываемого и эталонного насосов $PER_{STD} = E_{so,STD} \bar{Q}_{sx,STD} (1 + EFl_{STD})$
<b>PEI (Pump Energy Index)</b> – энергетический индекс насоса (США)	$PEI_{Bas} = \frac{PER_{Bas}}{PER_{STD}}$ $PEI_{CL/VL} = \frac{PER_{CL/VL}}{PER_{STD}}$	$PER_{CL} = E_{so,CL} \bar{Q}_{sx,CL} (1 + EFl_{CL})$ $PER_{Bas} = E_{so,Bas} \bar{Q}_{sx,Bas} (1 + EFl_{Bas})$
$\eta_{исп}$ – коэффициент полезного использования установленной мощности (Россия)	$\eta_{исп} = A_{факт} / A_{опт}$	$\eta_{исп} = \frac{W}{W_{BEF}} (1 + EFl)$ где $W$ – объем водоподдачи, $W_{BEF}$ – объем водоподдачи для режима ВЕР

Укрупненная блок-схема организация мониторинга эффективной эксплуатации насосов в водозаборной и водораспределительной сети системы водоснабжения приведена на рис. 1. Мониторинг относительных параметров энергоэффективности отдельного центробежного насоса и расчет и учет текущей энергоэффективности насоса в режиме реального времени с помощью PLC [4, 11] дает возможность построения локальных сетей **IoT** и включения их в облачные сервисы управления системой водоснабжения с возможным применением в виде приложений многоцелевых эволюционных алгоритмов оптимизации управления и поддержки принятия решений персоналом оператора услуг.



**Рис. 1.** Организация мониторинга эффективной эксплуатации насосов в водозаборной и водораспределительной сети системы водоснабжения: *WIN* – водозаборная сеть, *WDN* – водораспределительная сеть, *tank* – резервуар (вариант-водонапорная башня), *PUMP LOAD* – профиль нагрузки насоса, *Pump operation statistics for the cycle* – стандартизованный (приведенный статистический) профиль нагрузки насоса за цикл времени, *monitoring list* – отчет энергетического обследования

В настоящее время нечеткая логика предлагает естественный подход к решению задачи многокритериальной оптимизации, когда невозможно оптимизировать все противоречивые критерии на 100 %, а только каждый из них до некоторой степени. Так и в системе водоснабжения, требования обеспечения необходимой производительности водоподачи при неравномерности спроса водопотребления и минимизации энергопотребления насосным оборудованием являются противоречивыми критериями.

Как правило, решение задачи многокритериальной оптимизации для поддержки принятия решений осуществляют с помощью эволюционных алгоритмов [12], по которым находят Парето-оптимальный фронт решений с целью минимизации нескольких целевых функций. Этот вопрос при решении практических многокритериальных задач является наиболее трудным и наименее проработанным к настоящему времени, т.к. в результате работы алгоритмов остается достаточно широкое множество решений, которое называют множеством Парето или областью компромиссов, и в процессе принятия решений неизбежно встает вопрос о том, какое именно возможное решение выбрать среди Парето-оптимальных.

Проблема возникших климатических ограничений на рост энергопотребления в технологических процессах повышает вес критериев удельного энергопотребления при решении задач многокритериальной оптимизации использовании насосов в промышленных и коммунальных системах, поэтому многие эволюционные алгоритмы оптимизации технологических процессов, включая работу систем управления насосом и группой насосов могут проверяться на соответствие максимальной эффективности с помощью концепции расчета и минимизации «индекса экологичной эксплуатации» - EFI.

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ОДИНОЧНОГО НАСОСА (НАСОСНОЙ СТАНЦИИ) из условия минимизации удельного энергопотребления сформулирован в [11] на основании сравнительных расчетов для однотипных насосов различных производителей, но разного технического уровня:

$$\bar{E}_{sx} = E_{so}(1 + EFI_{nc}) \Rightarrow \min \quad (1)$$

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ИЗ ТРЕХ НАСОСОВ:

имея сведения для каждого насоса о затратах электроэнергии  $\{E_1; E_2; E_3\}$  и объемах водоподачи  $\{W_1; W_2; W_3\}$ , для произвольного графика нагрузки, за расчетный цикл времени  $T$ :

$$\left[ \begin{array}{l} E = E_1 + E_2 + E_3 \\ W = W_1 + W_2 + W_3 \end{array} \right] \Leftrightarrow \left[ \begin{array}{l} 1 = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 \\ 1 = W_1/W + W_2/W + W_3/W \end{array} \right] \Leftrightarrow \left[ \begin{array}{l} \omega_1 = W_1/W \\ \omega_2 = W_2/W \\ \omega_3 = W_3/W \end{array} \right]$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}_{sx} = \frac{E}{W} = \frac{E_1}{W} + \frac{E_2}{W} + \frac{E_3}{W} = \frac{\omega_1 E_1}{W_1} + \frac{\omega_2 E_2}{W_2} + \frac{\omega_3 E_3}{W_3} = \omega_1 \bar{E}_{sx1} + \omega_2 \bar{E}_{sx2} + \\ + \omega_3 \bar{E}_{sx3} = \omega_1 E_{so1}(1 + EFI_1) + \omega_2 E_{so2}(1 + EFI_2) + \omega_3 E_{so3}(1 + EFI_3) \end{aligned} \right|$$

Далее рассмотрим два случая: первый, когда насосы однотипные и второй, когда насосы разнотипные.

**1 случай** – насосы однотипные ( $E_{so} = E_{so1} = E_{so2} = E_{so3} = \bar{E}_{so}$ )

$$\bar{E}_{sx} = E_{so}[\omega_1(1 + EFI_1) + \omega_2(1 + EFI_2) + \omega_3(1 + EFI_3)] \rightarrow$$

$$\frac{\bar{E}_{sx}}{E_{so}} = [(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) + (\omega_1 EFI_1 + \omega_2 EFI_2 + \omega_3 EFI_3)] \rightarrow$$

$$\frac{E_{sx}}{E_{so}} - 1 = (\omega_1 EFI_1 + \omega_2 EFI_2 + \omega_3 EFI_3) \rightarrow$$

$$EFI_{nc} = \omega_1 EFI_1 + \omega_2 EFI_2 + \omega_3 EFI_3 \quad (2)$$

**2 случай** – насосы разнотипные  $E_{so1} \neq E_{so2} \neq E_{so3}$  нужно рассчитывать средневзвешенную величину  $\bar{E}_{s0}$

$$\bar{E}_{sx} = \omega_1 E_{so1} (1 + EFI_1) + \omega_2 E_{so2} (1 + EFI_2) + \omega_3 E_{so3} (1 + EFI_3) = [\omega_1 E_{so1} + \omega_2 E_{so2} + \omega_3 E_{so3}] + [\omega_1 E_{so1} EFI_1 + \omega_2 E_{so2} EFI_2 + \omega_3 E_{so3} EFI_3] = \bar{E}_{s0} + [\omega_1 E_{so1} EFI_1 + \omega_2 E_{so2} EFI_2 + \omega_3 E_{so3} EFI_3] \rightarrow$$

$$\bar{E}_{sx} - \bar{E}_{s0} = [\omega_1 E_{so1} EFI_1 + \omega_2 E_{so2} EFI_2 + \omega_3 E_{so3} EFI_3] \rightarrow$$

$$\left[ \begin{array}{l} EFI_{nc} = \frac{[\omega_1 E_{so1} EFI_1 + \omega_2 E_{so2} EFI_2 + \omega_3 E_{so3} EFI_3]}{\bar{E}_{s0}} \\ \bar{E}_{s0} = [\omega_1 E_{so1} + \omega_2 E_{so2} + \omega_3 E_{so3}] \end{array} \right. \quad (3)$$

Следует отметить, что при групповой работе насосов на сеть (рис. 1), задача поиска оптимизационного алгоритма управления [4, 11] и регулирования нагрузки насосов, вследствие стохастического характера пользования услугами системы потребителями, сводится к поиску локальных минимумов функционала (2), либо (3) формирующего множество Парето-оптимальных решений, но для реализации стратегии управления должна быть построена имитационная (суррогатная) модель всей или части [7] системы водоснабжения.

Этот подход также применим, если насос работает с переменной скоростью, а точки ВЕР соответствующие каждой скорости образуют кривую ВЕР как образующую на трехмерной поверхности к.п.д. в координатах P-Q-n, либо расположены в верхней области части трехмерной поверхности к.п.д. ограниченной криволинейными секущими плоскостями, соответствующих граничным значениями к.п.д. диапазона ISO/ASME 110 и 75% ВЕР.

Только небольшая область вдоль кривой (или части поверхности) ВЕР при частотном регулировании производительности насоса может относиться к эффективной области регулирования (согласно требованиям стандартов, ISO/ASME), а эффективность регулирования частоты вращения насоса для поддержания постоянного напора или постоянного расхода насоса с большим диапазоном изменением скорости вращения всегда будет менее экономичным вариантом, чем регулирование вдоль кривой ВЕР.

При заполнении различных форм данных по мониторингу проведения субъектами Российской Федерации оценки состояния объектов централизованных систем водоснабжения используются базовые показатели, которые предлагается дополнить уточняющими показателями:

**Показатели оценки состояния объектов централизованных систем водоснабжения**

31	Удельный расход электрической энергии, потребляемой в технологическом процессе транспортировки питьевой воды, на единицу объема воды, отпускаемой в сеть	кВт·ч/м <sup>3</sup>
	- в том числе нормативный удельный расход электрической энергии, потребляемой в технологическом процессе транспортировки питьевой воды, на единицу объема воды, отпускаемой в сеть, при работе насосного оборудования в номинальных режимах (ВЕР)	кВт·ч/м <sup>3</sup>
32	Удельный расход электрической энергии, потребляемой в технологическом процессе подготовки питьевой воды, на единицу объема воды, отпускаемой в сеть	кВт·ч/м <sup>3</sup>
	- в том числе нормативный удельный расход электрической энергии, потребляемой в технологическом процессе подготовки питьевой воды, на единицу объема воды, отпускаемой в сеть, при работе насосного оборудования в номинальных режимах (ВЕР)	кВт·ч/м <sup>3</sup>

Библиографический список

1. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 6. С. 52–63.
2. Фисенко В.Н. Оценка технического уровня погружного насоса при проведении инспекции энергоэффективности скважинного водозабора по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) // Вода Magazine. 2017. № 5. С. 24–29.
3. Фисенко В.Н. Показатели высокой энергетической эффективности центробежных насосов, работающих с переменным профилем нагрузки //Международная научно-техническая конференция «ECOPUMP-RUS'2017 «Энергоэффективность и инновации в насосостроении. Импортзамещение и локализация производства в России» - 26 октября 2017 г., Москва, Изд. МВЦ «Крокус-Экспо», 2017. С. 84-99.
4. Фисенко В.Н. Об оценке энергоэффективности насосных систем по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) и параметрам жизненного цикла методики LCC //Международная научно-техническая конференция «ECOPUMP-RUS'2018 «Инновации и энергоэффективность в насосостроении» - 25 октября 2018г., Москва, Изд. МВЦ «Крокус-Экспо», 2018. С. 61-73.
5. Фисенко В.Н. Индексы энергетической эффективности группы погружных центробежных насосов, работающих с переменным профилем нагрузки в водозаборных скважинах // Вода Magazine. 2017. № 9. С. 24–31.
6. Фисенко В.Н. Расчет индексов энергоэффективности при проектировании и эксплуатации групповых скважинных водозаборов // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 10. С. 38–50.

7. Фисенко В.Н., Система имитационного моделирования подъема воды из скважины с беструбной установкой погружного электронасоса (СИ-МОНА-ВС), Калинин, НПО «Центрпрограммсистем», Госфонд алгоритмов и программ, 1990.

8. Фисенко В.Н. О системе показателей энергетической эффективности насосов в системах водоснабжения и водоотведения // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. № 6. С. 54–60.

9. Фисенко В.Н. Жизненный цикл погружных центробежных насосов в водозаборных скважинах // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 7. С. 54–63.

10. Фисенко В.Н. О жизненном цикле водозаборных скважин с погружными центробежными насосами // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 4. С. 44–50.

11. Фисенко В.Н. Энергетический аудит насосов в промышленных или коммунальных системах и маркировка эффективности эксплуатации // Химическая техника. 2019. № 1-2. С. 25.

12. Manuel López-Ibáñez. Operational Optimisation of Water Distribution Networks. PhD thesis, School of Engineering and the Built Environment, Edinburgh Napier University, UK, 2009.

## ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДСКОЙ СВАЛКИ ТБО Г. НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

Л.Р. Хисамеева, ст. препод.; Р.Ш. Алимов, студент, КГАСУ, г. Казань

Одним из значительных источников загрязнения водных объектов являются свалки, на которых в результате инфильтрации атмосферных осадков образуются фильтрационные сточные воды (далее – фильтрат).

Фильтрат, содержит целый ряд органических и неорганических, токсичных химических соединений в концентрациях, превышающих в десятки и сотни раз их установленные предельно-допустимые значения (ПДК). Образование фильтрата на свалках является основным фактором их негативного воздействия на окружающую природную среду.

Одним из самых распространенных на сегодняшний день в Республике Татарстан способов удаления ТБО является их складирование на полигонах. Это самый дешевый, но в то же время и самый длительный способ – период удаления и минерализации отходов составляет от 80 до 100 лет. Полигоны ТБО, которые введены в эксплуатацию в конце 90-х годов и в начале 2000г, в основном не строились как технические сооружения, поэтому не все имеют противофильтрационные экраны, и не обустроены. Из-за отсутствия в регионах специализированных полигонов для опасных промышленных отходов на полигоны бытовых отходов частично попадают опасные отходы от предприятий, заключивших договора на удаление ТБО, что возможно в виду слабого контроля приемки отходов на свалках (полигонах). Полигоны оказывают существенное отрицательное влияние на санитарное состояние прилегающих территорий: образуется значительное количество пыли, сильный глинистый запах, шум. В теле полигона протекает ряд процессов, вызывающих образование «свалочного газа» и сточных вод «фильтрата», которое ухудшают экологическое состояние региона. При этом наиболее уязвимыми являются подземные воды, а также поверхностные воды, почва, грунты и т.п. которые, как известно, представляют элементы биотопа [1, 2].

Городская свалка ТБО города Набережные Челны, размещается в районе с. Тогаево. Она занимает площадь в 146 856 м<sup>2</sup> и эксплуатировалась с 1978 г. Тело свалки не имеет определенной геометрической формы. Объем накопленных отходов составляет 1450 тыс.м<sup>3</sup>. Высота отвалов от уровня поверхности почвенного грунта составляет 38,00 м с наибольшей высотной отметкой 229,54 м. Свалка не имеет ни обваловки, ни ограждения, откосы не соответствуют нормативным требованиям. Противофильтрационный экран отсутствует. Для мониторинга грунтовых вод используются существующие наблюдательные скважины. Существующая свалка ТБО не отвечает санитарно-экологическим требованиям, представляет значительную эпидемиологическую опасность, нарушает природный ландшафт и является источником загрязнения почвы, подземных и грунтовых вод, атмосфер-

ного воздуха. Рассматриваются мероприятия по подготовке городской свалки ТБО к закрытию с последующей рекультивацией.

Рекультивация свалок – это совокупность методов и средств по экологическому и экономическому восстановлению свалки ТБО после завершения его деятельности. Основная задача, которую преследуют рекультивация – ввод неиспользуемых земель в лесохозяйственное направление. Рекультивация проводится по окончании стабилизации закрытых полигонов (свалок) – процесса упрочнения свалочного грунта, достижения им постоянного устойчивого состояния. Процесс рекультивации свалки отходов выполняется в два отдельных этапа: технический и биологический. Технический этап включает в себя исследование состояния свалочного тела и его воздействие на окружающую природную среду, подготовка территории свалки к последующему целевому использованию. К нему относятся строительство проездов и гидротехнических сооружений, планировка тела свалки (перемещение свалочного грунта для засыпки пониженных участков) и формирование откосов с необходимым углом наклона, сбор, очистка и утилизация биогаза, сбор и обработка фильтрата и поверхностных сточных вод, разработка, транспортировка и нанесение технологических слоев, создание рекультивационного многофункционального покрытия. Биологический этап рекультивации предусматривает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных земель. Данный этап осуществляется после инженерно-технического этапа рекультивации [3].

В комплекс работ по рекультивации свалки твердых бытовых отходов входит решение вопросов по организации сбора, отвода и очистки фильтрата. Проектные решения по сбору фильтрата приняты с учетом исходных данных: геологических и экологических изысканий, а также анализа существующего положения в границах отведенного участка.

Строительство очистных сооружений проектируется с целью минимизации негативного влияния свалочного фильтрата на окружающую среду и в связи с необходимостью очистки дренажных сточных вод со свалки до требований: СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

В данном проекте предусмотрена схема отвода дренажных стоков на очистные сооружения. Фильтрат со дна карты складирования твердых бытовых отходов по системе перфорированных и закрытых трубопроводов самотеком поступает в проектируемую контрольно-регулирующую емкость объемом  $V = 100 \text{ м}^3$ . Далее фильтрат в самотечном режиме направляется в проектируемую канализационную насосную станцию (КНС-1). Загрязненные дренажные стоки (фильтрат) насосами КНС-1 перекачивается в существующую накопительную емкость загрязненных стоков объемом  $V = 3200 \text{ м}^3$ . В данную емкость отводятся также дождевые и талые стоки с рекультивируемой свалки ТБО.

Для очистки фильтрата из тела свалки принята блочно-модульная станция по обработке свалочного фильтрата производительностью 100 м<sup>3</sup>/сут. ООО «ТОРОС ГК». Технические характеристики сточной воды до и после очистки представлены в табл. 1 [4].

Таблица 1

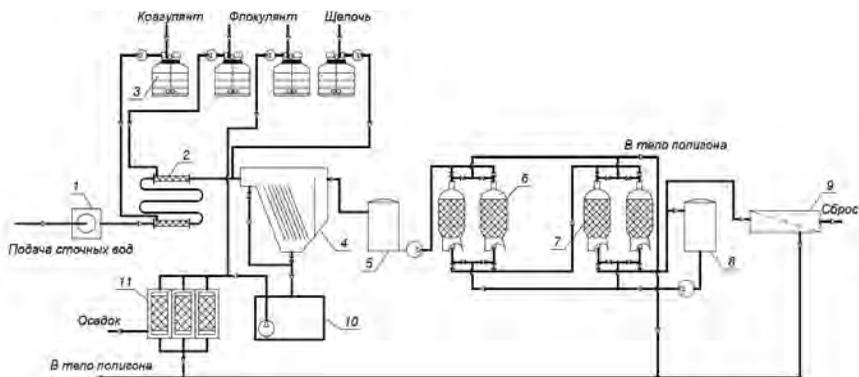
**Характеристики стоков и требования к очищенной воде**

№ п/п	Загрязнитель	Единицы измерения	Концентрация загрязнителей в исходной воде
1	Взвешенные вещества	мг/л	до 3000
2	ХПК	мгО <sub>2</sub> /л	до 4000
3	БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /л	до 1950
4	Нефтепродукты	мг/л	до 1,5
5	Общая минерализация	мг/л	До 6900
6	Сульфаты	мг/л	50
7	Хлориды	мг/л	1500
8	Аммиак (по азоту)	мг/л	560
9	Нитраты	мг/л	50
10	Кальций	мг/л	190
11	Магний	мг/л	110
12	Мутность	мг/л	210
13	Железо	мг/л	0,5
14	Фосфаты	мг/л	45

Степень очистки сточных вод принята до требований, предъявляемых к сбросу очищенных сточных вод в водоемы рыбохозяйственного назначения.

С целью минимизации негативного влияния свалочного фильтрата на окружающую среду, технологическая схема очистки, включает в себя следующие узлы (рис. 1): узел механической очистки стоков (удаление песка, взвешенных веществ); узел приготовления и дозирования реагентов; узел смешения сточной воды и реагентов (укрепление загрязняющих веществ, находящихся в коллоидном состоянии); узел напорной флотации; узел промежуточного накопления сточной воды; узел механической фильтрации; узел сорбционной фильтрации; резервуар воды для промывки; узел обратноосмотического обессоливания; узел накопления и усреднения осадка; узел обезвоживания осадка. В процессе очистки стоков на станции образуется осадок, который вывозится на действующие свалки.

Исходная сточная вода (фильтрат свалки отходов) поступает в узел накопления и усреднения сточной воды в аккумулирующий резервуар. Далее из резервуара с помощью насосов сточная вода перекачивается на очистные сооружения в блочно-модульном исполнении. На первой стадии очистных сооружений сточная вода поступает в узел механической очистки



**Рис. 1.** Технологическая схема очистки свалочного фильтрата:

1 – узел механической очистки; 2 – узел смешения сточной воды и реагентов; 3 – узел приготовления и дозирования реагентов; 4 – узел напорной флотации; 5 – узел промежуточного накопления сточной воды; 6 – узел механической фильтрации; 7 – узел сорбционной фильтрации; 8 – резервуар чистой воды; 9 – узел обратноосмотического обессоливания; 10 – узел накопления и усреднения осадка; 11 – узел обезвоживания осадка

для удаления крупных включений размерами более 0,5 мм, в состав которой входит барабанная решетка тонкой очистки ТБО. Далее вода поступает в узел смешения со специальными реагентами. Интенсивное и полное смешение реагентов с водой и необходимое время контакта обеспечивает трубчатый смеситель со встроенными статическими миксерами. Реагенты подаются из узла предварительного приготовления и дозирования реагентов. Далее вода поступает на вторую стадию очистки в узел напорной флотации для отделения скоагулированных примесей, в которой происходит очистка от тяжелых металлов, взвешенных веществ и нефтепродуктов. Образующийся осадок в донной части и флотопена самотеком направляются в узел накопления и усреднения осадка. Далее вода поступает в узел промежуточного накопления сточной воды и с помощью промежуточных насосов перекачивается на третью стадию очистки в узел механической и сорбционной фильтрации, в которых происходит доочистка сточной воды от тяжелых металлов, органических примесей и нефтепродуктов. Для восстановления фильтрующих свойств загрузки предусмотрена обратноточная промывка очищенной водой. Промывные воды от фильтров направляются "в голову" очистных сооружений в узел накопления и усреднения сточной воды. Частично очищенная от механических примесей, тяжелых металлов, органических веществ и нефтепродуктов вода поступает в резервуар чистой воды. С помощью насосов очищенная вода подается на промывку фильтров. Далее вода поступает в узел обратноосмотического обессоливания для глубокой доочистки. В процессе очистки стоки разделяются на два потока: концентрат – поток с высоким содержанием примесей, который отправляется на тело полигона и пермеат – очищенная вода, которая на-

правляется на сброс. Осадок и флотопена из узла накопления и усреднения осадка насосом перекачивается в узел обезвоживания. Обезвоженный осадок направляется на утилизацию на полигон ТБО, а отработанные воды направляются «в голову» очистных сооружений [4].

#### Библиографический список

1. Алимов Р.Ш., Хисамеева Л.Р. К вопросу очистки дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Наука и образование в XXI веке». Часть 3. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2018 . С.10-11.

2. Алимов Р.Ш., Хисамеева Л.Р. Влияние полигонов твердых бытовых отходов и свалок на состояние водных ресурсов // «Наука сегодня: фундаментальные и прикладные исследования»: Материалы международной научно-практической конференции. – Вологда: ООО «Маркер», 2018. С. 13-14.

3. Твердые бытовые отходы. Справочник / Под ред. Систер В.Г., Мирный А.Н. и др. – М.; Изд. АКХ, 2001. – 318 с.

4. Хисамеева Л.Р., Алимов Р.Ш. К вопросу очистки свалочного филтратата полигона твердых бытовых отходов // «Научно-технические проблемы совершенствования транспорта энергоносителей и развития систем газоснабжения, водоснабжения и водоотведения»: Материалы II международной научно-практической конференции. – Саратов: Изд. СГТУ, 2018. – С. 30-36.

# ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Н.С. Царев**, доц., канд. техн. наук; **В.И. Аксенов**, проф., канд. техн. наук, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

## Введение

Девяностые годы прошлого столетия ознаменовались началом повсеместного перехода промышленных предприятий развитых стран мира к замкнутым системам водного хозяйства, исключая сброс загрязняющих веществ в окружающую среду (переход к Zero liquid discharge systems). Официальный старт этому был дан в 1993 г. в Австралии на всемирном конгрессе энергетиков [1].

Необходимость перехода к замкнутым системам водного хозяйства обусловлена двумя главными факторами: 1) значительной экономией свежей воды, используемой в производстве; 2) уменьшением количества всевозможных загрязнителей, поступающих в окружающую среду с различными сбрасываемыми стоками (очищенными, недостаточно очищенными и вовсе неочищенными). В развитых странах сдерживающими факторами увеличения водопотребления всегда выступают большая стоимость свежей (природной) воды, огромные штрафные санкции за сброс «грязной» воды и мгновенная общественная антиреклама. Поэтому за рубежом строятся замкнутые системы водного хозяйства (ЗСВХ), после которых обработанную сконденционированную воду стараются максимально использовать повторно.

Переход к ЗСВХ — это внедрение на промышленных предприятиях:

- технологического оборудования, для функционирования которого не требуется вода (например, установок сухой очистки газов взамен «мокрых» газоочистных установок) либо вода необходима в меньшем количестве. Кроме уменьшения водопотребления такое оборудование позволяет исключить образование сточных вод или значительно сократить их расход;

- локальных оборотных циклов водоснабжения в отдельных производственных подразделениях и цехах (наш опыт показывает, что инвестиции в такие циклы окупаются в течение нескольких месяцев);

- локальных очистных сооружений для отдельных категорий сточных вод, содержащих соединения тяжелых металлов, органические загрязнения и др., и общезаводских очистных сооружений на выпуске с предприятия для сточных вод незагрязненных специфическими примесями (например, поверхностных (дождевых, талых) сточных вод);

- очистных сооружений поверхностных сточных вод и (или) очистных сооружений для доочистки бытовых сточных вод, позволяющих использовать очищенную воду после этих сооружений взамен свежей (природной) воды;

- установок по ликвидации накопленного экологического ущерба, позволяющих получить из складируемых в течение долгого времени осадков сточных вод полезные промпродукты;

- установок по переработке образующихся осадков сточных вод, исключаящих необходимость складировать образующиеся осадки сточных вод в накопителях отходов.

При этом, на отечественных промышленных предприятиях внедрению ЗСВХ должны предшествовать достаточно затратные предварительные работы по капитальному ремонту или замене основных производственных средств систем водного хозяйства (насосных агрегатов, водоохладительных сооружений и др.), по устранению утечек воды, по ликвидации незаконных сбросов загрязняющих веществ в водные объекты и на рельеф местности (например, систематический перелив сточных вод из отстойников). Кроме того, необходимо также проведение организационно-технических мероприятий по приведению природоохранной документации, имеющейся на предприятиях, в соответствии с актуальными требованиями Федерального закона «Об охране окружающей среды» [2] и других связанных с ним законодательных актов, касающихся внедрения наилучших доступных технологий (НДТ).

### **Особенности замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий**

Сделать систему водного хозяйства промышленного предприятия замкнутой позволяют «хвостовые» установки:

- установки для переработки концентрированных сточных вод (например, отработанных травильных или гальванических растворов)

- установки для обработки осадков производственных сточных вод, в результате функционирования которых получают не отходы, направляемые на полигон, а утилизируемые промпродукты;

- установки для сжигания не утилизируемых маслосодержащих сточных вод и осадков с системами очистки отходящих газов, исключаящих загрязнение окружающей среды продуктами горения;

- установки для доочистки и деминерализации производственных сточных вод (например, регенерационных вод химических водоочисток или оборотных циклов водоснабжения);

- установки для очистки поверхностных (дождевых, талых) сточных вод.

Основными «хвостовыми» установками являются установки для переработки концентрированных технологических растворов (например, отработанных травильных растворов) и осадков сточных вод, поскольку в отработанных технологических растворах сосредоточено более 80 % растворимых соединений, а в осадках сточных вод (это те же видоизмененные концентраты) — примерно столько же. Переработка только этих видов отходов в значительной мере решает проблему загрязнения окружающей среды.

«Хвостовые» установки усложняют систему водного хозяйства предприятия, которая превращается в химико-технологический комплекс по производству воды для системы производственного водоснабжения и переработке образующихся концентратов установок деминерализации, осадков сточных вод и других «хвостов».

Для внедрения на промышленных предприятиях «хвостовых» установок требуются значительные инвестиционные, а потом и операционные затраты; высококачественное и дорогостоящее основное технологическое и насосное оборудование, контрольно-измерительные приборы, оборудование системы автоматизации; высококвалифицированный инженерный и эксплуатационный персонал.

### **Этапы развития замкнутых систем водного хозяйства в России**

Первые ЗСВХ в нашей стране были построены для очистки жидких отходов с низким уровнем радиоактивности, за рубежом — станция доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод на оз. Тахо (США) [3] и комплекс по переработке засоленных шахтных вод в Верхней Силезии (Польша) [4]. Они послужили прообразом современных ЗСВХ.

Весь опыт строительства и эксплуатации ЗСВХ промышленных предприятий нашей страны условно можно разбить на три этапа: с 1973 по 1990 г., с 1991 по 2000 г., с 2001 г. по наше время.

*Первый этап*, особенно 1980-е годы, характеризовался бурным сооружением ЗСВХ. Созданные системы хорошо описаны в литературе того времени [5–7]. Здесь мы имеем право напомнить, что в 1973 г. впервые в мировой практике на Верх-Исетском металлургическом заводе (г. Свердловск) была запущена и успешно функционирует до сих пор разработанная Аксеновым В. И. с коллегами ЗСВХ комплекса цеха холодного проката трансформаторной стали [8, 9].

Примерная стоимость указанной системы в то время составила 29 млн руб. Практически на полную мощность весь комплекс очистных сооружений удалось запустить за полгода благодаря таким талантливым инженерам-водникам, как Ю. В. Бобылев и его коллеги. Неоценимую помощь в то время оказывал директор завода В. С. Ожиганов. Значение полученного визовского опыта использования ЗСВХ в отечественной и зарубежной практике переоценить невозможно.

Во время *второго этапа* после распада СССР в 1991 г. работы по созданию ЗСВХ практически прекратились.

К началу *третьего этапа* основные производственные средства водного хозяйства промышленных предприятий России, включая почти все созданные во времена Советского союза ЗСВХ промышленных предприятий, физически и морально устарели. Упадок в водном хозяйстве промышленности привел к тому, что в настоящее время в России по официальным данным только 11 % сбрасываемых в водные объекты сточных вод соответствуют всем нормативным требованиям [10]. По-нашему мнению действительное положение дел еще хуже.

## Пример технологии очистки сточных вод в составе замкнутой системы водного хозяйства

В качестве примера остановимся на установке для переработки химически загрязненных «кислых» железосодержащих сточных вод, образующихся при травлении углеродистой стали (рис. 1).

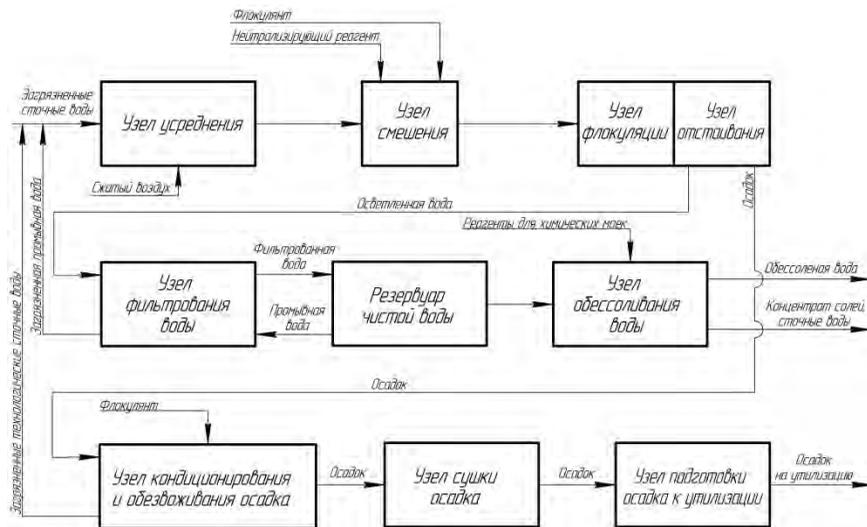


Рис. 1. Схема установки для обработки химически загрязненных сточных вод

Технология очистки химически загрязненных сточных вод на начальном этапе обработки предусматривает их усреднение с последующей равномерной подачей в смеситель для реагентной обработки. В зависимости от состава исходного стока и решаемых технологических задач для обработки стока могут быть применены какие-либо щелочные реагенты (известь, щелочь, сода), железосодержащий коагулянт, флокулянт и другие реагенты.

Обработанная реагентами вода поступает в узлы флокуляции и отстаивания, где происходит удаление из стоков основного количества токсичных загрязняющих веществ. При этом оборудование для флокуляции и отстаивания сточных вод может быть самым разнообразным — отдельно стоящие и совмещенные с отстойниками камеры флокуляции, отстойники различных конструкций, осветлители со взвешенным слоем осадка и др.

Для доочистки осветленной воды устраиваются песчаные осветлительные фильтры с различной конструкцией или установки ультрафильтрации.

Как правило, качество воды после физико-химической очистки по содержанию солевых компонентов не позволяет использовать воду повторно, поэтому требуется организация узла обессоливания воды.

Для получения обессоленной воды фильтрованную воду направляют на установку деминерализации (установку обратного осмоса или выпарную установку). Далее деминерализованную воду подают для повторного использования (получения пара в котельной, использования на травильных участках или других целей). Получающийся концентрат солей должен утилизироваться, что в настоящее время является серьезной проблемой для предприятий, намеревающихся внедрять ЗСВХ в нашей стране.

Осадок из отстойников направляют в узел кондиционирования и механического обезвоживания осадка. После этого обезвоженный осадок сушат в термических сушилках, при необходимости выполняют корректировку термического состава в узле подготовки осадка к утилизации, а затем направляют на утилизацию.

### **Локальные замкнутые системы водного хозяйства**

Мощность первых ЗСВХ промышленных предприятий была до нескольких сотен метров кубических в час, поскольку в то время удавалось сконструировать относительно экономичные многокорпусные выпарные аппараты только с высокой производительностью.

Массовое внедрение в последние 10–15 лет в различных отраслях промышленности аппаратов пленочного испарения, механических компрессоров пара, тепловых насосов, мембранных установок и другого оборудования послужило толчком для разработки энергоэффективных термодистилляционных и мембранных установок для обработки стоков с производительностью от 10 до 4 000 л/ч. Такие полностью автоматизированные установки с малой производительностью разрабатываются и изготавливаются компаниями в Германии (H2O GmbH) [11], Израиле (IDE Technologies) [12] и в других странах. Благодаря этому, стало возможным создание вместо общезаводских ЗСВХ локальных систем для отдельного цеха или участка предприятия.

Локальные ЗСВХ имеют ряд существенных преимуществ:

- при внедрении локальных ЗСВХ с установкой деминерализации на каком-либо отдельном производственном участке при очистке образующихся производственных сточных вод будет образовываться концентрат, который можно утилизировать или вернуть в технологический процесс. Например, концентрат установки обратного осмоса, с помощью которой обрабатываются промывные воды процесса хромирования, может быть возвращен в ванну нанесения гальванопокрытия;
- получающаяся на установке обессоливания в составе локальной ЗСВХ деминерализованная вода может быть сразу возвращена в технологический процесс. При этом замена технической воды деминерализованной позволяет значительно повысить качество продукции (например, гальванических и лакокрасочных покрытий);

- поэтапное исключение из общезаводского стока химически загрязненной и (или) минерализованной составляющей с переработкой этих стоков на локальных очистных сооружениях повышает эффективность и надежность работы общезаводских очистных сооружений сточных вод и снижает техногенную нагрузку на окружающую среду;
- создание локальных ЗСВХ требует меньших инвестиционных и последующих операционных затрат, а также позволяет сократить продолжительность реализации инвестиционного проекта ЗСВХ.

### Заключение

В заключении отметим, что в настоящее время лидерство в создании ЗСВХ российскими промышленными предприятиями утеряно. Если в России таких систем за последние пять лет практически не было создано, то в странах Европейского союза и в США таких систем введено в эксплуатацию тысячи. Причина отставания объясняется отсутствием экономических стимулов у промышленных предприятий. Будем надеяться, что ситуация хоть как-то изменится после вступления в силу всех новых положений Федерального закона «Об охране окружающей среды» и других законодательных актов, регламентирующих внедрение наилучших доступных технологий с поэтапным увеличением платы за природопользование и штрафных санкций за нарушения природоохранного законодательства.

### Библиографический список

1. Водное хозяйство промышленных предприятий. Книга 4 : справ. изд. / В. И. Аксенов [и др.] ; под ред. В. И. Аксенова. — М. : Теплотехник, 2007. 240 с.
2. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (с изм. на 29.07.2018 г.). Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.03.2019)
3. Culp R. L., Roderick R. E. The Lake Tahoe Water Reclamation Plant // Journal Water Pollution Control Federation. 1966. Vol. 38, № 2. P. 147–155.
4. Janson. E., Gzyl. G., Banks. D. The Occurrence and Quality of Mine Water in the Upper Silesian Coal Basin, Poland // Mine Water and the Environment. 2009. Vol. 28, № 3. P. 232–244.
5. Аксенов В. И. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Металлургия, 1991. 124 с.
6. Алферов Л. А., Нечаев А. П. Замкнутые системы промышленных предприятий, комплексов и районов — М. : Стройиздат, 1984. 272 с.
7. Беличенко Ю. П. Замкнутые системы водообеспечения химических производств. — М. : Химия, 1990. 208 с.
8. Создание замкнутых систем водоснабжения металлургических предприятия / В. И. Аксенов [и др.] // Сталь. 2005. № 9, С. 83–85.

9. Аксенов В. И., Галкин Ю. А. Безотходная замкнутая система производственного водоснабжения ООО «ВИЗ-Сталь». 2014. № 5. С. 4–9.

10. О стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года [Электронный ресурс] : указ Президента РФ от 19.04.2017 г. № 176. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.03.2019)

11. Application Center for Zero Liquid Discharge Production [Electronic resource] // H2O GmbH : [website]. URL: <https://www.h2o-de.com/en/innovations/application-center-for-zero-liquid-discharge-production> (date of access: 10.03.2019).

12. Industrial Water Treatment [Electronic resource] // IDE Technologies [website]. URL: (date of access: 10.03.2019).

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ОТ ИМПУЛЬСНО-ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КАК ОСНОВА ДЕКОЛЬМАТАЦИИ ОКОЛОСКВАЖИННЫХ ЗОН

А.А. Цымбалов, к.т.н., СГТУ, ООО ГК «Архимед», г. Саратов

В работе [13] автором, на основе анализа выборки акустических воздействий, установлена закономерность стадий деформирования водонасыщенной околоскважинной среды и рассмотрен процесс нарушения сплошности среды из-за сейсмичности с выделением накопленной энергии, а геофизическая среда как линейно-упругий континуум [2].

Выдвинутая гипотеза в [13] не противоречит работам, выполненным российскими и зарубежными исследователями. Факты гидрологических откликов подземных коллекторов скважин (изменение уровня воды, скорость фильтрации, флюидная проницаемость среды) отмечались за несколько километров от точки приложения сейсмодетекторных импульсных воздействий в наблюдениях следующих работ (Coble, 1965; Кисин, 1971; Мячкин, 1978; Bower and Heaton, 1978; Соболев, 1980; Барабанов и др., 1987; Matsumoto, 1992; Roeloffs, 1998; King et al., 1999; Копылова, 2000; Brodsky et al., 2003; Кочарян и др., 2004; Elkhoury et al., 2006; Ишихара, 2006; Копылова, 2010; Tsymbalov, 2016 и др.). Данные исследования показали, что на удаленных участках осуществлялись преобразования околоскважинной геологической среды низкоамплитудной вибрацией. Подтверждением этого вывода стали работы [3, 5, 12], получившие аналогичный эффект в геологической среде от искусственного источника. О волновых воздействиях, активизирующих флюидосодержащие пласты, при техногенной вибрации или взрыве отмечалось в работах отечественных и зарубежных исследователей (Мирзаджанзаде и др. 1971; Симкин, Бернштейн 1972; Сургучев и др., 1975; Дыбленко и др., 2000; Горбачев и др. 2002; Westermarck, Brett 2003; Курленя, Сердюков 2004; Veresnev, 2005; Горбунова, Свинцов, 2010; Цымбалов, 2011; Рыбалкин и др. 2015 и др.).

Механизм изменения свойств геологической среды вокруг скважин от инициирования динамических воздействий описывается несколькими моделями. В одной из них гидрологический эффект (ГЭ) основан на дегазации флюида от волнового воздействия (вибрация). Не возможность ГЭ по причине незначительного количества газовой фазы указано в работе [2]. Другая модель связывает ГЭ с возникновением дилатансии геологической среды в результате сейсмической динамики. Третья модель объясняет ГЭ увеличение проницаемости каналов среды декольматацией сейсмическим импульсом за счет избыточного давления с образованием трещин (новых и образующихся). Четвертая модель базируется на ГЭ кумулятивного накопления межблоковых деформаций.

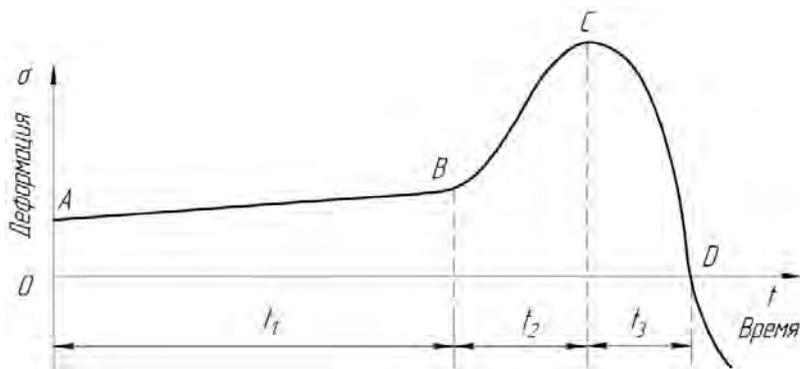
Современное состояние вопроса по влиянию упругих волн и их физического воздействия на геофизическую среду требуют изучения возникающих ГЭ и их применения для увеличения добычи флюида из недр или регенерации системы «пласт-скважина» при кольматационных процессах.

К настоящему времени накоплен достаточный материал исследований, подтверждающих корреляцию между режимом сейсмических импульсов и реакцией флюидной среды: уровнем воды мирового океана, закрытых континентальных водных бассейнов, динамикой уровня подземного флюида (вода, нефть, газ) [1-3, 5, 6, 12, 13].

Анализ изучения последствий сейсотектонических воздействий дает основания утверждать, что ГЭ разрушения геофизической среды от деформации при прохождении сейсмических волн зависит от состава (песчаные, песчано-глинистые, лессовые) и гидрогеологических условий приповерхностных горизонтов: глубины залегания и мощности водоносных пластов, влажности и структуры верхних слоев.

Физическую сущность ГЭ от волнового поля сейсотектонических деформаций, приводящих к разжижению водонасыщенных приповерхностных грунтов, наряду с другими теориями, адекватно описывает модель лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ) разработанной в ИФЗ РАН. Она соответствует явлению дилатансии [13].

По мнению автора, ЛНТ объясняет возникновение напряженно-деформационного состояния геофизической среды в процессе сейсотектонических воздействий и наиболее полно, чем другие модели, соответствует изменениям закольматированной твердой структуры водонасыщенной грунтовой среды вокруг скважин (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость деформации горной породы от времени разрушения при сейсмическом процессе для модели ЛНТ (по Мячкину, 1978 с изм. Цымбалова, 2016): АВ, ВС, CD соответственно участки 1-ой, 2-ой, 3-ей стадии сейсмической нагрузки;  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  - соответственно период времени разрушения породы на участке 1-ой, 2-ой, 3-й стадии сейсмической нагрузки

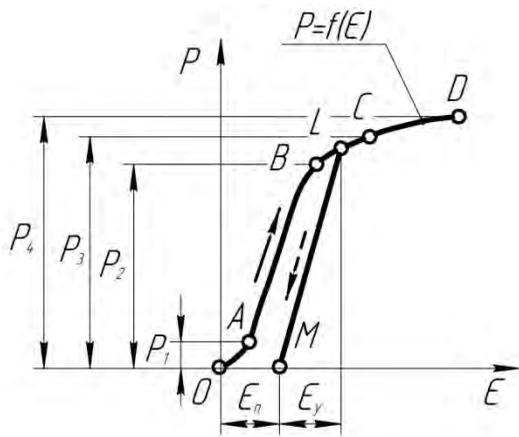
Зависимость  $\sigma = f(t)$  на участке АВ характеризует первую стадию изменения напряженно-деформационного состояния геофизической среды от сейсмических импульсов. Возрастающие сейсmodинамические напряжения приводят к росту количества трещин, а их взаимодействие между собой создает растрескивание горной породы. Развитие этого физического про-

цесса на АВ отражено ростом деформации. В этой части породы развиваются не упругие деформации.

Вторая стадия (участок ВС) сейсмотектонических воздействий формирует сеть трещин и микротрещин. Перемычки между трещинами разрушаются и трещины сливаются воедино, превращаясь в трещины крупного размера, образуя крупные разрывы земной коры. Вторая стадия деформации породы носит упругий характер.

На третьей (участок CD) стадии неустойчивой деформации происходит объединение трещин в небольшое число более крупных разрывов, которые сливаются в основной лавинный разрыв, приводящий к разрушению.

Исследование закономерностей изменения напряжения деформации от времени воздействия по модели ЛНТ соответствует характеру разрушения водонасыщенных грунтов от акустических волн по теории прочности, представленной на рис. 2 зависимостью деформации грунта от усилия воздействия по характеристическим точкам (теоретический анализ автором изложен в [9, 10]).



**Рис. 2.** Зависимости усилия воздействия от деформации грунта с характеристическими точками:

$P_1, \dots, P_4$  – величина прикладываемой нагрузки,  $\epsilon_n$  – деформация пластическая,  $\epsilon_y$  – деформация упругая, стрелка (линия сплошная) – режим «нагрузки», стрелка (пунктир) – режим «разгрузки»

Представленный график зависимости (рис. 2) показывает влияние энергии импульсных воздействий на процесс разрушения твердого кольматанта в околоскважинной зоне.

Энергетической характеристикой процесса является совокупная силовая нагрузка внешних и внутренних воздействий и напряжений. Изменение данной нагрузки в режиме циклов приводит к нарушению сложившегося начального равновесия в закольматированной околоскважинной зоне водо-

насыщенного грунта и приводит к формированию новых условий напряжений в грунтовой среде на макро - и микроуровне. Закольматированная структура грунта постоянно приспосабливается к новым условиям циклов нагрузок внешней силы, но с накоплением пластической деформации  $\epsilon_n$  (рис. 2). Целостность твердого кольматанта в околоскважинной зоне от циклов воздействий сохраняется до того момента пока не пойдет перестройка структуры грунта за счет накопленной пластической деформации  $\epsilon_n$ , что и служит началом разрушения.

Особую роль в процессе разрушения геологической среды при сейсмотектонических воздействиях и деструкции водонасыщенной твердой закольматированной околоскважинной среды от акустических импульсов выполняют осцилляции колебаний жидкой фазы флюида (вода, газ). Активность флюида способствует возникновению ГЭ за счет дилатансии среды.

Возникновение дилатансии геологической среды и водонасыщенной твердой закольматированной околоскважинной среды предусматривает в процессе развития деформации перемещение воды (диффузия) по трещинам и микротрещинам твердой структуры, что приводит к изменению ее физико-механических свойств (прочность, вязкость и др.), отсутствующих ранее.

Феноменология динамической неустойчивости геологической среды и околоскважинной среды имеют один механизм энергетических превращений. В основе динамической неустойчивости твердых тел (грунты, горные породы) заключен стохастический механизм, позволяющий в силу гистерезисных свойств энергии, осуществляемых в виде циклов импульсных воздействий, накапливать в твердом теле рассеянную энергию. Динамическая нагрузка увеличивает внутреннюю энергию среды, что меняет соотношение между внешней силой и устойчивостью структурных связей ее элементов. В основе динамической неустойчивости геологической среды и околоскважинной среды находится дилатанто-тиксотропных эффекты.

Так как рассматриваемые нами среды (геологическая, грунтовая околоскважинная) являются дисперсными, то при динамическом воздействии им свойственны некоторое уплотнение, слабовыраженные тиксотропные эффекты, легкая разжижаемость. Исследованиями на гравийно-песчаных отложениях установлено, что пылевато-песчаный заполнитель при волновом импульсе разжижается и «плывет», а гравийно-галечные структуры «тонут». Циклическое разжижение таких слоев ведет к разупрочнению среды.

Дилатансия в горных породах и скальных грунтах предшествует их разрушению и начинается при напряжении  $\sigma = 0,4 \sigma_{СЖ}$ , где  $\sigma_{СЖ}$  – напряжени прочности материала на сжатие. Согласно исследований образцов твердого кольматанта полученных автором на альбских отложениях Приволжско-Хоперского артезианского бассейна (Саратовская область, 2012 г.) и их численных значений (физико-механические свойства твердого кольматанта: предел прочности на разрыв –  $\sigma_p = 3,51$  МПа, предел прочности на

сжатие –  $\sigma_{СЖ} = 11,40$  МПа [8,11]) можно рассчитать напряжение дилатансии в водонасыщенной твердой закольматированной околоскважинной среде  $\sigma = 0,4 \sigma_{СЖ}$  или  $\sigma = 4,6$  МПа. Режим нарушения связей структуры твердой грунтовой закольматированной околоскважинной среды наступает при меньших значениях. Диапазон изменения напряжения дилатансии твердого кольматанта для практических целей можно рекомендовать в виде  $\sigma = (1,7-4,6)$  МПа или  $\sigma_{ср} = 3$  МПа.

## Выводы

1. Механизм получения гидрологических эффектов от инициирования динамических воздействий связанных с изменением свойств геологической среды вокруг скважин описывается рядом моделей.

2. Динамический характер нагрузок от волнового поля сейсмических волн может быть положен в основу волнового воздействия закольматированных грунтов, например, акустического метода МРС-СИЦА.

3. Разкольматация околоскважинной зоны от акустических волн водонасыщенных грунтов по теории прочностных разрушений грунтов согласуется с теорией лавинно-неустойчивого трещинообразования.

4. Получение гидрологических эффектов в геологической среде и водонасыщенной твердой закольматированной околоскважинной среде обеспечиваются за счет дилатанто-гиксотропных свойств дисперсных сред.

5. Для практических целей рекомендуется численное значение напряжения дилатансии твердого кольматанта  $\sigma_{ср} = 3$  МПа.

*Работа выполнена в рамках Программы НИР ООО ГК «Архимед» Arh. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а» - «е»; разд.1, разд.2.» [4].*

## Библиографический список

1. Дыбленко В.П. Повышение продуктивности скважин и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия / В.П. Дыбленко, Р.Н. Камалов, Р.Я. Шарифуллин [и др.]. – М.: Недра, 2000. – 382 с.

2. Кочарян Г.Г. Гидрогеологический отклик подземных коллекторов на сейсмические колебания / Г.Г. Кочарян, Е.Л. Виноградов, Э.М. Горбунова [и др.] // Физика Земли. №12.2011.С.50-62.

3. Курленя М.В. Интенсификация добычи нефти при низкочастотном вибр Сейсмическом воздействии / М.В. Курленя, С.В. Сердюк // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. №5. С.29-34.

3. Beresnev I. The mechanism of recovery of residual oil by elastic waves and vibrations / I. Beresnev, D. Vigil, W. Li // SEG Annual Meeting, 2005.P. 1386–1390.

4. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед [Электронный ресурс] / А.А.Цымбалов.М.2014-2019.Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (дата обращения 07.03.2019).

5. Ружич В.В. Изучение влияния водонасыщения и вибраций на режим смещений в зонах разломов / В.В. Ружич, С.Г. Псахье, О.П. Смекалин [и др.] / Физическая мезомеханика. 2004. №7. Спецвыпуск. Ч.2. С. 257-260.

6. Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима и уровня водной поверхности Земли // Физика Земли. 2007. С.3-17.

7. Цымбалов А.А. Влияние энергетических процессов на декольматацию околоскважинных зон // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: сб. науч. тр. Саратов. гос. техн. ун-та по материалам 6-ой Международной научно-практической конференции в 2-х т., т.2. №2(10). Саратов: СГТУ, 2018. С. 24-27.

8. Цымбалов А.А. Деформируемость образцов закольматированных зон низкодебитных скважин // Булатовские чтения: сб. ст. II межд. науч.-практ. конф., посвящ. памяти А.И.Булатова (г.Краснодар, 31 марта 2018 г.) в 7 т. Разработка нефтяных и газовых месторождений. Т. 2 в 2 ч. Ч. 2. Краснодар: Издательский Дом – Юг. С.202-205.

9. Цымбалов А.А. Объяснение физических явлений и процессов декольматации околоскважинной зоны с применением математического моделирования // Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сб. науч. тр. Магнитогорск. гос. техн. ун-та.Т1.№7.Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2017. С. 199-204.

10. Цымбалов А.А. Реанимация водозаборных скважин из состояния отложенного риска кольматации к допустимому уровню риска // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: сб. науч. тр. РАН, ИГЭ РАН, ВНИИ ГОЧС (ФЦ) по материалам 10-ой межд. науч.-практ. конф. «Геориск-2018» в 2-х т., т.2.М.: РУДН, 2018. С.157-162.

11. Цымбалов А.А. Результаты исследований структуры кольматационных отложений в водозаборных скважинах / Геологические науки - 2014: сб. науч. тр. Саратов. гос. ун-та и Нижне-волжск. НИИ геол. и геофиз. по материалам Всероссийской научно-практической конференции (г. Саратов, 10-12 апреля 2014 г.). Саратов: Изд-во СО Евро-азиат. геофизич. общ-ва, 2014. С.79-81.

12. Beresnev I. The mechanism of recovery of residual oil by elastic waves and vibrations / I. Beresnev, D. Vigil, W. Li // SEG Annual Meeting, 2005. P. 1386-1390.

13. Tsybalov A.A. Role of seismohydrogeologic effects in solution of problems on borehole area dekolmatation: Predestruction and destruction. Part I // Seismological Conference (TASECO-2016). Tashkent: Muxammad poligraf, 2016. P.599-606.

## МЕТОДИКА ФОРМАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕКОЛЬМАТАЦИИ ОКОЛОСКВАЖИННЫХ СРЕД ВОЛНОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

**А.А. Цымбалов**, к.т.н., СГТУ, ООО ГК «Архимед», г. Саратов

Научно-исследовательская работа ООО ГК «Архимед» Arh. № ТЭР-R 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств» [1] позволила сформулировать методические приемы формализованного подхода к составлению математической модели для технических наук [3].

Изучение процесса декольматации скважин связано с построением математической модели. Математическая модель позволит на основе оригинальной модели подобрать известные аналогии физических процесс-моделей, установить соотношения подобия параметров, создать алгоритм процесса. Это послужит началом создания программного обеспечения процесса декольматации скважин. Основным назначением модели является получение новой информации об исследуемом явлении кольматации, процессе декольматации и оборудовании в виде волнового активизатора ВИ-ГДОС-СИЦА.

Для описания математической модели применим формализованный подход, где реальную систему (геофизическую среду) представим формально (абстрактно) с охватом основных характерных закономерностей. Второстепенные факторы считаем несущественными и не принимаем во внимание.

При формализации реального процесса производим предварительный сбор информации, анализ ее, изучение отдельных элементов структуры составляющих его явлений. Результатом этой работы является конкретное описание исследуемого процесса, попытка изложить его закономерности и постановку прикладной задачи.

Изучение явления декольматации по теме НИР «Архимед» Arh. № ТЭР-R 642012-0001.000 основывалось на волновом характере разрушений геофизической среды и изменении состояний околоскважинных зон водозаборных скважин на локальной территории под влиянием волновых импульсов от сейсмических воздействий. Накопленная и проанализированная информация сейсмических нагрузок за определенный период составила выборку входящей информации и послужила первой попыткой описать явление декольматации, изложить закономерности исследуемого процесса декольматации при воздействии волновых импульсов и сделать постановку задачи исследования [4].

Постановка прикладной задачи в аналогичных процессах других методов декольматации (электрогидроударный, акустический, пневмовзрыв и др.) на данном этапе может не иметь строгой математической формулировки, но должна иметь:

- а) четкое изложение научной идеи исследования;

- б) перечень зависимостей, подлежащих оценке при моделировании;
- в) количество факторов, учитываемых при построении математической модели.

Формализованная схема по процессам декольматации околоскважинных зон волновыми полями для сложных условий, когда повтор оригинал-процесса затруднителен или связан с повреждениями окружающей среды, представлен на рис. 1.

Исследование нашей выборки сейсмических воздействий стало основой применения единого подхода волновых колебаний различной физической природы [2].



**Рис. 1.** Этапы формализации математической модели по процессам декольматации околоскважинных зон волновыми полями

Так, например, колебания маятника и колебания электрического контура, распространение упругих волн и распространение электромагнитных волн имеют общую закономерность в силу материального единства явлений. Это позволяет обобщить процесс познания и опираться на уже созданное единое учение о колебаниях и волнах с общим математическим аппаратом, лежащим в основе этого учения.

Так как основа оригинал-процесса исходила из осуществленных сейсмических воздействий, то процесс моделирования и метод познания декольматации околоскважинных зон волновыми полями отнесен к сложным системам. Связано это с тем, что волновые воздействия в сейсмогеодинамике относятся к мега-катастрофам и приводят к повреждению окружающей среды.

Отметим, что формализованная схема является промежуточным звеном между конкретным описанием и математической моделью.

Описание формализованной схемы имеет содержательное словесное описание. По отдельным пунктам процесса дается строгое и четкое описание:

а) характеристики процесса (например, описание геофизической среды как линейно-упругого континуума);

б) системы параметров, характеризующих процесс (например, интенсивность волнового поля, время воздействия, частота непрерывного излучения упругой волны и др.);

в) зависимости между характеристиками и параметрами процесса (например, затраченная энергия излучения от разуплотнения порового пространства или изменения давления флюида; деформация кольматанта от интенсивности волнового поля и др.).

На этом этапе указывается математическая формулировка задач исследования. Предоставляются систематизированные и уточняющие все дополнительные данные параметров процесса в виде таблиц, графиков.

Таким образом, формализованная схема подводит конечный итог в изучении экспериментального обследования процесса декольматации околоскважинных зон волновыми полями.

Переход формализованной схемы в математическую модель выполняется математическими методами. Все соотношения записываются в аналитической форме. Это позволяет использовать математическую модель в удобной форме.

## Выводы

1. Формализация математической модели по процессам декольматации околоскважинных зон волновыми полями имеет этапность.

2. Методические приемы формализации математической модели по процессам декольматации околоскважинных зон волновыми полями могут иметь применимость в смежных отраслях нефтегазового комплекса, горно-рудной промышленности, сейсморазведки и др.

*Работа выполнена в рамках Программы НИР «Архимед» Arh. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а» - «е»; разд.1, разд.2.» [1].*

## Библиографический список

1. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М. 2014-2019. Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (дата обращения 07.03.2019).

2. Цымбалов А.А. Методические подходы в решении прогностических задач по декольматации околоскважинных зон на основе математического моделирования// Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сб. науч. тр. Магнитогорск. гос. техн. ун-та. Т1. №7. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2017. С.204-210.

3. Цымбалов А.А. Методические подходы к консолидации теории декольматации околоскважинных сред в техническое знание // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: сб. науч. тр. Сарат. гос. техн. ун-та в 2-х т., т.2. № 9. Саратов: СГТУ, 2018.С.9-14.

4. Tsymbalov A.A. Role of seismohydrogeologic effects in solution of problems on borehole area dekolmatation: Predestruction and destruction. Part I // Seismological Conference (TASECO-2016).Tashkent: Muxammad poligraf, 2016. P.599-606.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ СТОКОВ

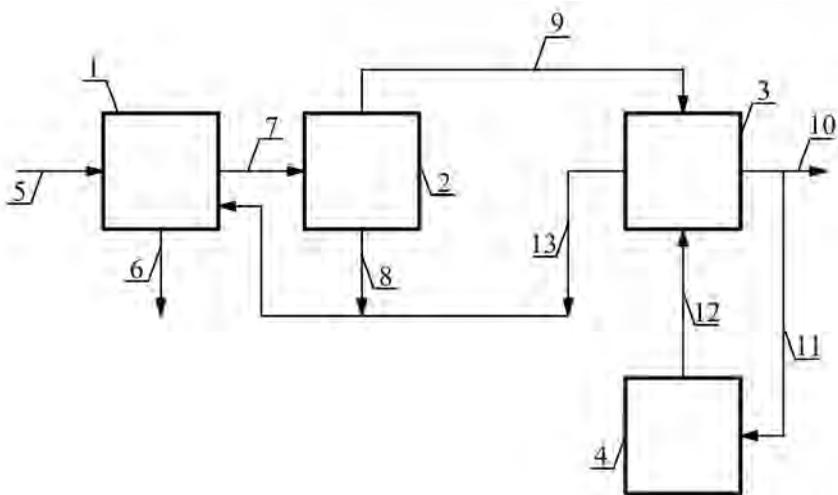
**А.В. Бусарев**, доц., к.т.н.; **И.Г. Шешегова**, старший преподаватель; **К.Г. Шарипова**, студент, КГАСУ, г. Казань

При добыче угля, металлических руд и других полезных ископаемых на предприятиях горной промышленности образуются производственные стоки, среди которых особо выделяются шахтные сточные воды.

Шахтные стоки достаточно сильно загрязнены, и поэтому они не могут без очистки сбрасываться в поверхностные источники [1]. Состав загрязнений, а также их концентрация в шахтных стоках зависят от геологических и гидрологических условий подземных выработок, а также типа добываемых в шахтах минеральных ресурсов. Расход шахтных вод стоков зависит от обводненности геологических пластов [2].

Для очистки шахтных стоков применяются механические, физико-химические, химические и биологические методы очистки [3].

Для очистки шахтных стоков от взвешенных веществ в Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) разработана установка [2], блок-схема которой представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Блок-схема установки очистки шахтных стоков

В состав установки очистки шахтных вод от взвешенных веществ входят тонкослойный горизонтальный отстойник 1, батарея напорных гидроциклонов 2, скорые напорные фильтры с зернистой загрузкой 3, емкость для промывной воды 4, соединительные трубопроводы и запорно-регулирующая арматура.

Вода на очистку в установку типа «полощный отстойник-напорный гидроциклон-скорый фильтр» (ПОГФ) подается по трубопроводу 5. Осадок, образующийся в отстойнике 1, периодически отводится по трубопроводу 6. Шахтные воды из отстойника 1 насосом подаются в батарею напорных гидроциклонов по трубопроводу 7. Под действием сил центробежного поля, формирующегося в напорных гидроциклонах, взвесь, как более тяжелая фаза, отбрасывается к стенкам этих аппаратов и отводится через их нижние сливные отверстия. Данный поток жидкости называют нижним сливом гидроциклонов. Очищенная вода восходящим аксиальным потоком выносится через верхние сливные отверстия напорных гидроциклонов. Этот поток жидкости называется верхним сливом гидроциклонов [3, 4].

Нижний слив гидроциклонов отводится под избыточным давлением от батареи гидроциклонов 2 по трубопроводу 8 в тонкослойный отстойник 1. Верхний слив гидроциклонов под избыточным давлением подается по трубопроводу 9 в скорый напорный фильтр 3. Очищенная вода от установки ПОГФ под остаточным давлением отводится по трубопроводу 10. Часть ее по трубопроводу 11 подается в емкость 4, откуда она по трубопроводу 12 подается на промывку фильтра 3. Загрязненная промывная вода под остаточным давлением отводится от фильтра 3 по трубопроводу в тонкослойный отстойник 1. Схема загрузки скорого напорного фильтра, входящего в состав установки ПОГФ представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема загрузки скорого напорного фильтра

Концентрация взвешенных веществ в шахтных стоках снижается в тонкослойном отстойнике с 500-600 мг/л до 50-60 мг/л [2].

Эффект очистки сточных вод от взвеси в гидроциклонно-фильтровальной установке составляет 90-94% [3, 5], таким образом концентрация в очищенной воде не должна превышать 5 мг/л.

Для совершенствования установки ПОГФ в КГАСУ проводились исследования очистки шахтных стоков от взвеси по технологической схеме «напорный гидроциклон-скорый напорный фильтр». Эти исследования проводились на экспериментальной установке, описанной в работе [3].

Для исследования использовались напорные гидроциклоны геометрические характеристики, которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Геометрические характеристики напорных гидроциклонов**

Обозначение гидроциклона	Диаметр, мм				Угол конусности, град	Высота цилиндрической части, мм	Общая высота гидроциклона, мм
	гидроциклона	патрубков					
		входного	верхнего слива	нижнего слива			
ГЦ-80-1	80	20	20	10	5	80	805
ГЦ-75-1	75	15	20	10	5	75	790
ГЦ-100-1	100	20	20	10	5	100	1235

Загрузка модели скорого напорного фильтра, входящего в состав экспериментальной установки, соответствует схеме, которая представлена на рис. 2.

Давление на входе в напорные гидроциклоны принято равным 0,6 МПа, а противодействие на сливах в этих аппаратах – 0,2 МПа [3]. Температура сточной воды определялась спиртовым термометром. Методология проведения подобных экспериментальных исследований подробно изложена в работе [3].

Результаты экспериментальных исследований сточных вод от взвешенных веществ по схеме «напорный гидроциклон-скорый напорный фильтр» представлены в табл. 2. Анализ этих результатов позволяет сделать следующие выводы:

- а) концентрация взвешенных веществ в стоках, поступающих на очистку, составляет 51-61 мг/л;
- б) концентрация взвеси в очищенной воде не превышает 3-7 мг/л;
- в) эффективность очистки стоков от взвешенных веществ в напорных гидроциклонах достигает 55-63%;
- г) максимальная эффективность очистки сточной воды от взвешенных веществ была достигнута в гидроциклоне ГЦ-80-1;

д) с увеличением скорости фильтрования эффективность очистки стоков от взвеси по технологической схеме «напорный гидроциклон-скорый напорный фильтр» снижается;

е) предложенная КГАСУ технология очистки шахтных вод может быть внедрена на предприятиях горной промышленности.

Таблица 2

**Результат экспериментальных исследований сточных вод от взвешенных веществ по схеме «напорный гидроциклон-скорый напорный фильтр»**

Тип гидроциклона	Давление, МПа		Скорость фильтрования, м/ч	Концентрация взвеси, мг/л		
	на входе в гидроциклон	на сливах гидроциклона		в исходной воде	в воде с верхнего слива гидроциклонов	в очищенной воде
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
ГЦ-80-1	0,6	0,4	6	53	20	3
			7	51	19	5
			8	57	21	6
ГЦ-75-1	0,6	0,4	6	52	23	4
			7	55	25	6
			8	58	23	7
ГЦ-100-1	0,6	0,4	6	57	24	5
			7	56	24	6
			8	61	25	7

Окончание табл. 2

Эффект очистки воды в гидроциклоне, %	Эффект очистки воды по схеме «гидроциклон-скорый фильтр», %	Температура воды, поступающей на очистку, °С	Интенсивность промывки фильтра, л/с·м <sup>2</sup>
8	9	10	11
62	94	19,8	14
63	90	20,1	
63	89	19,9	
56	91	20,1	14
55	89	20,0	
57	88	19,8	
58	91	19,9	14
57	89	20,2	
59	87	20,1	

Для совершенствования ПОГФУ необходимо и в дальнейшем заниматься исследованиями очистки шахтных стоков.

## Библиографический список

1. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки: справочное пособие. – Днепропетровск: Молодежная экологическая организация, 2000. 61с.

2. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Шарипова К.Г. К вопросу очистки шахтных стоков // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием. – Саратов: изд.центр «Наука», 2018. С. 74–77.

3. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Нестеров Н.В. Некоторые аспекты подготовки технической воды с применением гидроциклонно-фильтровальной установки // Современное состояние и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VI международной научно-практической конференции. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет, 2017. С.58–63.

4. Бусарев А.В., Селюгин А.С., Шешегова И.Г., Урмитова Н.С. Гидроциклонные установки подготовки воды для заводнения нефтеносных горизонтов с целью повышения их нефтеотдачи // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. № 4. С. 199–215. Режим доступа: [http://ogbus.ru/issues/4\\_2015/ogbus\\_4\\_2015\\_p199-215\\_BusarevAV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/4_2015/ogbus_4_2015_p199-215_BusarevAV_ru.pdf).

5. Шешегова И.Г., Бусарев А.В., Нестеров Н.В. Некоторые аспекты подготовки технической воды для заводнения нефтеносных горизонтов // Яковлевские чтения: сб. докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Москва: Изд-во Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-та, 2017. С. 217–220. Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdstupa>.

## ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОГРУЖНЫЕ НАСОСЫ – ЕДИНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЗАВИСИМАЯ СИСТЕМА

**В.И. Щербаков**, проф., д-р техн. наук; **И.Ю. Пурусова**, асс., ВГТУ, г. Воронеж

Проблема снабжения водой потребителей, при рациональном использовании энергетических ресурсов, должна решаться в процессе управления оптимальным режимом работы водозаборных сооружений из подземных источников (рис. 1). В водозаборных скважинах устанавливаются погружные насосы с завышенными характеристиками. Замена погружных насосов с низкой производительностью вовремя не производится. Такие негативные проявления приводят к необходимости совершенствования функционирования водозаборных сооружений [1, 4-18].



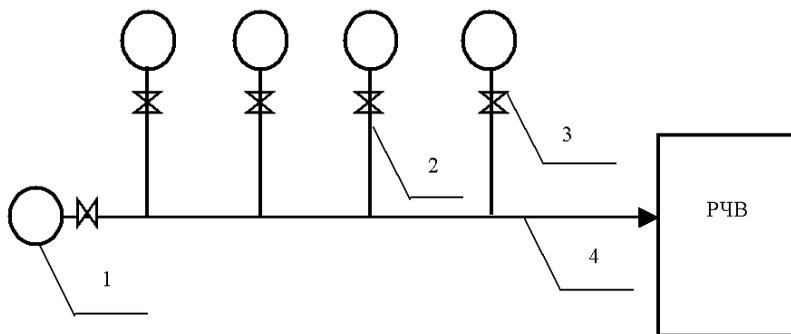
**Рис. 1.** Водозаборные сооружения из подземных источников

Изучением оптимальной работы погружных насосов на водозаборных сооружениях из подземных источников занимались отечественные ученые: В.В. Алексеев, А.П. Авсюкевич, В.Н. Фисенко, И.Б. Твердохлеб, А.В. Костюк и др.

Основным условием эффективной и надежной эксплуатации погружных насосов является их согласованная работа в системе скважина – погружной насос – сборный водовод. Поэтому такая система должна рассматриваться как единая, а выбор погружных насосов и схемы подачи воды в РЧВ (резервуар чистой воды) должны решаться на основании расчета совместной работы элементов системы.

Целью настоящей работы является определение стоимости жизненного цикла насоса и анализ потребляемой электроэнергии погружными насосами на водозаборных сооружениях.

Наиболее распространённая в практике строительства и эксплуатации схема расположения водозаборных сооружений из подземных источников [2-3], приведена на рис. 2. Вода из водоносного пласта поступает в скважины 1, откуда с помощью погружных насосов (типа ЭЦВ), подаётся по напорным трубопроводам 2 в сборный водовод 4. Далее вода направляется в РЧВ.



**Рис. 2.** Схема расположения водозаборных сооружений из подземных источников: 1 – водозаборные скважины с погружными насосами; 2 – сборные узлы; 3 – запорно-регулирующая арматура; 4 – сборный водовод

По результатам теоретических [1, 4-6, 8, 11] и практических исследований предложена математическая модель энергетической эффективности работы водозаборных сооружений из подземных источников.

Основными экономическим критерием выбора насосов являются затраты, которые требуется для перекачки всего объема воды за весь период его эксплуатации. Срок службы насосного агрегата в большей мере зависит от условий эксплуатации водозаборных сооружений. Показатель суммы затрат за весь срок службы насосных агрегатов, приведённый в формуле 1, является стоимостью жизненного цикла насоса, далее СЖЦН.

$$\text{СЖЦН} =$$

$$= \sum_1 (C_{\text{н}} + C_{\text{дв.}} + C_{\text{ППР}} + C_{\text{эл.эн.}} + C_{\text{мон}} + C_{\text{р}} + C_{\text{б}} + C_{\text{ост.}})T - C_{\text{амарт.}}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{н}}$  – стоимость насоса;  $C_{\text{дв.}}$  – стоимость электродвигателя;  $C_{\text{ППР}}$  – стоимость планово-предупредительного ремонта, включая текущий и капитальный ремонты;  $C_{\text{эл.эн.}}$  – стоимость электроэнергии;  $C_{\text{мон}}$  – стоимость монтажа, пуска и демонтажа насосного агрегата;  $C_{\text{р}}$  – стоимость расходных материалов (сальники, смазочные материалы);  $C_{\text{б}}$  – затраты на замену быстроизнашивающихся частей (узлов);  $C_{\text{ост.}}$  – остаточная стоимость насосного агрегата, после замены;  $T$  – время работы насосного агрегата, лет;  $C_{\text{амарт.}}$  – амортизационные затраты.

На СЖЦН оказывают наибольшее влияние начальная стоимость, энергопотребление и срок службы [8, 9-16]. При работе насосного агрегата 9240 часов в год электродвигатель потребляет электроэнергию, стоимость которой в несколько раз превышает цену насоса типа ЭЦВ (90 000 руб.). При одноставочном тарифе за электроэнергию равном 3,55 руб/кВт·ч затраты за год составляют 32 802 руб., а за 25 лет эксплуатации насосного агрегата 820 020 руб.

Затраты на стоимость электроэнергии составляют основную часть СЦЖН. Составляющие СЖЦН за весь период работы погружных насосов на водозаборных сооружениях приведены на рис. 3.

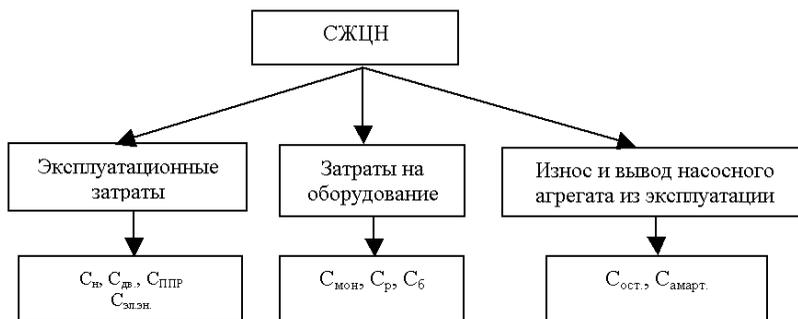


Рис. 3. СЖЦН на водозаборных сооружениях

Для анализа СЖЦН проводится сравнение значения потребления электроэнергии на водозаборных сооружениях и данными приводимыми в каталогах насосных агрегатов.

Значительное снижение энергопотребления может достигаться за счет верного выбора насоса в соответствии с реальными характеристиками системы [1, 4-5, 14-16]. Поэтому проведение энергоаудитов водозаборных сооружений, замер действительных параметров скважины и сети в целом, последующий подбор оборудования в соответствии с полученными результатами позволит значительно сократить потребление электроэнергии насосными агрегатами. В качестве исходных данных в расчете учитываются затраты на приобретение оборудования, в том числе и вспомогательного (станция управления, электрические щиты, кабель, расходные материалы и т. п.), стоимость монтажа насосного агрегата в скважине (~ 50 тыс. руб.) и затраты на электроэнергию. Поскольку работа насоса в большой степени зависит от условий эксплуатации, за расчётный период СЖЦН берётся срок службы скважины (25 лет). По истечении срока службы скважины предполагается либо капитальный ремонт, либо замена погружного насоса.

Одновременное использование в насосных станциях насосов разной производительности при расчёте СЖЦН может оказаться рациональнее применения одинаковых по подачам агрегатов, управляемых регулируемым электроприводом.

## Библиографический список

1. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Выбор расположения сооружений для забора подземных вод. // В сборнике: Яковлевские чтения XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. М.: НИУ МГСУ, 2018. С. 140-144.

2. Тугай А.М. Расчёт и конструирование водозаборных узлов. – Киев: Будельвник. 1978. – 160 с.

3. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.

4. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Пути повышения производительности водозаборных сооружений подземных вод. // В сборнике: Яковлевские чтения сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. М.: НИУ МГСУ, 2017. С. 248-252.

5. Пурусова И.Ю., Щербаков В.И. Математическое моделирование оперативного управления водоподъёмными станциями. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 4-2 (9-2). С. 310-313.

6. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздухоудных установках. – М.: Энергопромиздат, 2006. 360 с.

7. Твердохлеб И. Б., Костюк А. В. Энергоэффективная эксплуатация насосного оборудования // Водоснабжение и канализация. 2010. №1. С.124–127.

8. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Исследование работы системы водозаборная скважина - сборный водовод. // Энергосбережение и водоподготовка. 2017. № 2 (106). С. 27-32.

9. Онищенко Г. Б., Горюнов А.Н. Энергетическая эффективность станций водоподготовки систем водоснабжения // Энергосбережение и Водоподготовка. 2015. № 6. С. 48-51.

10. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Анализ совместной работы водозаборных сооружений из подземных источников. // В книге: Методология безопасности среды жизнедеятельности Программа и тезисы IV Крымской Международной научно-практической конференции. Под редакцией: А.Т. Дворецкого, Т.В. Денисовой, А.Е. Максименко. 2017. С. 85.

11. Пурусова И.Ю. Современные проблемы управления работой водозабора. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 7-2 (18-2). С. 379-383.

12. Фисенко В.Н. Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22–33.

13. Алексеев В. С., Мартинцов С. М. К оценке жизненного цикла скважин на действующих водозаборах // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 2. С. 16–24.

14. Фисенко В.Н. Оценка энергоэффективности насосов в системах водоснабжения. // В сборнике: Яковлевские чтения. XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. М.: НИУ МГСУ, 2018. С. 116-123.

15. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения. // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 6. С. 52-63.

16. Shcherbakov V. I., Chizhik K.I., Konovalov N.P., Purusova I.Y. Energy efficiency of functioning of water reservoir wells and collecting conduit. // Construction. The formation of living Environment. XXI International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering, 2018. 7 с.

17. Choi J.-D, Lim K.-J., Won C.H. Catchment water quality management planning for sustainable development of Tidal Areas // Irrigation and drainage. 2013. Vol. 62. Supplement S1. Pp. 18–23.

18. Vogelesang Hans. An introduction to energy consumption in pumps // World pumps. 2008, Issue 496, pp. 28– 31.

## КОМПАКТНЫЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

А.А. Кулаков, к.т.н., доцент, главный технолог ООО «Альта Групп», г. Москва

Особенности малых канализационных очистных сооружений (КОС) формируют определенный набор требований к их конструктивным, технологическим, монтажным и эксплуатационным параметрам, в частности:

- габаритные ограничения, вызванные оптимизацией транспортных затрат, рабочая высота блоков менее 2,1 м, рабочая ширина менее 2,2 м.
- необходимость учитывать неравномерность массовой и гидравлической нагрузки на сооружения, высокие нагрузки в дневное время, практически полное отсутствие притока в ночное время.
- низкая возможность обеспечить надлежащий режим эксплуатации сооружений ввиду финансовых (увеличение себестоимости) и организационных (дефицит кадров).
- сложность организации различных технологических (кислородных) зон в малых объемах сооружений.
- высокая себестоимость капитальных и эксплуатационных затрат ввиду удорожания очищаемых сточных вод  $1 \text{ м}^3$ .
- транспортная удаленность объектов, что затрудняет их лабораторный контроль и поддержание требуемого технологического режима.

Целью данной статьи является анализ встречающихся сложностей в достижении природоохранных нормативов на малых КОС и выявление направлений интенсификации их работы.

В работе проведен анализ полученных данных по обслуживанию ряда малых сооружений очистки хозяйственно-бытовых сточных вод промышленных площадок с фактической производительностью от 5 до  $20 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Результаты приведены в табл. 1.

Выявленные проблемы приведенных малых КОС были решены за счет описанных технологических решений, что позволило увеличить эффективность очистки сточных вод и стабильность работы сооружений. В результате достигнуты нормативы на сброс в водный объект по азотным соединениям и фосфору.

Систематизация полученного практического опыта позволила сформулировать основные требования к технологии очистки сточных вод подобных объектов:

- необходима предварительная решетка для удаления крупных включений, увеличения надежности работы очистных сооружений и защиты оборудования.
- сглаживание пиковых поступлений за счет усреднения сточных вод по составу и объему, что стабилизирует массовые и гидравлические нагрузки на биоценоз, предотвращая его деградацию.
- организация управляемых рециклов для корректировки времени пребывания сточных вод в различных технологических зонах.

**Характерные проблемы и методы их решения, встречающиеся на малых канализационных очистных сооружениях (на примере 2 объектов)**

Проблема	Решение
<p>Объект 1 [1]:            Приемный резервуар (20 м<sup>3</sup>) с КНС, биореактор четырехсекционный (блочная и плавающая биозагрузка), тонкослойный отстойник, фильтры доочистки (песчаный), УФ обеззараживание;            Проектная производительность – 20 м<sup>3</sup>/сут, факт – 5-10 м<sup>3</sup>/сут</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Пиковая подача сточных вод (за 2-3 включения насоса суточный расход) приводит к гидравлической перегрузке, росту уровня жидкости в сооружениях, выносу био пленки и био загрузки.</li> <li>• Применяемая блочная био загрузка заиливалась, плавающая загрузка физически разрушалась и выносилась с очищенной водой.</li> <li>• Интенсивная аэрация приводила к отмывке загрузки и отсутствию на ней биомассы.</li> <li>• Повышенное содержание растворенного кислорода и отсутствие внутреннего рецикла приводило к подавлению денитрификации и неполному изъятию азотных соединений.</li> <li>• Не дозировался технологически предусмотренный коагулянт, отсутствие дефосфотации, вынос мелкой био пленки.</li> <li>• Сброс токсичных веществ (при проведении строительно-монтажных работ на производственной площадке) в водоотводящую сеть привел к полному отмиранию биомассы, что потребовало длительного ее восстановления.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Усреднение состава и объема сточных вод позволило интенсифицировать изъятие загрязняющих веществ и стабилизировать работу отстойника.</li> <li>• Применение новой плавающей био загрузки, блочная био загрузка была демонтирована.</li> <li>• Оптимизация режимов подачи воздуха привела к образованию устойчивого слоя био пленки.</li> <li>• Организация последовательных стадий биофильтр-биореактор-биореактор с дополнительной рециркуляцией позволила обеспечить глубокое изъятие азотных соединений.</li> <li>• Дозирование коагулянта в камеру перед отстойником позволило исключить вынос взвеси (укрупнение и интенсификация ее осаждения) из сооружений и обеспечить норматив по фосфору.</li> <li>• Для обеспечения эффективной работы установки проведен инструктаж персонала по пользованию системой водоотведения.</li> </ul>
<p>Объект 2 [2]: КНС, приемный резервуар (25 м<sup>3</sup>), аэротенк, биореактор с блочной био загрузкой, тонкослойный отстойник, фильтры доочистки (песчаный), УФ обеззараживание;            Проектная производительность – 25 м<sup>3</sup>/сут, факт – 5-7 м<sup>3</sup>/сут</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Длительное нахождение в приемном резервуаре и снижение БПК на 20-30 %.</li> <li>• Соотношение БПК/азот (менее 3) не позволяет обеспечить эффективное удаление азотных соединений.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Поиск методов эффективного механического перемешивания с достижением аноксидных условий.</li> <li>• Настройка рециклов и системы аэрации для оптимизации кислородного режима.</li> </ul>

Проблема	Решение
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Отсутствие аноксидных зон.</li> <li>• Денитрификация в толще ила вторичных отстойников.</li> <li>• Обильное пенообразование.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сокращение времени нахождения СВ в приемном резервуаре за счет принудительной подачи на очистку с сокращением рабочего объема резервуара, что позволило увеличить денитрифицирующей потенциал.</li> <li>• Модернизация и настройка работы эрлифтов возвратного ила предотвратили всплывание ила в отстойнике.</li> </ul>
<p>Объект 3 [3]:            КНС, приемный резервуар (два по 25 м<sup>3</sup>), блок-бокс очистки (решетка, первичный отстойник, биореактор с блочной биозагрузкой, вторичный тонкослойный отстойник, фильтры доочистки (песчаный), УФ обеззараживание;            Проектная производительность – 40 м<sup>3</sup>/сут, факт – 20-30 м<sup>3</sup>/сут.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложный состав сточных вод (БПКп/азот менее 2), высокая степень неравномерности поступления сточных вод на очистку несмотря на имеющиеся резервы усреднения.</li> <li>• Дефицит объемов для биологической очистки (4 часа при проектном расходе).</li> <li>• Загнивание осадка в первичном отстойнике из-за неправильной периодичности его удаления.</li> <li>• Заиливание блочной биозагрузки.</li> <li>• Недостаточная степень рециркуляции, которая осуществляется насосом из вторичного отстойника, что приводит к падению уровня в нем на 15-30 % с последующим резким ростом при наполнении из сообщающихся емкостей.</li> <li>• Малая глубина сооружений (1,5 м) приводит к неэффективному распределению кислорода и выносу биопленки из вторичного отстойника.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Монтаж системы аэрации и механического перемешивания в приемных резервуарах, обеспечение последовательного прохождения сточные воды через них, что позволило получить недостающие объемы биологических сооружений. Нарращивание и поддержания дозы ила 1-1,5 г/л.</li> <li>• Блок-бокс переведен в режим доочистки. Имеющиеся две линии запущены в последовательный режим. На первой осуществлялась очистка активным илом (доза 2-3 г/л), на второй – биореактом с замененной биозагрузкой.</li> <li>• Оптимизирована система аэрации и рециркуляции, обеспечен возврат ила в приемные резервуары.</li> </ul>

- управление системой аэрации, применение клапанов для обеспечения требуемого кислородного режима в различных технологических зонах.
- организация различных технологических зон с комбинированием биоценозом для выстраивания требуемых этапов биологической очистки.
- постоянное удаление осадка из вторичного отстойника, модернизация системы удаления осадка, применение насосного оборудования, обеспечение управляемости данным процессом.

- разработка и внедрение в практику интуитивно понятного регламента эксплуатации с проработанными методами решениями прогнозируемых возникающих проблем.
- контроль технологических параметров (концентрация растворенного кислорода, визуальное состояние биоценоза, вынос взвешенных веществ, прозрачность очищенных сточных вод) и оперативное реагирование на возникающие внештатные ситуации.
- проведение переподготовки кадров, обслуживающих очистные сооружения.

#### Библиографический список

1. Кулаков А.А. Модернизация малых очистных сооружений канализации // «Яковлевские чтения». X Научно-техническая конференция. Сборник докладов. – М.: Изд-во АСВ, 2015. С. 69-75.
2. Кулаков А.А. Особенности очистки хозяйственно-бытовых сточных вод промышленных площадок // «Яковлевские чтения». XI Научно-техническая конференция. Сборник докладов. – М.: Изд-во АСВ, 2016. С. 182-191.
3. Кулаков А.А. Совершенствование компактных установок для очистки сточных вод // «Яковлевские чтения». XII Научно-техническая конференция. Сборник докладов. – М.: Изд-во АСВ, 2017. С. 64-68.

## **СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ПИТЬЕВОГО ВОДОПРОВОДА В ЗДАНИЯХ ГОРЯЧИХ ЦЕХОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**О.И. Шипков**, к.т.н., доц., Российская академия живописи, ваяния и зодчества Ильи Глазунова (РАЖВиЗ), г. Москва; **Е.В. Орлов**, к.т.н., доц., НИУ МГСУ, г. Москва; **И.А. Синянский**, к.т.н., доц., Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва; **Е.А. Бусарева**, студентка, НИУ МГСУ, г. Москва

Промышленные предприятия предназначены для размещения внутри их пространства различных производств и обеспечения необходимых условий для жизнедеятельности людей, а также для правильной работы и эксплуатации технологического оборудования [1-2].

Во всех промышленных зданиях должны быть запроектированы системы водоснабжения и канализации. На предприятиях, имеющих горячие цеха, в обязательном порядке приходится проектировать системы внутреннего водоснабжения специального назначения. Специальный питьевой водопровод подает воду заданного качества потребителю, например, для утоления жажды. Используется подсоленная, газированная или охлажденная до низких температур специально подготовленная вода. В некоторых случаях воду целесообразно насыщать кислородом. Это позволяет тонизировать самочувствие организма, что приводит к лучшей работе мозга и выведению некоторых токсичных веществ из организма.

Стоит подчеркнуть, что питьевой водопровод специального назначения делится на два вида: местный (обеспечивает водой всего лишь одно промышленное здание или цех) и централизованный (подача воды осуществляется сразу во все промышленные здания на одной территории).

В некоторых случаях застройщик часто экономит на проектировании и строительстве водопровода специального назначения и поэтому такие системы на некоторых объектах не строятся. Это значительно снижает производительность труда и качество жизни.

При строительстве системы водопровода специального назначения от городской сети прокладывается отдельный трубопровод ввода. Это позволяет отделить его от других систем водоснабжения (производственных, противопожарных и т.д.).

В качестве элементов системы специального питьевого водопровода можно перечислить установки по подготовке воды, внутренние водопроводные сети, запорную и водоразборную арматуру, контрольно-измерительные приборы. В некоторых случаях при кратковременных падениях давления в наружной сети целесообразно устанавливать водонапорные или гидропневматические баки [3-5].

Теперь пошагово рассмотрим все различные варианты проектирования водопровода специального назначения.

Специальный питьевой водопровод, который подает подсоленную воду потребителю в горячие цеха, позволяет бороться с обезвоживанием ор-

ганизма. Такая система работает следующим образом. Вода по вводу в здание подается во внутреннюю водопроводную сеть помещения и попадает в специальные емкости (баки). Там происходит процесс приготовления раствора пищевой соли. После чего начинается процесс смешивания. Полученную воду подают в водоразборные приборы потребителю. При наличии недостаточного качества воды в сети допускается использовать специальную систему фильтрации. В систему дополнительно вводятся дозаторы и водоподогреватели.

Утолять жажду потребителю позволяет употребление на промышленном предприятии газированной воды. В систему дополнительно вводятся баллоны, наполненные углекислым газом. Происходит дозирование с помощью дозаторов. Далее вода поступает по внутренней водопроводной сети к месту водоразбора в смесители.

По вышеперечисленному принципу работает система, насыщающая воду кислородом. Для этого используются специальные дозаторы и кислородные емкости (баллоны).

В качестве водоразборной арматуры могут применяться либо обычные краны, либо специальные питьевые фонтанчики. Целесообразно организовать раздачу воды через такие устройства или с помощью бесконтактного включения (бесконтактные краны), или с помощью ножного или локтевого пуска воды. Это будет значительно проще, а главное безопаснее с гигиенической точки зрения.

Питьевые фонтанчики являются самыми распространенными водоразборными приборами. По нормам один прибор может обслуживать не более 50 человек. Расчетные расходы следует принимать не более 0,04 л/с. В некоторых случаях допускается размещать один фонтанчик на 70 человек, однако тогда целесообразнее сделать на приборе два излива. Чаша фонтанчика, в которой будет предусмотрен гидрозатвор, будет собирать неиспользованную воду, а затем отправлять ее в систему канализации.

В качестве материалов для внутренней сети специального питьевого водопровода рекомендуется применять пластмассу или полимеры. Допускается использовать нержавеющую сталь. Трубопроводные сети прокладывают по территории предприятия открыто. Это позволяет в любой момент обеспечить доступ к ним и или произвести быстрый демонтаж.

Что касается местных систем специального питьевого водопровода, то в последнее время они начинают набирать широкую популярность. Они компактны, занимают мало места. Напрямую подключаются к системам хозяйственно-питьевого водоснабжения и могут быстро демонтироваться и переноситься на другое место. Неоспоримым их преимуществом является меньшие затраты на эксплуатацию системы. Их целесообразно устанавливать в небольших цехах при отсутствии большого водоразбора.

Местные системы специального питьевого водопровода представлены специальными многофункциональными приборами, которые размещают в своем корпусе все необходимое оборудование. Их называют автоматы питьевой воды или пурифайеры. В их корпусе сосредоточены сразу все

системы, начиная от очистки, заканчивая водоразбором потребителю. Они прекрасно входят в интерьер любого помещения и имеют износостойкий корпус, что позволяет им работать в разных условиях среды обитания.

Автоматы питьевой воды подключаются к сети хозяйственно-питьевого водопровода с помощью специальной и гибкой полимерной трубки, длину которой можно при необходимости увеличивать.

Автомат питьевой воды работает следующим образом. Вода от сети внутреннего водопровода по трубке поступает в систему фильтрации, находящуюся в корпусе прибора. Допускается устанавливать в зависимости от качества исходной воды до 5 фильтров. Очистка воды происходит с помощью мембранных технологий обратного осмоса. Исходная вода пропускается через полупроницаемую мембрану. Вещества, размер пор которых меньше диаметра пор мембран, проходят дальше, тогда как остальные примеси задерживаются. С помощью такой технологии удастся задержать 99 % всех растворенных загрязнений. Через мембрану проходят только молекулы воды и некоторые виды солей [6-10].

После процедуры очистки вода поступает в накопительный бак, откуда распределяется в баки холодной или горячей воды. Температура в них поддерживается в заданных параметрах (или постоянно охлаждается или нагревается). Для предотвращения размножения бактерий в баках в случае долгого отсутствия водоразбора устанавливается ультрафиолетовая лампа.

Стоит отметить, что один аппарат имеет в своей конструкции сразу несколько функций: охлаждение, подогрев, насыщение кислородом или углекислым газом.

Автоматы питьевой воды являются водо- и ресурсосберегающими приборами, т.к. за час работы потребляют всего 25-30 Вт электроэнергии.

Автоматы питьевой воды, как элемент системы специального питьевого водопровода, начинают применяться также в автосалонах, детских садах, офисных зданиях, медицинских центрах и т.д. При их использовании удастся снизить затраты на электроэнергию, т.к. они потребляют меньше электричества, чем бытовые электрические чайники.

Специальный питьевой водопровод является специфичным, но необходимым элементом инженерного оборудования промышленных предприятий. Он позволяет получать воду питьевого качества, соответствующую высоким стандартам.

#### Библиографический список

1. Кедров В.С., Исаев В.Н., Орлов В.А., Пальгунов П.П., Сомов М.А., Чухин В.А. Водоснабжение и водоотведение. М.: Стройиздат. 2002. 336 с.
2. Исаев В.Н., Нечитаева В.А., Кондратьев В.В. Структура водопотребления в жилых зданиях // Трубопроводы и экология. 2004. № 2. С. 26.
3. Федоровская Т.Г., Викулина В.Б., Нечитаева В.А., Маслова О.Я. Водоснабжение и водоотведение жилой застройки. М.: Издательство АСВ. 2013. 144 с.

4. Пугачев Е.А., Исаев В.Н. Экономика рационального водопользования. М.: МГСУ. 2011. 284 с.
5. Исаев В.Н., Давыдова А.А. Питьевое и хозяйственное водоснабжение // Вестник МГСУ. 2009. № 2. С. 148-150.
6. Орлов Е.В. Автомат питьевой воды - новый тип экологичных водоразборных приборов // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 1. С. 43-46.
7. Исаев В.Н. Проблемы водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. 2010. № 4. С. 56-58.
8. Андрианов А.П. Водоснабжение промышленных объектов и населенных мест с помощью мембранных ультрафильтрационных установок // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2004. № 8. С. 30-35.
9. Андрианов А.П. Доочистка московской водопроводной воды: применение мембранных технологий // Вестник МГСУ. 2010. № 4-2. С. 16-20.
10. Андрианов А.П., Журба М.Г. Условия безопасного применения бытовых систем доочистки питьевой воды // Питьевая вода. 2009. № 6. С. 2-18.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАТНОГО ОСМОСА КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

К.В. Тихонов, аспирант, НИУ МГСУ, г. Москва

## Введение

Одной из важнейших задач, решаемых научно-техническим сообществом, является защита окружающей среды от антропогенного воздействия. В рамках этой задачи происходит непрерывное развитие технологий, направленных на очистку воды, загрязняемой в процессе бытовой деятельности человека – хозяйственно-бытовой сточной воды. Сброс такой воды в водные объекты без ее очистки наносит огромный ущерб окружающей среде. В качестве примера, в табл. 1 [1] представлено несколько групп компонентов, обычно присутствующих в сточной воде, и описано их влияние на окружающую среду.

Таблица 1

Компонент	Представляет особый интерес	Влияет на окружающую среду
<b>Микроорганизмы</b>	патогенные бактерии, вирусы и яйца червей	риск при купании и употреблении в пищу обитающих в воде животных
<b>Биоразлагаемые органические вещества</b>	понижение концентрации кислорода в реках и озерах	сокращение численности водных обитателей
<b>Другие органические вещества</b>	детергенты, пестициды, жиры, масла и смазки, красители, растворители, фенол, цианид.	токсичный эффект, биоаккумуляция
<b>Биогенные элементы</b>	азот, фосфор, аммоний.	эвтрофикация, истощение кислорода, токсичный эффект
<b>Тяжелые металлы</b>	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	токсичный эффект, биоаккумуляция
<b>Другие неорганические вещества</b>	кислоты, щелочи	коррозия, токсичный эффект
<b>Температурные эффекты</b>	горячая вода	смена условий жизнедеятельности для флоры и фауны
<b>Запах и вкус</b>	сероводород	эстетически не приемлем, токсичный эффект

На протяжении уже более чем 100 лет учеными разрабатываются и совершенствуются технологии, позволяющие удалить данные компоненты из сточной воды. Наиболее универсальной, важной и широко применяемой

технологией очистки хозяйственно-бытовых сточных вод стала биологическая очистка. А в соответствии со справочником «наилучших доступных технологий» [2], данная технология является обязательной для использования (за исключением случаев применения технологии без биологической очистки – с использованием физико-химической обработки и фильтрационной очистки – которые крайне редки).

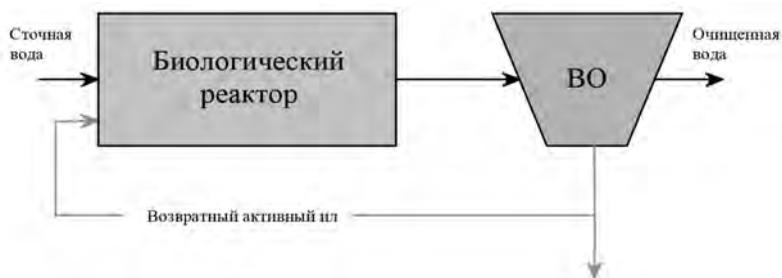
Параллельно с технологией биологической очистки происходило развитие технологии мембранного фильтрования (в т. ч. обратного осмоса). Данная технология с успехом применяется для получения воды высокого качества, как в целях питьевого водоснабжения, так и в целях водоснабжения технических устройств. Установки обратного осмоса также эффективно используются для доочистки биологически очищенных сточных вод для их повторного использования в технических целях.

В настоящей статье производится обзор и анализ достоинств и недостатков каждой технологии, определяются границы их применимости и обозначено направление для будущих перспективных исследований.

### **Технологии биологической очистки**

Традиционная технология биологической очистки является аэробной. Воздух, вводимый в аэротенк, используется в качестве окислителя и служит для дыхания активного ила, обеспечивая условия для активного размножения определенных групп микроорганизмов. Органические загрязнения, содержащиеся в сточной воде, активно поглощаются растущей биомассой (активным илом). С течением времени, при наличии необходимых внешних условий и корректно организованного процесса, образуется избыточный активный ил, который необходимо отделять от очищаемой воды.

Сооружение, в котором происходит процесс отделения ила, называется отстойником. В отстойнике активный ил под воздействием гравитационных сил оседает на дно и направляется на рециркуляцию, в случае превышения его оптимальной концентрации в системе – удаляется на обезвоживание и последующую утилизацию. Упрощенная схема «классической» технологии биологической очистки представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Упрощенная схема «классической» технологии биологической очистки

Основными компонентами данной технологии являются:

- биореактор,
- отстойник,
- циркуляция активного ила,
- вывод избыточного активного ила.

В последние десятилетия экологические проблемы, с каждым днем встающие все острее, кардинально поменяли наш взгляд на необходимую степень очистки сточной воды. В результате появились жесткие требования, для обеспечения которых классические технологии являются недостаточно эффективными.

Для обеспечения современных нормативов требуется реализация более сложных технологических процессов. С целью реализации этих процессов были разработаны множественные модификации и усовершенствования классической схемы.

Современные схемы биологической очистки реализуют в себе следующие процессы: аэробное окисление органических соединений, нитрификацию, денитрификацию, удаление фосфатов. Кроме того, при реализации данного процесса образуется значительное количество активного ила, нуждающегося в специальных методах его обработки и утилизации. Затраты на обработку и утилизацию активного ила зачастую превышают затраты на весь комплекс сооружений по очистке воды.

Однако, несмотря на множество вполне проработанных решений, биологическая очистка не лишена ряда недостатков, становящихся практически непреодолимыми при эксплуатации. Сюда можно отнести:

- невозможность наладки стабильного процесса очистки при высоких неравномерностях в стоке как по расходу, так и по концентрации (в условиях сверхмалых производительностей применение технологии затруднено).
- высокая зависимость от температуры очищаемой воды и как следствие от температуры окружающей среды (в условиях Крайнего Севера применение технологии затруднено);
- высокая сложность эксплуатации при организации современных многостадийных схем биологических процессов, таких как A2/O или UCT;
- необходимость организации дополнительных мероприятий по химическому удалению фосфора, при несоответствии его содержания балансу БПК-N-P, заданному данной технологией;
- необходимость дополнительных мероприятий по вводу легкоокисляемой органики для полноценного протекания глубокого удаления биогенных элементов азотной группы;
- большой объем площадей, занимаемых как самими сооружениями, так и выделяемыми под вторичные процессы (обработка осадка и утилизация осадка);
- большой объем образующегося осадка; вопрос конечной утилизации на настоящее время открыт и нуждается в серьезной проработке.

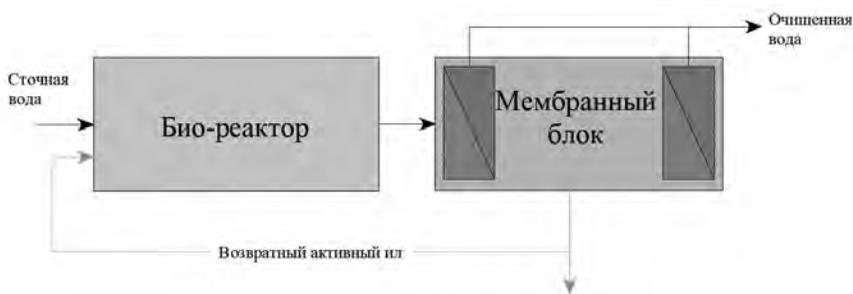
До последнего времени модификации биологического процесса обходили стороной процесс отделения активного ила от очищаемой воды. Процесс отстаивания оставался неизменным в каждой из предлагаемых схем и зачастую именно он являлся наиболее серьезным недостатком. При незначительном изменении гидравлической нагрузки, дозы активного ила или илового индекса, технологический режим работы нарушался, что вело к значительному ухудшению качества очистки по взвешенным веществам и, как следствие, по БПК [3].

Усилия многих инженеров были направлены на увеличение надежности и эффективности этого процесса. К таким разработкам можно отнести специальные конструкции переливных каналов, скребковые механизмы, тонкослойные модули, а также теоретические работы по математическому моделированию процесса отстаивания.

Однако одним из наиболее перспективных и радикальных методов интенсификации процесса разделения активного ила и воды стал мембранный биореактор (МБР) [4]. Суть технологии заключается в полном отказе от гравитационного разделения, которое заменяется фильтрованием через ультрафильтрационные и микрофильтрационные мембраны низкого давления.

Применение мембран создает практически абсолютный барьер для биомассы. Такой барьер обеспечивает возможность поддержания очень высоких концентраций (от 8 г/л до 20 г/л) активного ила в биореакторе. Поскольку в рамках данной технологии ход процесса не зависит от способности активного ила к осадению, время пребывания активного ила в системе может быть достаточно большим (от 10 до 40 суток и даже выше), тогда как в классической технологии (без применения дополнительных интенсифицирующих технологий) оно составляет менее 10 суток [5].

Упрощенная схема технологии МБР представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Упрощенная схема технологии МБР

На настоящий момент данная технология является одним из наиболее перспективных направлений биологической очистки и зачастую способна гарантировать качество воды, достаточное для ее дальнейшей доочистки по классической технологии обратного осмоса с целью повторного использо-

вания. В итоге проблемы разделения сред и большого требуемого объема сооружений здесь решается при помощи мембран, тогда как остальные вышеописанные недостатки остаются не устраненными.

### Технологии мембранной очистки

Традиционная технология мембранного фильтрования изначально стала применяться для производства питьевой воды с начала 1970-х. В 1967 году в местечке Йотвата была построена одна из первых опреснительных установок производительностью 150 м<sup>3</sup>/сут, очищающая воду из подземного озера с соленостью десятикратно превышавшей морскую. Опыт эксплуатации данной установки показал техническую возможность использования обратноосмотических мембран как для опреснения соленых вод, так и для разделения жидких смесей, дав толчок к дальнейшим исследованиям и развитию технологии.

На настоящий момент нет общепризнанной модели, объясняющей транспортировку загрязнений и воды через мембрану. К наиболее распространенным моделям можно отнести:

- модель молекулярно-ситового разделения
- модель диффузионного переноса
- капиллярно-фильтрационная модель селективной проницаемости (которой и отдается наибольшее предпочтение в наши дни) [6].

Однако несмотря на некоторых расхождения в теоретических исследованиях, на сегодняшний день процесс мембранного фильтрования является одним из наиболее надежных, технологичных и эффективно применяемых как в практике водоподготовки, так и в практике очистки сточных вод. Множество зарубежных фирм производят мембранные модули и установки очистки на основе этой технологии. Более того, в настоящее время мировой практикой признано, что мембранная технология является чуть ли не единственным методом, гарантированно обеспечивающим очистку сточных вод до нормативов, определенных как целевые показатели очистки воды, как для сброса ее в водоем, так и при ее повторном использовании. В отечественной практике развитие мембранных технологий значительно сдерживалось недостатком практического опыта, скудностью теоретических исследований и недостаточной просвещенностью специалистов по очистке сточных вод в вопросах мембранной очистки.

Фактическими недостатками данной технологии являются:

- концентраты, образующиеся в процессе работы мембранных аппаратов, утилизация которых весьма дорогостояща;
- необходимость создание серьезного комплекса предварительной очистки воды перед установками обратного осмоса;
- высокая стоимость мембранных элементов;
- высокий расход электроэнергии.

В связи с высокой актуальностью данных проблем, в последние десятилетия Первовым А.Г., Андриановым А.П., Матвеевым Н.А. [7, 8] был

произведён значительный объем исследований, направленный на их решение. Разработана схема, позволяющая значительно уменьшить объем концентрата. Разработаны обратноосмотические аппараты специальных конструкций, устойчиво работающих на воде, содержащей взвешенные вещества. Разработана и апробирована технология, позволяющая очищать ливневую воду. Кроме того, тенденции мирового рынка свидетельствуют о ежегодном снижении цен на мембраны, тогда как производственные мощности по их изготовлению только набирают обороты.

Все вышеперечисленное позволяет сделать вывод о эффективности применения данной технологии не только в очистке природных и промышленных сточных вод, но и в очистке хозяйственно бытовых сточных вод.

### **Мембранная очистка хозяйственно-бытовых сточных вод**

Применение технологии МБР [4] и обратноосмотических аппаратов специальных конструкций [7] стали первым шагом к использованию мембран в данной области и уже сегодня являются неотъемлемой частью мировой практики.

Дальнейшие исследования, направленные на уменьшение объемов концентрата, а также его утилизацию посредством вывода с осадком, позволили в значительной мере повысить привлекательность технологии как со стороны энергоэффективности, так и со стороны экологичности.

Эксперименты, описанные в статье [9] подтверждают технологическую обоснованность применения разработанных технологий как совместно с биологической очисткой, так и без нее. В настоящий момент автором проводятся исследования, направленные на разработку технологии очистки сточных вод, основанной на мембранной фильтрации и позволяющей значительно повысить надежность систем биологической очистки в случае, когда требуется повторное использование сточной воды. Исследуется возможность применения обратного осмоса взамен биологической очистки для условий Крайнего Севера и объектов сверхмалой производительности. Предварительные оценки таких величин, как капитальные и эксплуатационные затраты для сравниваемых технологий, включающие в себя не только расчет основного процесса очистки, но также сопутствующие ему утилизацию концентрата и утилизацию осадка, показали их сопоставимость.

На рис. 3 представлена разработанная схема доочистки воды, позволяющая получить воду, пригодную для использования в производственных целях.

В приведенной схеме:

$q$  – единичный расход воды (равен расходу, выводимому с осадком);  
 $C$  – концентрация солей в исходной воде;  $100q$  – расход исходной сточной воды;

Материальный баланс солей, приходящих в илоуплотнитель:

$$400C \text{ (от иловой воды)} + 100C \text{ (от установки ОО)} +$$

$$+ 10C \text{ (от осадка)} = 510C$$

Расход воды, поступающей в илоуплотнитель:

$$q + 10q + 4q = 15q$$

Концентрация солей в илоуплотнителе:

$$510C/15q = 34C$$

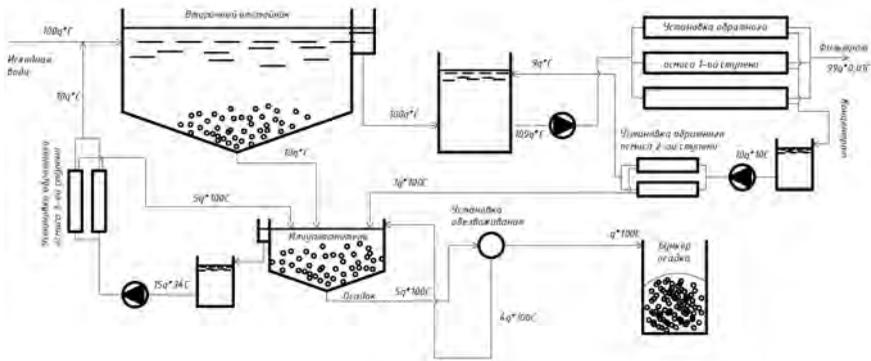


Рис. 3. Схема доочистки сточной воды с применением обратного осмоса.

## Выводы

Применение технологии биологической очистки не всегда является оптимальным решением для очистки сточных вод. Условия Крайнего Севера и сверхмалые производительности на практике не позволяют добиться требуемых показателей.

Применение мембранных технологий для очистки и доочистки сточных вод – распространённое явление в мировой практике, требующее широкого изучения отечественным научно-техническим сообществом.

Современные научные исследования в области очистки сточных вод при помощи мембран создают широкое поле для разработки пилотных установок и проведения натурных исследований по применимости локальных станций очистки сточных вод с целью их повторного использования как для условий Крайнего Севера, так и для децентрализованных систем водоотведения сверхмалых производительностей.

## Библиографический список

1. Хенце М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. – М., Мир, 2004.

2. ИТС 10-2015. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов. – М., Бюро НДТ, 2015.
3. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М., Акварос, 2003.
4. Judd Simon. The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment. – Elsevier, 2006.
5. Mark Wlif. The Guidebook to Membrane Technology for Wastewater Reclamation. – Balaban, 2010.
6. Sourirajan S. The mechanism of demineralization of aqueous sodium chloridesolutions by flow, under pressure, through porous membranes. // Ind. Eng. Chem. Fundam., 1963, №2.
7. Первов А.Г., Андрианов А.Г., Юрчевский Е.Б. Совершенствование конструкций мембранных аппаратов // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №7, с. 62-68.
8. Первов А.Г., Матвеев Н.А. Рациональное использование воды на основе технологии обратного осмоса для водоподготовки и очистки сточных вод. // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2013. №11, с. 40-44.
9. Дабровски В., Первов А.Г., Тихонов К.В. Use of reverse osmosis to modify biological wastewater treatment // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 10, с. 1220-1233.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Л.В. Боронина, А.А. Медведев.</i> Концепция сохранения и предотвращения загрязнения реки волги (на примере Астраханской области).....	5
<i>А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, А.С. Гиззатуллин.</i> Очистка жиросодержащих сточных вод в скорых напорных фильтрах .....	9
<i>Е.В. Веницианов, А.П. Лепихин.</i> Некоторые проблемы нормативно-методического обеспечения перехода системы регламентации сбросов загрязняющих веществ и микроорганизмов в водные объекты на основе НДТ.....	15
<i>Е.В. Веницианов.</i> Основные положения проектов программы «оздоровление волги» путем снижения уровня диффузных загрязнений .....	20
<i>А.И. Вергунов.</i> Исследование процесса загрязнения микрофильтрационных мембран при очистке природной воды в биосорбционно-мембранном реакторе .....	26
<i>М.Г. Мхитарян, А.В. Данилина, Л.В. Исаева.</i> Проектирование сетей водопровода и канализации в условиях стесненной застройки.....	28
<i>Л.Г. Дерюшев.</i> Актуализация нормативных требований гидравлического расчета трубопроводных систем водоотведения.....	34
<i>Л.Г. Дерюшев.</i> О нормировании производительности и надежности фильтровальных станций систем водоснабжения.....	39
<i>А.А. Ерхов.</i> Качество питьевой воды в аспекте кишечных инфекционных микробных патологий и микробиоты в целом.....	45
<i>А.А. Ерхов, Е.А. Королёва.</i> Системный подход в проектировании биопрудов .....	54
<i>А.А. Ерхов, Б.Н. Фрог.</i> Элиминация нефтяных загрязнений водных объектов на примере озера Щучье.....	71
<i>А.А. Кадревич, Ю.А. Щербакова.</i> Применение технологий очистки «серых» и «черных» сточных вод, при создании децентрализованных систем водоотведения новых микрорайонов .....	77
<i>И.А. Каюмов, Р.Х. Сунгатуллин, А.Х. Низамова.</i> Инженерно-технические решения экологической реабилитации систем озер «Лебяжье» в Республике Татарстан.....	81
<i>И.А. Каюмов, Р.Х. Сунгатуллин, А.Х. Низамова.</i> Инновационная технология устройства противофильтрационного экрана при экологической реабилитации систем озер «Лебяжье» .....	85
<i>И.А. Каюмов, Р.Х. Сунгатуллин, А.Х. Низамова.</i> Профессиональная переподготовка специалистов членов АСПО осуществляющие экологическую реабилитацию и обустройства водных объектов .....	88
<i>Чан Ха Куан, Е.С. Гогина.</i> Операционные параметры реактора периодического действия SBR при глубокой очистке бытовых сточных вод от аммиака.....	92

<i>А.Н. Майоров.</i> Опыт внедрения ГИС в АО «Мосводоканал» .....	100
<i>Г.Ш. Мамина, В.Б. Викулина.</i> Теоретические предпосылки процесса ионного обмена в гетерогенных условиях.....	108
<i>Ю.А. Медведева, В.В. Иващенко.</i> Двухколонная двухфилтровая скважина для обеспечения бесперебойного водоснабжения .....	112
<i>Е.В. Орлов, О.И. Шипков, И.А. Синянский.</i> Применение водосберегающих насадок для экономии питьевой воды в современных зданиях .....	117
<i>И.И. Павлинова, О.А. Платонова.</i> Использование приемов нанотехнологий при совершенствовании седиментационных характеристик осадков сточных вод .....	120
<i>Д.И. Привин, К.М. Букина.</i> Комплекс программных решений АСУТП с использованием Web-технологий систем водоснабжения и водоотведения .....	126
<i>В.И. Прохоров, М.А. Разаков, Р.В. Чернова.</i> Теплотребление городской канализационной насосной станции .....	128
<i>М.А. Разаков, Р.В. Чернова, А.А. Абрамян, И.Д. Ярков.</i> Новый способ обследования инженерных систем города .....	136
<i>А.В. Сеницын, Е.А. Клебанов.</i> Цифровой водоканал. Структура и роль АСУТП водоснабжения.....	143
<i>Е.Н. Сундукова, Л.Р. Мударисова.</i> Очистка сточных вод сахарных заводов .....	148
<i>С.Ю. Теплых, А.К. Стрелков.</i> Характеристика загрязнения водотоков поверхностным стоком с железнодорожных путей и их математическое моделирование.....	151
<i>Д.В. Скибо, М.Ю. Толстой, К.И. Чижик.</i> Автоматизированный демпферный резервуар канализационных насосных станций .....	163
<i>Н.С. Урмтлова, А.Х. Низамова, Д.И. Хабибуллин, А.М. Хабиева.</i> Биологические очистные сооружения (БТИ-БОС) хозяйственно-бытовых сточных вод .....	177
<i>Л.Н. Фесенко, Р.В. Израилов, С.И. Игнатенко.</i> Использование донбасского активированного антрацита для удаления запаха на очистных сооружениях нижнего Дона .....	182
<i>Л.Н. Фесенко, С.А. Щукин, А.Ю. Черкесов, С.И. Игнатенко, В.А. Онкаев.</i> Определение граничных условий железо-каталитического окисления сероводорода кислородом воздуха в реакторе с ультрафилтративным разделителем при очистке природных вод.....	190
<i>Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельников, А.С. Териков, Нгуен Тхи Туан Зьеп.</i> К выбору метода предотвращения отложений солей жесткости при прямом электролизе морской воды.....	195
<i>В.Н. Фисенко.</i> Критерии эффективной работы насосов в промышленных и коммунальных системах водоснабжения и водоотведения..	201
<i>Л.Р. Хисамеева, Р.Ш. Алимов.</i> Очистки филтративных сточных вод городской свалки ТБО г. Набережные Челны .....	209

<i>Н.С. Царев, В.И. Аксенов. Особенности создания замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий.....</i>	214
<i>А.А. Цымбалов. Гидрологические эффекты от импульсно-волнового воздействия как основа декольматации околоскважинных зон .....</i>	221
<i>А.А. Цымбалов. Методика формализации математической модели декольматации околоскважинных сред волновым воздействием .....</i>	227
<i>А.В. Бусарев, И.Г. Шешегова, К.Г. Шарипова. Исследования процессов очистки шахтных стоков.....</i>	231
<i>В.И. Щербаков, И.Ю. Пурусова. Водозаборные сооружения и погружные насосы – единая энергетически зависимая система .....</i>	236
<i>А.А. Кулаков. Компактные канализационные очистные сооружения ..</i>	241
<i>О.И. Шипков, Е.В. Орлов, И.А. Синянский, Е.А. Бусарева. Системы специального питьевого водопровода в зданиях горячих цехов промышленных предприятий .....</i>	245
<i>К.В. Тихонов. Использование технологий обратного осмоса как альтернативы биологической очистке бытовых сточных вод.....</i>	249