



**ИИЭСМ**

Институт инженерно-  
экологического  
строительства  
и механизации

# ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023

## Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения

Сборник докладов участников XVIII Международной  
научно-технической конференции, посвященной памяти  
академика РАН С.В. Яковлева

*(г. Москва, 16–17 марта 2023 г.)*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023

ISBN 978-5-7264-3245-8

Москва  
Издательство МИСИ – МГСУ  
2023

- Я47            **Яковлевские чтения – 2023.** Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения [Электронный ресурс] : сборник докладов участников XVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева (г. Москва, 16–17 марта 2023 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт инженерно-экологического строительства и механизации. — Электрон. дан. и прогр. (4,0 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023. — URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-3245-8

В сборнике содержатся доклады участников XVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, «Яковлевские чтения-2023: Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения», которая состоялась 16–17 марта 2023 года.

Для магистрантов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего образования в области строительства, а также для специалистов в области водоснабжения и водоотведения.

*Научное электронное издание*

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

Ответственный за выпуск *Н.А. Макиша*

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)

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Верстка макета *Н.А. Макиши*

Подписано к использованию 07.06.2023. Объем данных 4,0 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. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.  
E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

С. А. А. Ахмед, Е. С. Гогина. Фотодеградация фенола УФ-С-активированным персульфатом в присутствии Fe(III) в качестве катализатора .....	5
В.И. Баженов, В.Ю. Касперович. 3D-7D модели ТИМ на примере воздуходувной станции вкх: гипотеза и основные признаки.....	16
А.Г. Бобрик, Э.А.О. Эльдарзаде, М.А. Бобрик. Получение сорбционных материалов путем применения ресурсосберегающих технологий из отходов предприятий ТЭК.....	24
А.В. Бусарев, И.Г. Шешегова. Очистка вод природных источников от нефтепродуктов в адсорбционных фильтрах.....	29
А.С. Невгень. Исследование процессов механической очистки талого стока с территории автомобильных дорог города Вологды.....	33
И.В. Николенко, Е.Е. Котовская, Л.А. Алиев. Исследование и разработка метода утилизации осадков водоподготовки.....	38
И.В. Николенко, С.И. Мовчан. Обоснование выбора и построение формы отверстий фильтровальных перегородок.....	45
В.А. Орлов, О.В. Мельник. Строительные методы борьбы с дурнопахнущими газами в подсводном пространстве самотечных трубопроводов.....	51
И.В. Осетрова. Обоснование необходимости управления качеством водоисточника системы централизованного водоснабжения города Вологды.....	58
О.А. Продоус, П.П. Якубчик, С.С. Балашов. Количественная оценка эффективности работы металлических сетей водоснабжения.....	64
И. Ю. Пурусова, К. И. Чижик. Выбор насосных агрегатов для локальных очистных сооружений поверхностного стока при строительстве автодороги.....	71
М.А. Разаков. О нормировании использования вторичных энергоресурсов в городской канализационной насосной станции.....	77
А. А. Кулаков. Особенности состава сточных вод малых поселений...	81

## ФОТОДЕГРАДАЦИЯ ФЕНОЛА УФ-С-АКТИВИРОВАННЫМ ПЕРСУЛЬФАТОМ В ПРИСУТСТВИИ $Fe(III)$ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА

С. А. А. Ахмед<sup>1,2\*</sup>, Е. С. Гогина<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Асуанский университет, Асуан, Египет

<sup>2</sup> НИУ МГСУ, Москва, Россия

<sup>3</sup> НИИСФ РААСН, Москва, Россия

\* Автор ответственный за переписку: sameh.araby@aswu.edu.eg

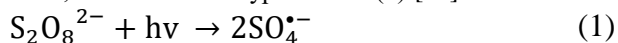
**Аннотация.** В водных потоках фенол и его соединения были отнесены к категории приоритетных загрязнителей, соответственно, загрязненные фенолом сточные воды должны быть очищены перед сбросом в водные ресурсы. В данной работе было исследовано фотокаталитическое разложение фенола на основе радикала персульфата с использованием процесса окисления на основе УФС/Персульфат (ПС)/ $Fe(III)$ . По сравнению с прямым фотолизом, УФС/ПС и ПС/ $Fe^{3+}$ , комбинированное лечение УФС/ПС/ $Fe^{3+}$  показало наивысшую начальную скорость реакции и эффективность удаления. Обычно, после 120 минут реакции, окислительная система УФС/ПС/ $Fe(III)$  повышает эффективность удаления фенола до 74%. Было исследовано влияние вариации pH, количества ПС, концентрации  $Fe^{3+}$  и начальной концентрации фенола в системе УФС/ПС/ $Fe^{3+}$ . Результаты исследования показали, что оптимальная эффективность удаления достигается при pH 4, тогда как увеличение щелочности приводит к снижению эффективности удаления. Кроме того, увеличение концентрации ПС до 10 мМ приводит к увеличению эффективности удаления. Тем не менее, чрезмерно высокая доза ПС оказывает неблагоприятное влияние на разложение фенола. Аналогично, эффективное разложение фенола может быть достигнуто при увеличении концентрации ионов железа до 5 мМ при более низкой начальной концентрации фенола. Это исследование показало, что присутствие ионов железа может значительно способствовать производству радикалов на месте в комбинированной системе УФС/ПС/ $Fe(III)$ , что приводит к значительному улучшению фотокаталитического разложения фенола.

### Введение

В последнее время загрязнение воды промышленными сточными водами стало серьезной и важной проблемой, а высокие концентрации органических соединений требуют обязательной очистки [1,2]. Кроме того, органические загрязнители являются очень токсичными и могут представлять серьезную угрозу для здоровья человека и других живых организмов, особенно фенолы [3]. Сточные воды, содержащие фенол, были включены в список приоритетных контролируемых органических загрязнителей Агентством по охране окружающей среды США (US-EPA) из-за их сложной структуры и биорезистивной деградации [4]. Фенол считается

одним из токсичных фенольных соединений в сточных водах. Это ароматический углеводород бензольных производных, обладающий очень высокой растворимостью в воде и являющийся очень токсичным веществом [5]. Фенол и его производные широко используются в нефтеперерабатывающей промышленности, производстве массовых лекарственных препаратов, высокотемпературном конвертировании угля, пластиковой промышленности, производстве смол и т.д. [6]. Фенольные соединения отрицательно воздействуют непосредственно на человеческий организм, вызывая образование фенокси-радикалов, которые могут проникать в клетку и повреждать мембраны эндоплазматической сети, митохондрий, ядра, что приводит к некрозу кожи, почек, печени, мышц и глаз [7,8]. Поэтому необходимость очистки фенольных загрязнителей является существенной и критически важной [4]. Особое внимание уделяется традиционным методам очистки фенола, таким как адсорбция, электролиз, биологический метод, мембранные методы сепарации и метод химической окислительной обработки, но они не могут полностью разложить фенол [9–11]. Тем не менее, передовые процессы окислительной обработки (ППО) широко используются для очистки загрязненных органическими соединениями сточных вод [12]. ППО обладают высокой эффективностью и низкой стоимостью эксплуатации, и считаются экологически безопасными методами. Кроме того, они стали новым методом генерации радикалов на месте, который может полностью разложить органические и неорганические загрязнители [13–15].

Среди ППО, ППО на основе сульфатного радикала (CP-ППО) стали популярными и широко изучались для разложения различных типов стойких органических соединений. Это связано с образованием высокореакционноспособных сульфатных радикалов ( $SO_4^{\bullet-}$ ), которые имеют более высокий окислительно-восстановительный потенциал (2,5–3,1 В) по сравнению с гидроксильными радикалами ( $OH^{\bullet}$ ) (1,8–2,7 В) [16]. Радикалы сульфата могут быть сгенерированы путем активации пероксимоносульфата или персульфата (ПС) химически с помощью переходных металлов или физически путем воздействия ультрафиолетового (УФ) излучения [16,17]. Для активации ионов пероксимоносульфата или ПС химическим способом металлическим переходом или физически при воздействии ультрафиолетового (УФ) излучения, наиболее часто используют низкое или высокое давление УФ-ртутных ламп [18,19]. Кроме того, было выявлено, что наиболее эффективными источниками света для этих целей являются длины волн менее 300 нм, особенно в диапазоне УФС [20,21]. Когда ионы персульфата подвергаются воздействию УФС, образуется два моля сульфатных радикалов, как показано в уравнении (1) [22].



Многие исследования подтверждают минерализацию органических соединений с использованием УФС-активированного персульфата.

Большинство процессов окисления, активированных УФС, выполняется с использованием УФС-излучения, в основном при 254 нм. Например, Лин и др. (2011) [17] исследовали очистку фенола с использованием активации УФС-персульфата и влияние pH на эффективность деградации и удаление органического углерода (ООУ). Они использовали 15-ваттную ртутную лампу, испускающую УФС-спектр с длиной волны 254 нм. Максимальное удаление фенола было обнаружено при высокой концентрации ПС, 84 мМ, и более низкой начальной концентрации фенола, 0,5 мМ фенола после 30 минут обработки. Сеид-Мохаммади и др. (2015) [23] сообщили о разложении высокой концентрации фенола из соленой сточной воды с использованием системы УФ/ПС. УФ-излучение было обеспечено лампой низкого давления ртутного пара мощностью 55 Вт с длиной волны 257,3 нм. Результаты подтвердили, что изменение pH не оказывает влияния на процесс, и максимальная эффективность удаления фенола достигается при условиях pH 3, 150 мМ ПС, 70000 мг/л NaCl и 200 мг/л фенола [23]. Укун и др. (2021) [20] исследовали деградацию 3,5-дихлорфенола методом фотолиза УФ-С и окисления персульфатом, активированным УФ-С. Результаты их исследования показали, что положительный эффект для удаления рассматриваемого загрязнителя может быть достигнут с увеличением значения pH и количества ПС [20]. Около 95% эффективности удаления было достигнуто через 120 минут при использовании 0,03 мМ ПС и pH 6,3.

С другой стороны, ПС обладает меньшим молярным коэффициентом поглощения при длине волны 254 нм ( $20 \text{ Л моль}^{-1}\text{см}^{-1}$ ), что означает необходимость более высокой концентрации окислителя для образования достаточного количества радикалов, способных расщеплять целевые загрязнители [24,25]. Поэтому многие исследования направлены на улучшение фотохимического поведения персульфата, в том числе с помощью ассистированных фотокатализаторов, УФС-излучения с длиной волны меньше 254 нм, а также исследования спектра УФА [12,13,26,27]. В связи с этим, данное исследование направлено на изучение расщепления фенола с помощью УФС -активированного персульфата в присутствии иона железа ( $\text{Fe}^{3+}$ ) в качестве вторичного окислителя. Кроме того, насколько нам известно, литература об этом сочетании не содержит достаточных данных. Наконец, данное исследование внесет свой вклад в научное знание, используя сочетание системы с ртутной лампой низкого давления в качестве источника УФС-излучения (257,3 нм), ПС и ионов железа при различных экспериментальных условиях.

### **Материалы и методы**

Все химические реагенты были как минимум аналитической чистоты и использовались без дополнительной очистки. Все растворы готовили на дистиллированной воде, если не указано иное. Использовались различные реагенты, такие как фенол (Химмед, Россия), NaOH (Химмед, Россия), HCl (Химмед, Россия). Кроме того, персульфат калия ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) и гексагидрат

хлорида железа ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) были приобретены в компании (Химкрафт, Россия). Наконец, для аналитического метода использовались 4-аминоантипирин (Диаэм, Россия),  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  (Химкрафт, Россия),  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (Химкрафт, Россия) и  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (Химкрафт, Россия).

### Фотохимические эксперименты

Установка фотохимического реактора показана на рисунке 1. Пакетные эксперименты проводились с использованием реактора из пирексового стекла объемом 1000 мл, содержащего 800 мл раствора фенола, постоянно перемешиваемого внизу при комнатной температуре ( $24^\circ\text{C}$ ). Затем в раствор добавлялось определенное количество ПС и перемешивалось до полного растворения. После регулировки pH раствора добавлялась заданная доза Fe(III) и немедленно подвергался воздействию УФ-излучения, создаваемого 15-ваттной лампой низкого давления ртутной пары с длиной волны  $\sim 254$  нм (УФС Т8 15W G13, LEDVANCE, Россия). Пробы брались в определенные временные интервалы во время каждого фотохимического эксперимента, за которыми следовало определение концентрации фенола, как описано ниже.

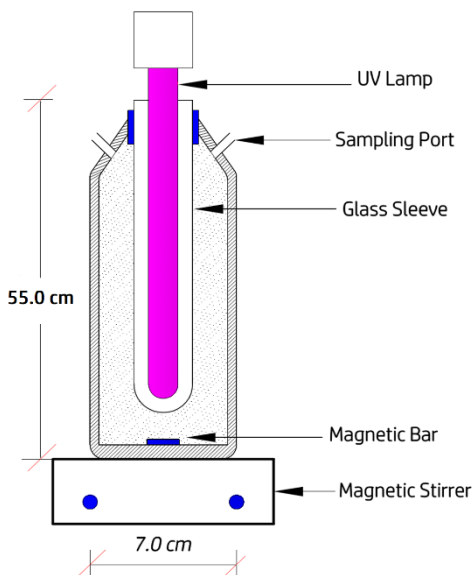


Рисунок 1. Схема установки фотореактора.

### Аналитические методы

Первоначальное и конечное значение pH раствора были измерены с помощью pH-метра Hanna HI2215 (HANNA, США). Для фильтрации собранных образцов из пакетных экспериментов использовалась

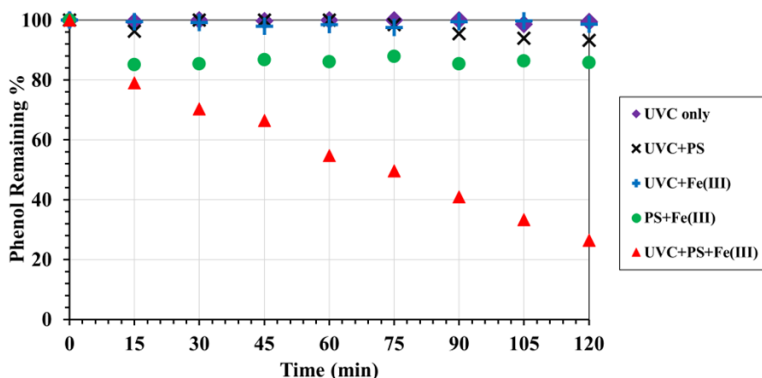


фильтровальная бумага с пористостью 0,2 мкм. Начальная и конечная концентрация фенола была определена с помощью УФ-вид-спектрофотометра 2800 (Unico, США) при длине волны 500 нм согласно методу прямой фотометрии (5530 D), основанном на реакции фенола с 4-аминоантипирином [28]. Для каждого набора экспериментов были созданы отдельные калибровочные кривые, используя подготовленные пустые образцы каждого экспериментального запуска.

## Результаты и обсуждение

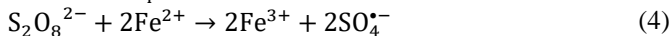
### Усиленная деградация фенола в системе УФС/ ПС/Fe(III)

На рисунке 2 показано сравнительное исследование разложения фенола во время прямого фотолиза УФС, в окисляющих системах только УФС, УФС/ПС, УФС/Fe(III), ПС/Fe(III) и объединенной окисляющей системе УФС/ПС/Fe(III). Результаты показали, что фенол является фотостабильным соединением. Поэтому при прямом фотолизе только под воздействием УФС, удаление фенола не наблюдалось. Подобные результаты подтверждены Лином и др. (2011) [17], когда только 10% из 0,5 мМ фенола были удалены при условиях только УФС. Также были исследованы эффекты облучения и Fe<sup>3+</sup> (УФС/Fe<sup>3+</sup>), но не было обнаружено разницы между обработкой и подверженностью облучению только УФС. В окисляющей системе УФС/ПС, при облучении раствора фенола в присутствии ПС, начальная скорость окисления увеличилась по сравнению с прямой фотолизой. Было достигнуто удаление 7% фенола благодаря образованию сульфатных радикалов в результате активации УФС-персульфата в соответствии с уравнением 1 и 2 [29]. Эти результаты подтверждают более низкое поглощение персульфата при длине волны 254 нм, что поднимает необходимость улучшения окислительной системы.

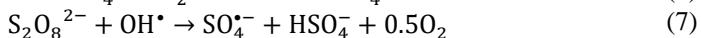
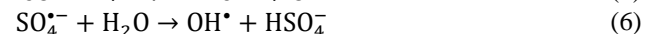


**Рисунок 2.** Кинетика деградации фенола через различные окислительные системы, (фенол=50мг/л, ПС=10мМ, Fe(III)=5мМ, pH=4)

Для завершения сравнительного исследования были проведены контрольные эксперименты только с ПС и катализатором Fe(III). В течение первых 15 минут была достигнута эффективность удаления около 15%, после чего дальнейшее удаление не было достигнуто. Это объясняется диспропорцией персульфата с образованием ионов радикала сульфата. Реакция персульфата и иона Fe(III) приводит к быстрому образованию ионов радикала сульфата в соответствии с уравнениями (3) и (4) [29–31]. Реакция персульфата и иона Fe(III) приводит к образованию ионов радикала сульфата и ионов двухвалентного железа, которые, в свою очередь, расходуются при их реакции с персульфатом. Это причина отсутствия дальнейшего удаления фенола после 15 минут реакционного времени.



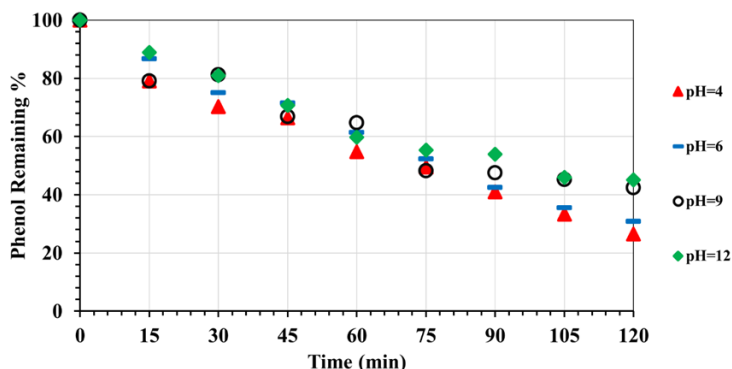
Наконец, при реализации метода комбинированного окисления с дополнительной фотоактивацией через систему УФС/ПС/Fe(III) наблюдается эффект синергии. За 120 мин была достигнута эффективность удаления около 74%. Высокая эффективность окисления фенола в комбинированной системе УФС/ПС/Fe<sup>3+</sup> обусловлена использованием радикально-ионного механизма, включающего в себя прямую фотолиз и окислительные процессы, вовлекающие высокоактивные вторичные окислители, такие как сульфатные радикальные анионы и гидроксильные радикалы, которые генерируются на месте с одновременной активацией персульфата УФС-излучением и ионами Fe<sup>3+</sup> [24]. Основные элементарные процессы, которые способствуют общему окислению фенола в связанной системе УФС/ПС/Fe<sup>3+</sup>, суммированы в реакциях (1)-(7) [24,29,30]. Производство гидроксильных радикалов из реакции гидроксида железа с *hν* и сульфатных анион радикалов с водой показано в уравнениях (5)-(6).



### Влияние изменения pH

На рисунке 3 представлено влияние изменения pH на деградацию фенола через систему УФС/ПС/Fe(III). Результаты показали, что удаление фенола уменьшалось с увеличением значения pH от 4 до 12 после 120-минутной реакции. Однако конкретная тенденция удаления не наблюдалась в первые 60 минут. Высокая степень удаления фенола была достигнута при pH 4, так как ионы персульфата имеют более высокую активность в кислых условиях при УФС облучении и реакции с ионами железа. При увеличении pH более чем до 6, образуются осадки Fe(III), что приводит к уменьшению эффективности удаления [32]. Кроме того, Крикет и Лейтнер (2011) [33] сообщили о возникновении других побочных реакций сульфатных видов,

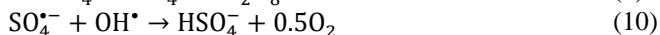
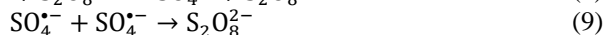
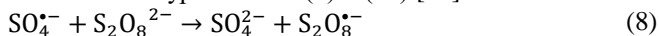
которые приводят к передаче радикалов сульфата на ионы сульфата, стимулируя образование гидроксильных радикалов при более щелочных условиях [33].

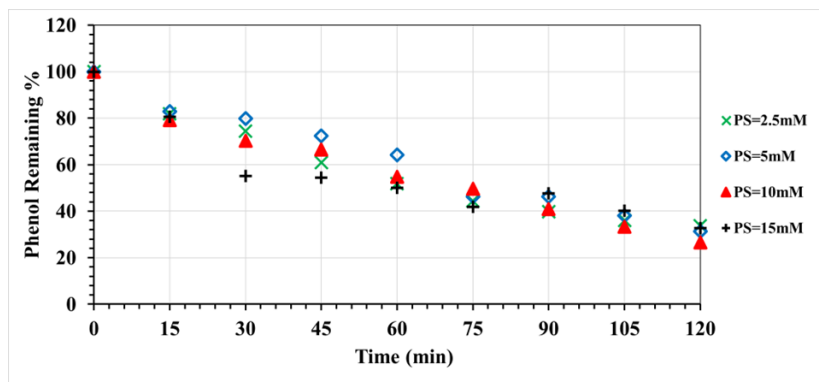


**Рисунок 3.** Влияние pH на фотодеградацию фенола с использованием системы УФС/ПС/Fe(III), (фенол 50=мг/л, ПС=10 мМ, Fe(III)=5 мМ).

### Влияние количества персульфата

На рисунке 4 показана минерализация фенола с помощью системы окисления УФС/ПС/Fe(III) (начальная концентрация персульфата = 2,5-15 мМ). Очевидно, что максимальное удаление фенола увеличивается с увеличением количества персульфата, достигая 74% за 120 минут при использовании 10 мМ персульфата. Однако, увеличение количества ПС до 15 мМ показало улучшение удаления фенола в первые 60 минут, перед снижением деградации фенола за 120 минут. Коэффициент удаления фенола снизился до примерно 60% при использовании 15 мМ ПС, что свидетельствует о негативном влиянии избытка персульфата на удаление фенола. Юй и др. (2004) [34] показали, что радикалы сульфата реагируют с ионами персульфата с постоянной скоростью ( $k_1$ ) приблизительно  $5.5 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ C}^{-1}$  в кислых условиях, как показано в Уравнении (8) [34]. Избыточное количество персульфата превращает потребленный  $\text{SO}_4^{\cdot-}$  в  $\text{S}_2\text{O}_8^{\cdot-}$ , что снижает окисление фенола. Еще одной причиной является то, что избыточное количество окислителя может привести к снижению потребления окислителя. Это происходит из-за образования высокореактивных радикалов, которые участвуют в процессе рекомбинации, а также других побочных реакций, протекающих с высокой скоростью, как это показано в уравнениях (9) и (10) [31].

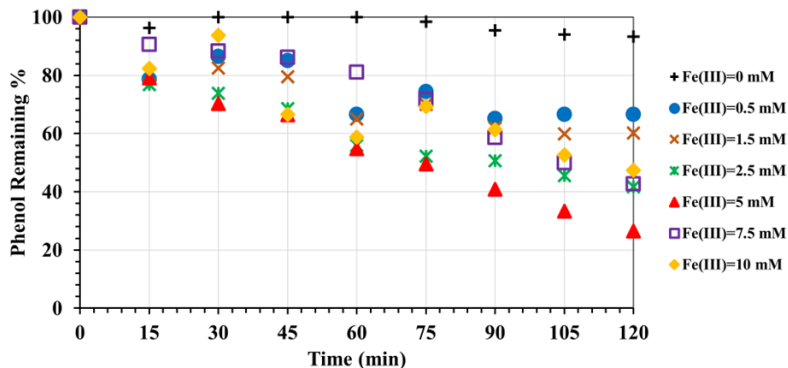




**Рисунок 4.** Влияние количества ПС на фотодegradацию фенола при использовании системы УФС/ПС/Fe(III), (фенол= 50 мг/л, ПС = 10 мМ, Fe(III) = 5 мМ, pH = 4).

### Влияние количества Fe(III)

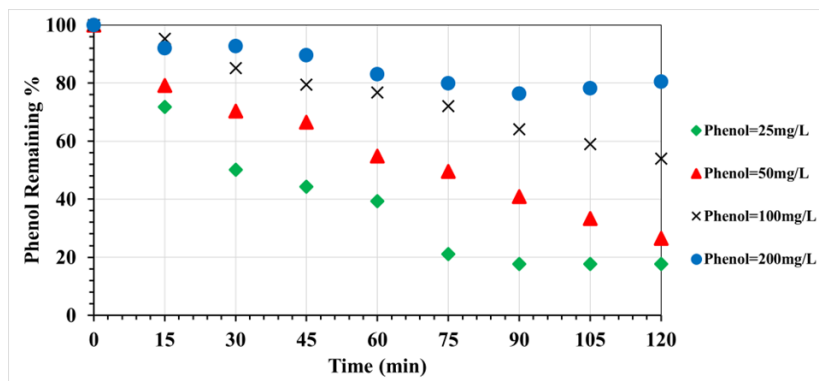
Влияние концентрации Fe(III) на фотокаталитическое разложение фенола представлено на рисунке 5. Рассматриваемый диапазон концентраций Fe<sup>3+</sup> составлял 0-10 мМ и оценивался при 10 мМ ПС и 50 мг/л фенола. Эти результаты подтверждают, что константа скорости разложения фенола увеличивается с Fe<sup>3+</sup> до концентрации 5,0 мМ. При увеличении концентрации ионов Fe<sup>3+</sup> от нуля до 5 мМ процесс диспропорционирования окислителя ПС становится более сильным, что приводит к увеличению количества образующихся реактивных ионов сульфатного радикала [24]. Однако кинетические кривые, показанные на рисунке 5, показывают, что увеличение количества Fe(III) выше 5 мМ нецелесообразно. Избыточное количество Fe(III) ионов в системе приводит к образованию избыточного количества железа (II), которое может выступать в роли инситу-душителя, потребляя сульфатные радикалы, вызывая истощение как Fe(II), так и ПС [35].



**Рисунок 5.** Влияние концентрации Fe(III) на фотодеградацию фенола с использованием системы УФС/ПС/Fe(III), (Фенол=50 мг/л, ПС=10 мМ, pH=4).

### Влияние исходной концентрации фенола

Данное исследование было проведено с целью выяснения, как начальная концентрация фенола влияет на эффективность очистки. Соответствующие результаты представлены на рисунке 6. Результаты показали, что скорость окисления снижалась при увеличении начальной концентрации фенола от 25 до 200 мг/л. Однако наблюдаются две тенденции удаления: одна, когда начальная концентрация фенола составляет 25 мг/л, а другая - при увеличении начальной концентрации фенола от 50 до 200 мг/л. После 120 минут реакции эффективность удаления для 50 мг/л фенола обычно составляла около 74%. Однако, при использовании начальной концентрации фенола в 25 мг/л, после 75 минут эффективность удаления была аналогичной для 50 мг/л фенола, или около 83%, и после 120 минут дополнительное улучшение удаления не происходило. Это можно объяснить избыточным количеством ПС и Fe(III) [31,34,35], что приводит к снижению эффективности удаления, как объяснено ранее в разделах (3.4 и 3.5). С другой стороны, после 120 минут было заметно резкое снижение эффективности удаления при увеличении начальной концентрации фенола от 50 до 200 мг/л. Это можно объяснить тем, что молярный коэффициент поглощения фенола при 254 нм очень высокий, поэтому увеличение его концентрации вызывает внутренний фильтровальный эффект, и раствор становится более непроницаемым для УФС излучения [17].



**Рисунок 6.** Влияние начальной концентрации фенола на фотодegradацию фенола с использованием системы УФС/ПС/Fe(III), (ПС=10мМ, Fe(III)=5мМ, pH=4).

## Заключение

Цель исследования заключалась в исследовании degradation фенола с использованием комбинированного процесса УФС/ПС/Fe<sup>3+</sup> и сравнении результатов с прямой фотолизой, УФС/ПС, УФС/Fe<sup>3+</sup> и ПС/Fe<sup>3+</sup>. Отсутствие ионов железа давало незначительный уровень удаления в течение 2 часов. Тем не менее, в контрольном эксперименте темной реакции ПС/Fe<sup>3+</sup> в тот же период времени было удалено около 15% фенола. Кроме того, исследование показало, что более высокий уровень удаления может быть достигнут при кислых условиях, а эффективность удаления снижалась при повышении pH. В частности, наилучшая эффективность удаления была достигнута при pH 4. Кроме того, оптимальные концентрации ПС и железа составляют 10 мМ и 5 мМ соответственно для удаления 50 мг/л фенола. В целом, окислительная система УФС/ПС/Fe<sup>3+</sup> может быть использована как многообещающий энергосберегающий метод для очистки потоков, загрязненных фенолом.

## Список литературы

1. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Toxicological review for phenol (CAS No. 108-95-2). Washington D.C., 2002. № 108. 213 p.
2. Wang W. et al. Analysis, occurrence, toxicity and environmental health risks of synthetic phenolic antioxidants: A review // Environ. Res. 2021. Vol. 201. P. 111531.
3. Barceló D. Environmental Protection Agency and other methods for the determination of priority pesticides and their transformation products in water // J. Chromatogr. A. 1993. Vol. 643, № 1. P. 117–143.
4. Yohi S., Wu C.-M., Koodali R.T. A Kinetic Study of Photocatalytic Degradation of Phenol over Titania&ndash;Silica Mixed Oxide Materials under UV Illumination // Catalysts . 2022. Vol. 12, № 2.
5. Sas O.G. et al. Removal of phenolic pollutants from wastewater streams using ionic liquids // Sep. Purif. Technol. 2020. Vol. 236. P. 116310.

6. Moradi M. et al. Ultrasound-assisted synthesis of FeTiO<sub>3</sub>/GO nanocomposite for photocatalytic degradation of phenol under visible light irradiation // *Sep. Purif. Technol.* 2021. Vol. 261. P. 118274.
7. Beloborodova N. et al. Effect of phenolic acids of microbial origin on production of reactive oxygen species in mitochondria and neutrophils // *J. Biomed. Sci.* 2012. Vol. 19, № 1. P. 89.
8. Michałowicz J., Duda W. Phenols – Sources and Toxicity // *Polish J. Environ. Stud.* 2007. Vol. 16, № 3.
9. Anku W.W., Mamo M.A., Govender P.P. Phenolic Compounds in Water: Sources, Reactivity, Toxicity and Treatment Methods // *Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications.* London, UK: IntechOpen, 2017. P. 214–443.
10. Wahid S.N. et al. The adsorption of phenol on granular activated carbon prepared from waste coconut shell in Trinidad // *Environ. Prog. Sustain. Energy.* John Wiley & Sons, Ltd, 2022. Vol. 41, № 1. P. e13729.
11. Nickheslat A. et al. Phenol photocatalytic degradation by advanced oxidation process under ultraviolet radiation using titanium dioxide // *J. Environ. Public Health.* 2013. Vol. 2013. P. 1–9.
12. Nunes R.F. et al. UVA/persulfate-driven nonylphenol polyethoxylate degradation: effect of process conditions // *Environ. Technol.* Taylor & Francis, 2022. Vol. 43, № 2. P. 286–300.
13. Cai A. et al. Degradation of bisphenol A by UV/persulfate process in the presence of bromide: Role of reactive bromine // *Water Res.* Pergamon, 2022. Vol. 215. P. 118288.
14. Yang L. et al. Modified high-efficiency carbon material for deep degradation of phenol by activating persulfate // *Chemosphere.* Pergamon, 2022. Vol. 298. P. 134135.
15. Ahmed S.A.A., Vohra M.S. Treatment of aqueous selenocyanate (SeCN<sup>-</sup>) using combined TiO<sub>2</sub> photocatalysis and 2-line ferrihydrite adsorption // *Desalin. Water Treat. Desalination Publications,* 2021. Vol. 211, № 1. P. 267–279.
16. Bu L. et al. Iron electrode as efficient persulfate activator for oxcarbazepine degradation: Performance, mechanism, and kinetic modeling // *Sep. Purif. Technol.* Elsevier B.V., 2017. Vol. 178. P. 66–74.
17. Lin Y.T., Liang C., Chen J.H. Feasibility study of ultraviolet activated persulfate oxidation of phenol // *Chemosphere.* Pergamon, 2011. Vol. 82, № 8. P. 1168–1172.
18. Ismail L. et al. Elimination of sulfaclozine from water with SO<sub>4</sub><sup>•-</sup> radicals: Evaluation of different persulfate activation methods // *Appl. Catal. B Environ.* Elsevier, 2017. Vol. 201. P. 573–581.
19. Graça C.A.L., Velosa A.C. de, Teixeira A.C.S.C. Amicarbazone degradation by UVA-activated persulfate in the presence of hydrogen peroxide or Fe<sup>2+</sup> // *Catal. Today.* Elsevier, 2017. Vol. 280. P. 80–85.
20. Ucuñ O.K. et al. Degradation of 3,5-dichlorophenol by UV-C photolysis and UV-C-activated persulfate oxidation process in pure water and simulated tertiary treated urban wastewater // *Environ. Technol.* Taylor & Francis, 2021. Vol. 42, № 25. P. 3877–3888.
21. Herrmann H. On the photolysis of simple anions and neutral molecules as sources of O<sup>-</sup>/OH, SO(x)<sup>-</sup> and Cl in aqueous solution. // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2007. Vol. 9 30. P. 3935–3964.
22. Dogliotti L., Hayon E. Flash photolysis of per[oxydi]sulfate ions in aqueous solutions. The sulfate and ozonide radical anions // *J. Phys. Chem.* American Chemical Society, 1967. Vol. 71, № 8. P. 2511–2516.

23. Seid-Mohammadi A. et al. Removal of phenol at high concentrations using UV/Persulfate from saline wastewater // *Desalin. Water Treat.* Taylor & Francis, 2015. Vol. 57, № 42. P. 19988–19995.
24. Budaev S.L. et al. Photochemical degradation of thiocyanate by sulfate radical-based advanced oxidation process using UVC KrCl-excilamp // *J. Environ. Chem. Eng.* Elsevier Ltd, 2021. Vol. 9, № 4. P. 105584.
25. Glaze W.H., Kang J.W., Chapin D.H. The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation // *Ozone Sci. Eng.* Taylor & Francis Group, 1987. Vol. 9, № 4. P. 335–352.
26. Shokoohi R. et al. Removal of phenol from aqueous solutions using persulfate-assisted, photocatalytic-activated aluminum oxide nanoparticles // *J Adv Env. Heal. Res.* Kurdistan University of Medical Sciences, 2019. Vol. 7, № 4. P. 203–212.
27. Cui Y. et al. Efficient photodegradation of phenol assisted by persulfate under visible light irradiation via a nitrogen-doped titanium-carbon composite // *Front. Chem. Sci. Eng.* 2021. Vol. 15, № 5. P. 1125–1133.
28. Baird R., Rice E., Eaton A. Standard methods for the examination of water and wastewaters // American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 23rd ed. Washington, DC, USA: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017. 1–1545 p.
29. Govindan K. et al. Degradation of pentachlorophenol by hydroxyl radicals and sulfate radicals using electrochemical activation of peroxomonosulfate, peroxodisulfate and hydrogen peroxide // *J. Hazard. Mater.* Elsevier B.V., 2014. Vol. 272. P. 42–51.
30. Grčić I., Vujević D., Koprivanac N. Modeling the mineralization and discoloration in colored systems by (US)Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> processes: A proposed degradation pathway // *Chem. Eng. J.* 2010. Vol. 157, № 1. P. 35–44.
31. Kusic H. et al. Modeling of iron activated persulfate oxidation treating reactive azo dye in water matrix // *Chem. Eng. J.* 2011. Vol. 172, № 1. P. 109–121.
32. Burbano A.A. et al. Oxidation kinetics and effect of pH on the degradation of MTBE with Fenton reagent // *Water Res.* 2005. Vol. 39, № 1. P. 107–118.
33. Criquet J., Leitner N.K.V. Degradation of acetic acid with sulfate radical generated by persulfate ions photolysis // *Chemosphere.* 2009. Vol. 77, № 2. P. 194–200.
34. Yu X.-Y., Bao Z.-C., Barker J.R. Free Radical Reactions Involving Cl•, Cl<sub>2</sub>-•, and SO<sub>4</sub>-• in the 248 nm Photolysis of Aqueous Solutions Containing S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> and Cl<sup>-</sup> // *J. Phys. Chem. A.* American Chemical Society, 2004. Vol. 108, № 2. P. 295–308.
35. Ling L. et al. A Fe(II)/citrate/UV/PMS process for carbamazepine degradation at a very low Fe(II)/PMS ratio and neutral pH: The mechanisms // *Water Res.* 2017. Vol. 124. P. 446–453.

### **3D-7D МОДЕЛИ ТИМ НА ПРИМЕРЕ ВОЗДУХОДУВНОЙ СТАНЦИИ ВКХ: ГИПОТЕЗА И ОСНОВНЫЕ ПРИЗНАКИ**

**В.И. Баженов<sup>1,\*</sup>, В.Ю. Касперович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>АО «Водоснабжение и водоотведение», г. Москва, Большой Строченовский пер., 7

<sup>2</sup>НИУ МГСУ, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

\*Автор ответственный за переписку: info@pump.ru



**Аннотация.** Исследователи используют различные термины информационного моделирования 3D-7D: «модель», «измерение», «мерность», «уровни», «этапы». В тезисах представлена гипотеза и основные признаки формирования ТИМ (ВИМ) моделей в отрасли ВКХ до измерения 7D. Поскольку отрасль находится в самом начале пути по внедрению ТИМ моделирования, тезисы сформированы в режиме гипотезы и с обозначением основных признаков измерений. Материалы представлены на примере самого энергоёмкого хозяйства – воздуходувная станция (62-85% потребляемой энергии канализационных очистных сооружений). Компрессора позволяют снизить затраты за счет регулирования подачи воздуха с учетом суточных, месячных, сезонных колебаний объема и состава сточных вод, а также с учетом меняющихся условий окружающей среды. Модели 3D развиваются на нерегулярной основе, инициативно. Отраслевая задача освоения 3D, 4D, 5D моделирования на основе отдельных дисциплин (как автономных баз данных) является сегодня самодостаточной. Эксплуатационный характер предприятий ВКХ свидетельствует о развитии элементов моделей 6D.

## **Введение**

Технология ВИМ распространена для использования не только 3D-моделирования, но и 4D-7D. Информационное моделирование 3D-7D не ограничивается термином «модель» [1], так различные исследователи используют другие термины: «измерение» [2], «мерность» [3], «уровни» [4], «этапы» [5]. СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах» дает определения измерениям 2D-6D.

В отрасли ВКХ для внедрения ТИМ «важно обеспечить программное обеспечение и его совместимость для решения задач основной и вспомогательной деятельности водоканала» [6, 7].

В контексте жизненного цикла ТИМ целесообразно выбрать объект (или актив) исследования. Материалы разработки представлены на примере самого энергоёмкого хозяйства и сосредоточенного на единой площадке воздуходувной станции, которые потребляют 62-85% энергии канализационных очистных сооружений (КОС) [8].

## **Модели ТИМ 3D-7D**

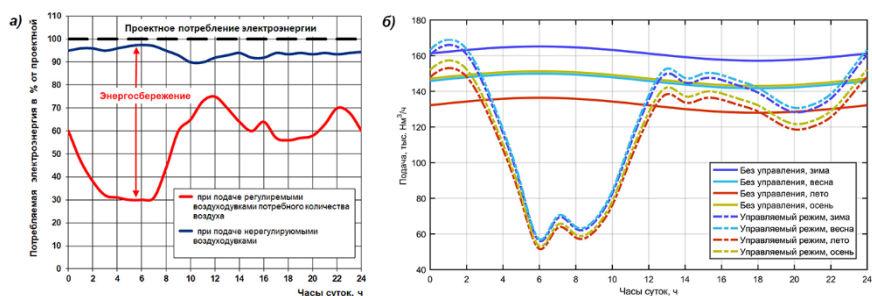
Стадия – концептуальный проект

Вышедший ГОСТ Р 1.9.393-1.022.21 «Канализационные очистные сооружения. Строительство и реконструкция. Основные технические решения. Требования к разработке, структуре и содержанию в целях обеспечения оптимальных капитальных затрат и эксплуатационных показателей» явился очередным документом в «пакете» стандартов, содержащих требования для полного жизненного цикла КОС. При создании

или реконструкции КОС возникает задача выбора оптимального технологического (технического) решения (ОТР) из ряда вариантов с формированием утверждаемой части ОТР, конкретизирующего требования задания на проектирование. Данный документ рекомендует рассматривать возможность разработки ОТР как отдельной работы, предшествующей разработке проектной документации.

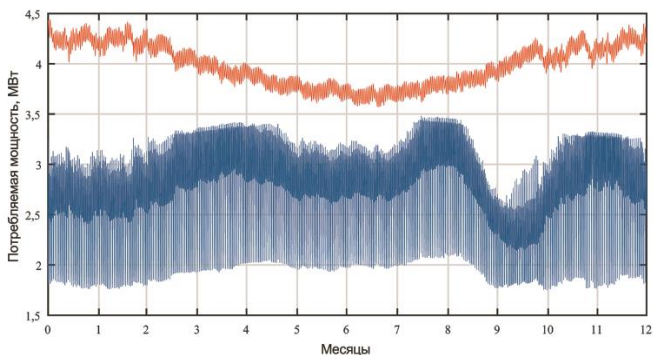
В вариантах предпроектных решений воздуходушных станций (ВДС) энергетическую эффективность реализуют за счет использования регулируемых воздуходувок (рисунок 1):

- с поворотно-лопастными механизмами на входе и выходе из агрегата;
- с помощью частотного преобразователя (ПЧ);
- дросселированием потока на входе.



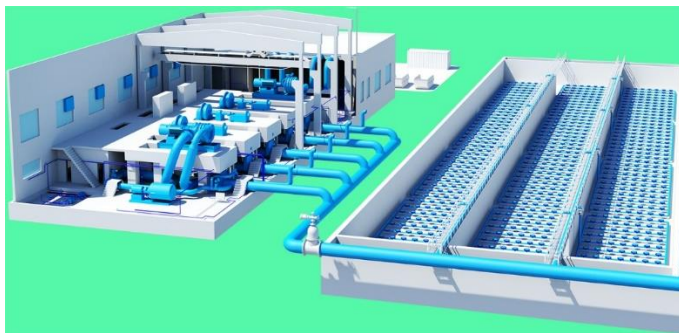
**Рисунок 1.** Предпроектная стратегия энергетической эффективности воздуходушной станции на базе регулируемых компрессоров: а) принцип формирования эффекта энергосбережения; б) расчетные технологические режимы подачи воздуха в аэротенки не регулируемые и управляемые компрессорами по сезонам года

Рисунок 1б сформирован по результатам работы имитационной модели, как предпроектный прогноз работы ВДС. Математическая модель была сформирована для обоснования энергосберегающего эффекта [9]. Потребляемая мощность ВДС на период 1 год (рисунок 2) визуализируется: яркими областями (плотным распределением данных) – дневное время высоких технологических нагрузок; светлыми областями – ночное время низких технологических нагрузок.



**Рисунок 2.** Имитационное моделирование по прогнозированию потребляемой мощности ВДС: неуправляемый режим, управляемый режим

**3D-проектирование.** На рисунке 3 представлен вариант реконструкции ВДС, реализованной по ТП 902-9-38.85 советского времени (СоюзводоканалНИИпроект). Реконструкция стала традиционным решением в практике водоканалов при сохранении надежности капитального здания и необходимости замены основного электромеханического оборудования (рисунок 3).



**Рисунок 3.** 3D модель ВДС [АО «ВИВ», автор А.С. Третьяков, Autodesk Revit]

Возможности данной модели включают обнаружение коллизий (ошибок) или проблем на стадии проектирования, а также объемную визуализацию проекта, технологии виртуальной реальности VR.

#### 4D-планирование

К информационной модели добавляют параметр «время». Это позволяет осуществлять планирование и управление процессом строительства, а также визуализировать графики производства работ. Модель предполагает управление: подрядчиками, закупками, логистикой, охраной труда и техникой безопасности.

Для объекта был разработан календарный план, соответствующий этапу 4D (рисунок 4) на основе участия энергосервисной компании (ЭСК), обеспечивающей инвестиции на: закупку оборудования, исполнение проектной документации, монтаж и пусконаладку оборудования.

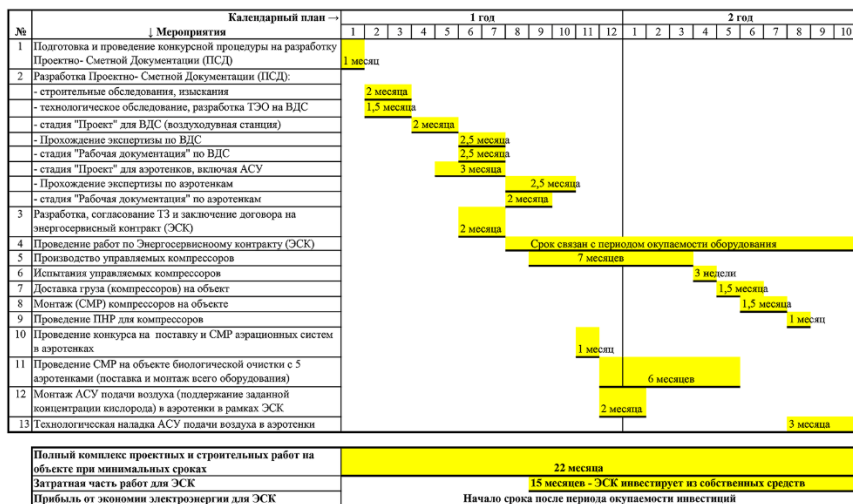


Рисунок 4. Календарный план ЭСК по реконструкции ВДС: от тендерных процедур до технологической наладки объекта

Проектирование может включать важный элемент Industry 4.0 – *внеплощадочное строительство*. Поставку воздухоудного оборудования выполняют комплектно-блочными изделиями, предполагающие сборку в процессе монтажа: комплект регулируемого компрессора с электродвигателем, камера сменных фильтров, конфузоры для подключения к воздуховодам, датчики и приборы, шумопоглощающие кожухи, отдельные панели управления и главный щит управления.

Использование внеплощадочного строительства позволяет экономить время и капитальные средства на строительной площадке, а изготовление компонентов в заводских условиях предполагает высокую степень совместимости в условиях СМР.

### 5D-затраты

Реализация параметра «стоимость» позволяет оценивать затраты в режиме реального времени и оптимизировать их. Это помогает оценить бюджет и сметную стоимость с затратами в привязке ко времени.

Макроанализ позволяет оценить: издержки на рабочую силу, оборудование, вводимые активы, учет сметных затрат и расходов средств. Микроанализ позволит проверить бюджетное планирование услуг по отношению к рыночным ценам и инфляции. Подобное экономическое планирование помогает визуализировать ежедневные расходы средств.

ФАУ Главгосэкспертиза России приступила к утверждению проектов и сметных расчётов согласно методике определения сметной стоимости Минстроя РФ (Приказ Минстроя РФ № 421/пр от 04.08.2020 г.), в состав затрат которой включено применение ТИМ технологий. В настоящий момент (2023 г.) Главгосэкспертиза обеспечивает разработку ряда ценных методик определения сметных затрат.

Чисто теоретически модель 5D должна формироваться автоматически при изменении параметров (диаметров труб и их длин, изменении наименований оборудования и материалов, проч.) 3D модели. На практике, даже зарубежной, это достаточно трудно осуществить, хотя модели существуют и совершенствуются. Поэтому сметные расчеты конкретной ВДС формировались традиционным способом с использованием квартальных индексов изменения сметной стоимости Минстроя РФ.

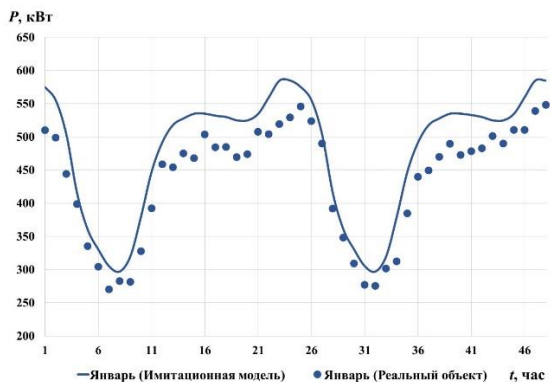
#### 6D-эксплуатация

Модель эксплуатации и управления объектом включает информацию о поведении объекта в реальных условиях, мониторинге состояния – диспетчеризации, электронном паспорте объекта, энергетической и ресурсной эффективности, ремонте и обслуживании, необходимости замены оборудования и запчастей или реконструкции отдельных узлов объекта.

При реализации модели 6D уже разработанные этапы 3D-5D дополняют виртуальным прототипом «цифровым двойником» объекта или процесса. Цифровой двойник включает информационную базу данных, которая должна быть интегрирована с различными ИТ-системами предприятия ВКХ (SCADA, ГИС и др.).

6D модели целесообразно обосновывать экономией ресурсов: в единицах «кВт·час» электроэнергии, «кг·час» реагента или «ккал·час» тепла.

Для условий предложенной ВДС результат 6D модели (рисунок 5) на практике отличен от прогноза, сформированного имитационной моделью (рисунки 1б, 2). Реальная потребляемая мощность будет понижена, поскольку на ранних этапах проектирования использовались расчетные технологические нагрузки, что соответствует традициям СП 32.13330.2018. Кроме того, практика отражает перспективы развития объекта в мере действительности, а также оказывают влияние объектная тарифовка и калибровка измерительных приборов. Т.о., практика энерго- и ресурсосбережения является ключевым вопросом 6D измерения.



**Рисунок 5.** Отличия модели 6D-эксплуатация от стадии проектных решений на основе имитационного моделирования ВДС

### 7D-управление

Модель 7D предполагает интеграцию предыдущих моделей с управлением объектом для достижения устойчивости и надежности его функционирования на протяжении всего жизненного цикла (включает: информационную основу для принятия управленческих решений, реализацию технического обслуживания, риски и гарантии).

Размер затрат и их экономия обосновывают эксплуатационно-технические показатели реального актива. Стратегическим преимуществом является наличие отраслевого стандарта ВКХ – ГОСТ Р 58785-2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения». Стандарт реализует технико-экономическую основу для принятия управленческих решений. Стандарт содержит 10 расчетных показателей стоимости жизненного цикла (капитальных – 4 ед., эксплуатационных – 5 ед.) за расчетный период.

Обоснования управленческих решений на предприятии ВКХ могут быть выполнены на основании рублевого эквивалента, используя цену тарифов за электроэнергию на этапе 7D по результатам 6D анализа (рисунок 5).

### Обсуждение

Материалы представлены в формате гипотезы с возможностью обсуждений и корректировки основных признаков 3D-7D моделей ТИМ. Отрасль ВКХ явно испытывает дефицит инвестиций, что тормозит развитие ТИМ. Модели 3D развиваются на нерегулярной основе, инициативно. Отраслевая задача освоения 3D, 4D, 5D моделирования на основе отдельных дисциплин (как автономных баз данных) является сегодня самодостаточной. Эксплуатационный характер предприятий ВКХ свидетельствует о развитии

элементов моделей 6D на основе данных систем SCADA и ГИС, а также связи с промышленным интернетом, датчиками и аналитикой данных.

Не обнаружено отечественное программное обеспечение, позволяющее автоматизировать производство дискретных данных моделей размерностей nD ТИМ (BIM), подобно зарубежному комплексу CONTEC [10].

### **Заключение**

Для обсуждения представлена гипотеза 3D-7D моделирования объекта ВКХ на примере воздуходувной станции. Конкретный пример демонстрирует взаимные связи и основные признаки моделирования. Модели nD развиваются в отрасли на нерегулярной основе, инициативно.

### **Список литературы**

1. Жуйков С. В. Применение BIM-технологии проектирования в градостроительных проектах //Перспективы науки. – 2021. – №. 5. – С. 87-89.
2. Сулейманова Л. А., Темурзиева Р. Н., Рябчевский И. С. Оптимизация технологических процессов в строительном производстве с помощью BIM-технологий //Наука и инновации в строительстве. – 2020. – С. 121-127.
3. Рыженкова М. В., Кривенцов В. А. Исследование этапов BIM моделирования // E-Scio. – 2021. – №. 5 (56). – С. 64-72.
4. Кисель Е.И., Срывкина Л.Г. Особенности внедрения BIM-технологий на инвестиционной стадии жизненного цикла объектов строительства // В сборнике: Организация строительного производства. Материалы II Всероссийской научной конференции. 2020. С. 70-84.
5. Абрамян С. Г. и др. BIM-Технологии в строительстве: функции, развитие и опыт применения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2021. – №. 1. – С. 323-332.
6. Алексеев С.Е., Алексеева Т.Р. Развитие механизмов цифровой трансформации водоканалов // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 2. С. 32-39.
7. Алексеев С.Е., Алексеева Т.Р. Информационное моделирование объектов систем водоснабжения и водоотведения как один из инструментов цифровой трансформации водоканалов // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 2 (1026). С. 58-61.
8. Березин С.Е., Баженов В.И. Воздуходувные станции с регулируемыми центробежными компрессорами. Симферополь, 2019. С. 188.
9. Битиев А.В., Басов Н.С., Новиков С.Н., Смоленский А.В., Баженов В.И., Устюжанин А.В. Прогнозирование энергосберегающего эффекта управляемой подачи воздуха для ново-лоберецких очистных сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 9. С. 47-56.
10. Vycital M., Jarský C. An automated nD model creation on BIM models // Organization, technology & management in construction: an international journal. – 2020. – Т. 12. – №. 1. – С. 2218-2231.

## ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК

А.Г. Бобрик\*, Э.А.О. Эльдарзаде, М.А. Бобрик

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, пр. Свободный 82, ст. 1

\* Автор ответственный за переписку: abobrik@sfu-kras.ru

**Аннотация.** В данной публикации приведены исследования касающиеся сорбционной очистки промышленных сточных вод. Был проведен анализ получения новых сорбентов путем применения новых ресурсосберегающих технологий из отходов промышленных предприятий. Главной задачей исследовательского проекта является разработка высокоэффективных сорбционных материалов широкого спектра действия, за счет переработки твердой фракции золошлака и низкокалорийных углей предприятий топливно-энергетического комплекса предприятий Красноярского края. Проведенные экспериментальные исследования показали возможность использования при дальнейшей консолидации промышленных партнеров, научного коллектива сибирского федерального университета и структур государственных власти, результатов данной научной работы в проектные решения модернизации очистных сооружений промышленных предприятий и предприятий ЖКХ региона. В ходе работы сделаны выводы по результатам проведенных исследований, позволяющие решить проблему утилизации отходов предприятий ТЭК с применением их в качестве высокоэффективной сорбционной загрузки.

### Введение

Приблизительно 65% от количества всех промышленных отходов в России, что соответствует 5,2 млрд тонн в год образуются предприятиями угольной промышленности.

Богатейший природно-ресурсный потенциал Красноярского края создал предпосылки для развития промышленных производств. Ведущими отраслями промышленности в регионе являются топливно-энергетический комплекс, производства чёрной и цветной металлургии, металлообрабатывающие предприятия и деревообработка.

При добыче, обогащении и сжигании твердого топлива образуются побочные продукты, в виде шлаков, которые являются отходами топливно-энергетического комплекса.

На сегодняшний день очень востребованы в развитии направления по переработки отходов этих производств для возможности применения их во вторичный оборот в качестве сырьевых материалов для получения сорбционных материалов.

В то же время очень актуальной задачей на данный момент, является очистка промстоков от содержащихся в ней примесей, которая требует



современного подхода с применением высокоэффективных и ресурсосберегающих технологий.

Анализ литературных источников и практического опыта показал, что одними из наиболее перспективных и высокоэффективных методов очистки стоков является сорбционный способ. Он имеет ряд преимуществ в сравнении с классической реагентной обработкой и меньшее количество недостатков. Неоспоримым его преимуществом так же является тот факт, что традиционные виды сорбентов такие как ионно-обменные смолы и активные угли можно легко заменять на материалы, полученные из второсортного сырья, в частности, отходы промышленных производств.

Новые подходы в очистке воды должны обеспечивать на выходе такое качество воды, которое позволит использовать ее в производственных процессах, тем самым снижая потребление свежей воды и доведения ее необходимых требований.

### **Материалы и методы**

Исходя из вышеизложенного, главной задачей исследовательского проекта является разработка высокоэффективных сорбционных материалов широкого спектра действия, за счет переработки твердой фракции золошлака (рис.1) и низкокалорийных углей предприятий ТЭК региона.



**Рисунок 1.** Золошлаковый отход ТЭК

В испытательной лаборатории СМиХАВ Сибирского федерального университета были проведены исследования по изучению эффективности очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых и цветных металлов.

Рассматривая проблему применения золошлака следует привести ряд статистических данных. В качестве примера можно рассмотреть город Красноярск, в котором главным источником тепловой энергии служат бурые угли. Наибольшая доля произведенной тепловой энергии приходится на

ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, находящихся в черте города. В год сжигается около 5 млн. т угля и при этом образуется около 500 тыс. т золы и шлака.

Ведущие институты страны, а также зарубежные ученые, занимаются исследованиями по вопросам стабилизации структуры золы-уноса.

С помощью опытной проверки в лаборатории была установлена возможность применения золы для изготовления сорбентов. Определен химический состав золы и содержание в ней вредных примесей, таких как сера, оксид кальция, магнезия и несгоревшие топливо.

Исследуемый сорбент является «горелой» породой, который образуется в процессе добычи каменного угля. Анализ состава показал наличие в нем глинистых веществ, которые обладают хорошей сорбционной способностью. Определен класс опасности отхода, по которому исследуемая золошлаковая смесь относится к пятому классу.

**Таблица 1.** Химический состав золошлакового отхода ТЭК (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
67	26	6	4,5	2,2	1,3	0,2

Сорбционная активность глинистых материалов определяется наличием в них микропор разных размеров. В ходе исследований были опробованы различные способы активации изучаемого сорбента и определялись основные физико-химические параметры для проведения высокоэффективного процесса очистки промышленных сточных вод. Расчет статической обменной емкости сорбентов проводился по стандартной методике НИИ Минерального сырья СТОРосГео 08-002-98.

## Результаты

Так как результат химического анализа показал, наличие глинистых составляющих в исследуемом отходе промышленного производства, было решено провести исследования по возможности его применения в качестве сорбента.

Таким образом сорбент, полученный лабораторным путем был апробирован в Исследовательской лаборатории Инженерно-строительного института СФУ с целью изучения эффективности очистки промышленного стока.

Путем экспериментальных исследований при различных типах активации определялись основные физико-химические параметры гранул сорбционного материала, а также исследовалась эффективность извлечения ряда тяжелых металлов из модельных и натуральных стоков. По результатам испытаний для активации исследуемого сорбента рекомендовано применять кавитационную обработку, так как она оказалась наиболее эффективным методом.

Установлено, что pH среды так же влияет на сорбционные способности исследуемого сорбента: оптимальными для проведения процесса является pH свыше 8. В кислых средах процесс сорбции значительно снижается.

В ходе проведенных работ выявлено, что исследуемый сорбент проявил высокую стабильную активность к таким металлам как: Mn, Zn, Cd, Pb и Fe. В меньшей степени к следующим металлам: As, Cu. К таким элементам как P, Sr, Cr, Ni сорбент не проявил активности.

Для выполнения химического анализа, определяющего качественный и количественный состав загрязнений в исходной сточной воде и в фильтрате, использовались стандартные методы, такие как атомно-эмиссионный спектральный анализ и ИК-спектроскопия.

Данные технические решения позволяют достичь требуемого качества воды для повторного использования, значительно снизить эксплуатационные затраты предприятия, реализовать принципы энергоресурсосбережения и экологичности.

### **Заключение**

По результатам испытаний можно сделать вывод о том, что изучаемый сорбент показал хорошие результаты и может быть рекомендован к применению для высокоэффективной очистки промышленных сточных вод.

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность использования при дальнейшей консолидации индустриальных партнеров, научного коллектива сибирского федерального университета и структур государственных власти, результатов данной научной работы в проектные решения модернизации очистных сооружений промышленных предприятий и предприятий ЖКХ региона.

### **Список литературы**

1. Е.С. Климов, М.В. Бузаева. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Монография. - Ульяновск, УлГТУ, 2011. – 201 с.
2. Я.М. Грушко. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах. Л.: Химия, 1982. — 216 с.
3. Патент № 2049543 «Адсорбент нефти и нефтепродуктов для очистки воды и почвы»
4. Черненко Т.В., Иматуллина Г.К. «Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов» Проблемы и перспективы современной науки /Сборник научных трудов Четвертой Международной Телеконференции «Фундаментальные науки и практика». Том 3 – № 1. – Томск – 2011.
5. В.В. Ахмедеев, С.В. Волков, С.В. Костюченко, А.В. Красночуб, Н.Н. Кудрявцев, А.В. Якименко «Применение метода УФ облучения для обеззараживания сточных вод». //Журнал Вода и экология №2 2000 год.
6. Фильтры из отходов для очистки сточных вод. Н.А. Собгайда, Л.Н. Ольшанская, Ю.А. Макарова, Энгельский технологический институт // Экология производства, №3 март 2012.
7. Гидравлические фильтры для очистки нефтесодержащих сточных воды. В.В. Буренин, канд. техн. наук МАДИ. //Экология производства, № 4 апрель 2012.
8. Новые решения для сбора нефтепродуктов и жиров. А.В. Касаткин, А.В. Пинкин ООО «НООСФЕРА».// Экология производства, № 4 апрель 2012.

9. Использование сорбентов на основе отходов полимерных материалов для очистки сточных вод нефтяных загрязнений. И.В. Стрепетов, Е.В. Москвичева.

10. Экология и экономика природопользования: учеб. для студентов вузов, обучающихся по эконом. специальностям / под ред. Э.В. Гирусова. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : ЮНИТИ ДАНА, 2010. 607 с.

11. Порядок определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия, постановление правительства РФ № 632 от 28.08.1992 (в ред. от 14.05.2009). – М., – 2009.

12. Стрепетов И.В., Москвичева Е.В. Использование сорбентов на основе отходов полимерных материалов для очистки сточных вод нефтяных загрязнений // Строительство и архитектура. 2010.

13. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А. Фильтры из отходов для очистки сточных вод. Эгельский технологический институт // Экология производства. 2012. №3. С. 40 – 41.

14. Ковалева, Н.Г., Ковалёв В.Г. Биохимическая очистка сточных вод предприятий химической промышленности. М.: Химия, 1987. 160 с.

15. Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Марутовский Р.М., Рода И.Г. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении // М.: Химия, 1983. 288 с.

16. Алексеев М.И. Технический справочник по обработке воды / М.И. Алексеев, В.Г. Иванов, А.М. Курганов, Г.П. Медведев, Б.Г. Мишуков, Ю.А. Феофанов, Л.И. Цветкова, Н.А. Черников // СПб: Новый Журнал. 2007. 360 с.

17. Дубровская О.Г., Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. Кондиционирование сточных вод энергетических систем и комплексов // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 6 (2011 4). P 665–675.

18. Дубровская О.Г. Технология гидротермодинамической обработки природных и сточных вод с использованием эффектов кавитации / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Красноярск: Красноярский государственный технический университет, 2007.

19. Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. Кавитация в технологиях очистки сточных вод // В мире научных открытий. 2010. № 5 (11). Ч. I. С. 87–90.

20. Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. Гидротермодинамическая технология обработки сточных вод // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. 2009. Т. 14. № 6. С. 242–245.

21. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. М.: Энергоатомиздат, 1990. 252 с.

22. Кулагин В.А., Криволуцкий А.С. Повышение энергоэффективности водоподготовки на ТЭС и котельных с использованием кавитационной технологии // Энергосбережение и водоподготовка. 2007. № 4. С. 85–88.

23. Кулагин В.А., Вильченко А.П., Кулагина Т.А. Моделирование двухфазных суперкавитационных потоков: Монография под ред. В.И. Быкова. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. 187 с.

24. Кулагин В.А. Суперкавитация в энергетике и гидроэнергетике. Красноярск: КГТУ, 2000. 108 с.

25. Петерзон Д. Побочные продукты при обработке воды с использованием сильных средств окисления // материалы междунар. конгресса. – М.: Сибино интернэшл, 1994. Т.2. С. 538–539.

## **ОЧИСТКА ВОД ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АДСОРБЦИОННЫХ ФИЛЬТРАХ**

**А.В. Бусарев, И.Г. Шешегова\***

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

\* Автор ответственный за переписку: ig-7@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме очистки природных вод от нефтепродуктов. Рассмотрены методы очистки природных вод от нефтепродуктов. В статье представлены результаты исследований очистки природных вод от нефтепродуктов на адсорбционных напорных фильтрах с различными сорбентами, а также влияние технологических параметров (скорость фильтрования и давления на входе в фильтр) на эффективность очистки.

### **Введение**

В результате возрастающего атропогенного воздействия наблюдается ухудшение качества воды природных источников централизованного питьевого водоснабжения. Так в процессе добычи и переработки нефти, судоходства, при сбросе сточных вод ряда промышленных предприятий, а также с поверхностными стоками в природные источники поступают нефтепродукты [1-4].

Нефтепродукты присутствуют в природной воде в виде пленки эмульсии типа «нефть в воде» или в растворенном состоянии [5]. В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 концентрация нефтепродуктов в питьевой воде не должна превышать 0,1 мг/л. Поэтому проблема очистки природных вод от нефтепродуктов последние время становится все более актуальной.

Для очистки природной воды от нефтепродуктов используются различные методы [6-9]:

- механические (отстаивание, фильтрование, обработка воды в поле центробежных сил);
- биологические с применением биосорберов и мембранные биореакторы;
- химические (окисление с использованием хлора, перекись водорода, перманганата калия и озона);
- физико-химические (коагуляция, флотация, электрокоагуляция, сорбция, ультрафильтрация).

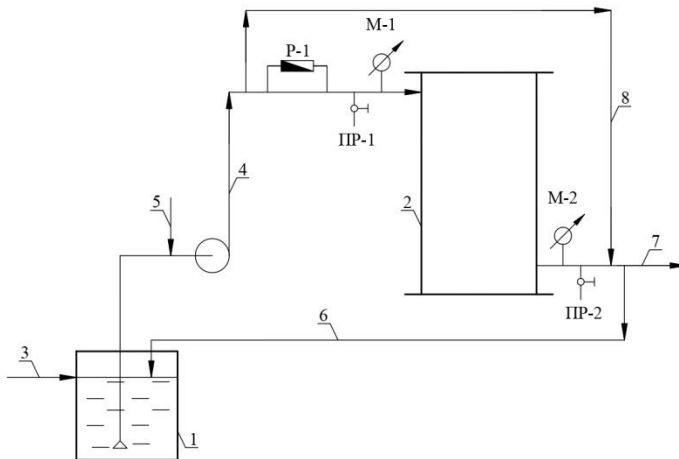
Одним из наиболее эффективных способов очистки воды от нефтепродуктов является сорбция [10]. Для этих целей используется

напорные и безнапорные адсорбционные фильтры. В качестве сорбентов используются активированные древесные угли, синтетические и природные сорбенты [7, 11]. В качестве сорбентов могут использоваться новые полученные химическим путем материалы [10]. Недостатками сорбционного метода очистки являются относительная дороговизна сорбентов, а также проблема регенерации и утилизации отработанного сорбционного материала.

На кафедре Водоснабжения и водоотведения Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) последние годы ведутся исследования в области очистки природных вод от нефтепродуктов различными методами [1, 4, 12-14], в том числе и методом сорбции [7, 9, 15].

### Материалы и методы

В КГАСУ проводились исследования эффективности очистки природной воды от нефтепродуктов с использованием различных типов сорбентов [7]. Исследования процессов очистки природных вод от нефтепродуктов проводились с помощью напорных адсорбционных фильтров на установке, технологическая схема которой представлена на рисунке 1. В состав установки входят емкость исходной воды, адсорбционный напорный фильтр, насос, соединительные трубопроводы, запорно-регулирующая арматура и контрольно-измерительные приборы.



**Рисунок 1.** Технологическая схема экспериментальной установки для очистки природной воды от нефтепродуктов: 1 – емкость исходной воды; 2 – адсорбционный фильтр; 3 – трубопровод подачи исходной воды; 4 – трубопровод подачи воды в адсорбционный фильтр; 5 – подача нефтепродуктов; 6 – трубопровод очищенной воды; 7 – сброс в канализацию; 8 –перепусковой трубопровод; P-1 – расходомер; M-1 и M-2 – манометры для измерения давления на входе и выходе из адсорбционного

фильтра соответственно; ПР-1 и ПР-2 – пробоотборники для отбора проб воды, поступающей на очистку и очищенной воды.

Исследования проводились в напорном адсорбционном фильтре с различными сорбентами. В качестве сорбционной загрузки использовались: активированный уголь АГ-3 с крупностью зерен 0,5-1,5 мм, сорбент СТН-30 с крупностью зерен 0,5-1,5 мм, шунгит карельский с крупностью зерен 1-3 мм.

Скорость фильтрования  $V_f$  в адсорбционном фильтре не превышала 8 м/ч.

Время контакта  $T$  воды с сорбционной загрузкой в фильтре составляло 15-20 мин.

Давление на входе в адсорбционный фильтр не превышало 0,6 МПа.

Температура воды, поступающей на адсорбционные фильтры, составляла 19,8-20,2 °С.

Концентрация нефтепродуктов в воде измерялась фотоколориметрическим методом [1, 9].

Эффект очистки воды от нефтепродуктов определялся по формуле [4, 13]:

$$\mathcal{E}_n = \frac{C_{исх}^n - C_{оч}^n}{C_{исх}^n} \cdot 100, \%$$

где  $C_{исх}^n$  - концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей на очистку, мг/л;

$C_{оч}^n$  - содержание нефтепродуктов в очищенной воде, мг/л.

## Результаты

Результаты исследований процессов очистки воды от нефтепродуктов в адсорбционных напорных фильтрах с различными сорбентами представлены в таблице.

**Таблица 1.** Результаты экспериментальных исследований

Тип сорбента	Давление, МПа		$C_{исх}^n$ , мг/л	$C_{оч}^n$ , мг/л	$\mathcal{E}_n$ , %	$T$ , мин
	на входе в фильтр	на выходе из фильтра				
1	2	3	4	5	6	7
Активированный уголь АГ-3	0,2	0,17	2,05	0,18	91	15
	0,3	0,27	2,11	0,19	91	15
	0,4	0,36	1,94	0,19	90	15
	0,5	0,46	1,87	0,16	91	15
СТН-30	0,2	0,27	1,68	0,1	94	15
	0,3	0,37	1,6	0,09	94	15
	0,4	0,46	1,83	0,12	93	15
	0,5	0,56	1,61	0,09	94	15
	0,2	0,27	1,75	0,1	94	17
	0,2	0,26	1,93	0,09	95	20

Тип сорбента	Давление, МПа		$C_{исх.}$ мг/л	$C_{оч.}$ мг/л	$\text{Э}_{\%}$	Т, мин
	на входе в фильтр	на выходе из фильтра				
1	2	3	4	5	6	7
	0,2	0,17	1,1	0,08	93	15
	0,2	0,16	1,79	0,1	94	15
	0,2	0,15	2,87	0,19	93	15
	0,2	0,16	4,1	0,32	92	15
Шунгит карельский	0,2	0,17	1,86	0,22	88	15
	0,3	0,27	1,94	0,21	89	15
	0,4	0,36	2,1	0,27	87	15
	0,5	0,45	1,78	0,18	90	15

### Заключение

Проведенные исследования показали, что при концентрации нефтепродуктов в воде до 1,5-2 мг/л можно рекомендовать сорбционную очистку на напорных фильтрах.

Исследования возможности различных видов сорбентов показали достаточно высокую эффективность очистки природной воды от нефтепродуктов (для шунгита достигает 87-90 %, для активированного древесного угля марки АГ-7 – 90-91 %, а для сорбента типа СТН-30 – 93-95 %).

В результате исследований было выявлено влияние ряда факторов на эффективность очистки воды от нефтепродуктов. Так было установлено, что рост давления в адсорбционных фильтрах на эффективность очистки не оказывает, а время контакта воды содержащей нефтепродукты с сорбентом повышает эффективность работы адсорбционных напорных фильтров. Исследования показали, что время контакта природной воды, загрязненной нефтепродуктами, с сорбентом должны быть не менее 15-20 мин.

### Список литературы

1. Адельшин А.Б., Бусарев А.В., Селюгин А.С., Гареев Б.М., Манвелян Ш.Г. Исследование процессов очистки поверхностных стоков // Вода: химия и экология. 2014. № 8. С. 113–117.
2. Решняк В.И. Организация очистки нефтесодержащей подсланевой воды при эксплуатации судов // Журнал университета водных коммуникаций. 2012. №1(3). С.150-153.
3. Миронов Е.А. Закачка сточных вод нефтяных месторождений в продуктивные и поглощающие горизонты. М.: Недра. 1976. 169с.
4. Бусарев А.В., Селюгин А.С., Ягин Я.В. Исследование процессов очистки нефтесодержащих стоков машиностроительных предприятий с применением напорных гидроциклонов // Международный журнал прикладных фундаментальных исследований. 2017. №8. С.190-194.
5. Селюгин А.С., Бусарев А.В., Абитов Р.Н. К вопросу очистки нефтесодержащих сточных вод с целью предотвращения загрязнения поверхностных источников: сб. докладов XII Международной научно-технической конференции



посвященной памяти акад. РАН С.В. Яковлева. Москва: Изд-во Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-та, 2017. С. 108–113.

6. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Иванова В.О. К вопросу очистки природных вод от нефтепродуктов // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы IX Национальной конференции с международным участием. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2020. С. 64-67.

7. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Ефремова Р.Ю. К вопросу удаления из природных вод нефтепродуктов методом сорбции // Известия КГАСУ. 2019. №4(50). С.313-319.

8. Хаскельберг М.Б. Повышение эффективности удаления нефтепродуктов из сточных вод // Известия Томского политехнического университета. 2014. т. 319. № 3. С. 32-35.

9. Гареев Б.М., Бусарев А.В., Селюгин А.С., Каюмов Ф.Ф. Глубокая очистка сточных вод от мойки легковых автомобилей с применением адсорбционных фильтров: материалы X международной конференции «Эффективные исследования современности», №10. М.: Евразийское научное объединение. 2015. С.48-49.

10. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений в 3-х томах: т.2: очистка и кондиционирование природных вод. М.: АСВ, 2004. 496 с.

11. Тайгунова Г. Р., Бариева Э. Р., Серазеева Е. В. Усовершенствование системы очистки сточных вод: сб. научных трудов SWorld по материалам научно-практической конференции. 2013. т. 37. № 1. С. 28-30.

12. Бусарев А.В., Селюгин А.С., Каюмов Ф.Ф. К вопросу очистки поверхностных стоков в гидроциклонных установках // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 10. С. 229

13. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Иванова В.О. Исследования по очистке воды от нефтепродуктов в мембранных разделителях // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы XI Национальной конференции с международным участием. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2021. С.16-19.

14. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Иванова В.О. Очистка природных вод от нефтепродуктов методом ультрафильтрации // Инновационные технологии в инженерных системах: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 55-летию ЧГУ им. И. Н. Ульянова. – Чебоксары : ИД «Среда», 2022. С. 26-30.

15. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Чемерова И.Н. Некоторые аспекты решения проблем доочистки водопроводной воды с помощью адсорбционных фильтров // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: Материалы международной науч.-практич. конф. Саратов. 2016. С.51-55.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ТАЛОГО СТОКА С ТЕРРИТОРИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ГОРОДА ВОЛОГДЫ**

**А.С.Невгень**

<sup>1</sup>Вологодский государственный университет

\*Автор ответственный за переписку: nac6@list.ru

**Аннотация.** Талый сток с территории автомобильных дорог содержит загрязняющие вещества, которые не допускаются к сбросам в водные объекты. Механическая очистка наиболее эффективный способ обработки такого стока, но местные особенности бассейнов канализования вносят коррективы в состав и свойства этой категории сточных вод и фазово-дисперсный состав загрязнений. Поэтому для достижения необходимого эффекта очистки требуются седиментационные исследования. В рамках настоящей работы проводятся исследования процессов осветления талого стока с территорий автомобильных дорог города Вологды.

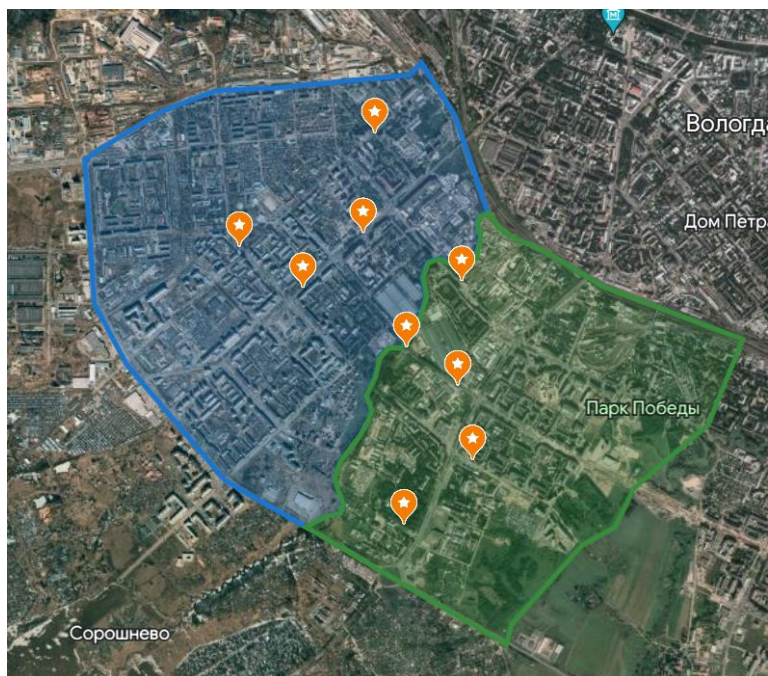
## **Введение**

Снежный покров на городских территориях обладает высокой способностью аккумулировать загрязняющие вещества. Загрязняющими веществами, присутствующими в снежном покрове являются минеральные и органические примеси естественного происхождения, растворённые органические и минеральные вещества, а также вещества техногенного происхождения, например, нефтепродукты. В период снеготаяния загрязняющие вещества поступают с поверхностным стоком в водный объект и изменяют физическо-химические свойства природной воды. [1]. Поверхностный сток требует очистки до уровня, отвечающего требованиям экологических нормативов на выпуске в водоприемники.

Цель работы – исследование процесса осветления и определение расчётных характеристик талого стока для разработки технологии очистки.

## **Материалы и методы**

Для изучения кинетики отстаивания поверхностного стока с территории автомобильных дорог города Вологды отбирались средневзвешенные пробы снежного покрова по следующей методике. Точки отбора для формирования средневзвешенной пробы привязаны к бассейнам канализования коллекторов ливневой канализации и участкам дорожной сети с разной интенсивностью движения транспортных средств. Территория для отбора проб разбита на два района. В каждом районе по четырем точкам отбора в равных долях составляются по одной средневзвешенной пробе снега (общий объем пробы 40 л). Карта схема районов с точками отбора проб представлена на рисунке 1. Отобранная проба при комнатной температуре оттаивалась в лаборатории, полученная талая вода использовалась в качестве исходной воды для проведения экспериментальных седиментационных исследований.



**Рисунок 1.** Карта-схема районов с точками отбора проб (синий – район А, зеленый – район Б)

Экспериментальные исследования исходной воды проводились в цилиндрах Лисенко. В течение эксперимента производились замеры слоя осветленного осадка и отбирались пробы для определения концентраций взвешенных веществ, через 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 мин после начала исследования. Опыты выполнялись в трех повторностях, результаты фиксировались и заносились в таблицу, затем выполнялись расчёты эффективности отстаивания, гидравлической крупности оседающих веществ и строились седиментационные кривые.

### Результаты

Процесс осаждения исходной воды представлен на рисунке 2, по данному рисунку можно проследить ход осаждения твердых частиц. Через 25 мин после начала осаждения исходной воды образуются шесть качественно отличающихся зон (рисунок 3а): 1 – зона стесненного осаждения; 2,3 – зона сгущенной суспензии взвешенных веществ (ВВ) и нефтепродукта (или других легких жидких фракций); 4 – зона пленочного нефтепродукта (или других легких жидких фракций); 5 – зона уплотнения осадка; – зона осветленной воды (через 120 мин после начала осаждения формируются 3 зоны (рисунок 3б)): 4 – зона пленочного нефтепродукта (или

других легких жидких фракций); 6 – зона осветленной воды; 5 – зона уплотнения осадка.

Зона стесненного осаждения (1) и зона сгущенной суспензии (2) под действием сил тяжести оседающих веществ трансформируются в зону уплотнения осадка (5) и происходит увеличение толщины слоя осветленной воды (6). Также после 120 минутного отстаивания в зоне осветления из-за наличия большого количества мелкодисперсной взвеси вода имеет низкую прозрачность и характеризуется низкой способностью к дальнейшему осаждению взвешенных веществ и требует большего времени для дальнейшего осветления.

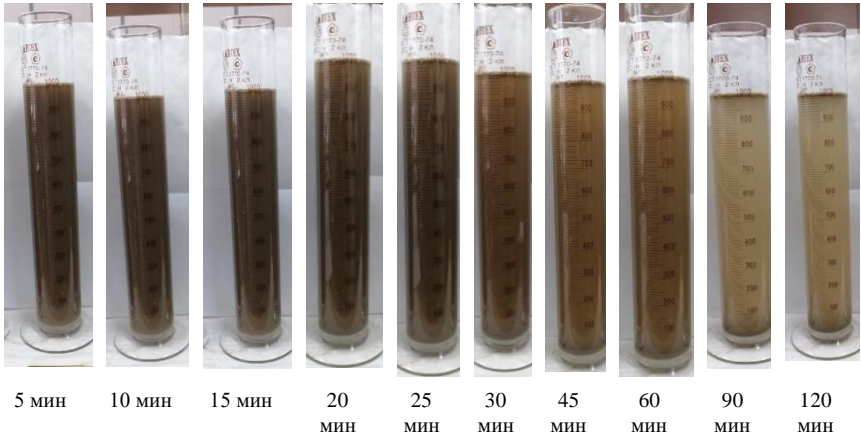


Рисунок 2. Процесс осаждения талого стока (район Б)

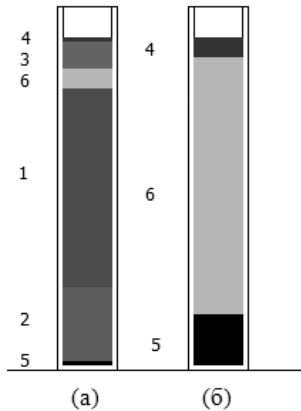
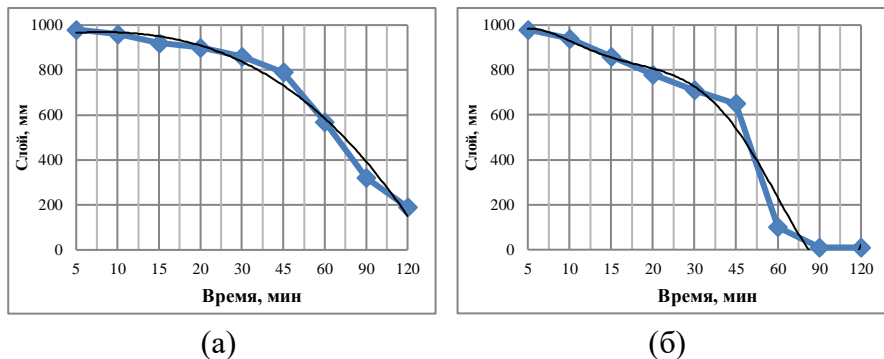


Рисунок 4. Зоны, образующиеся через 25 и 120 мин после начала осаждения

По полученным данным построены седиментационные кривые, которые представлены на рисунке 3. Анализируя полученные кривые, процесс осаждения можно разделить на два периода:

1) от 0 до 45 минут осаждение происходит медленно, имеет место агломерации частиц в среде с высокой полидисперсностью и осаждение укрупнённых фракций.

2) от 45 до 120 мин процесс активизируется, наблюдается интенсивное осаждение агломерирующих частиц в среде близкой к монодисперсной.



**Рисунок 5.** Кривые раздела при осаждении взвешенных веществ поверхностного стока с территории проезжей части улиц города Вологды

## Выводы

Эксперименты по исследованию кинетики отстаивания показывают, что талый поверхностный сток с территории дорожных покрытий районов города Вологды характеризуется низкой концентрацией оседающих веществ. Эффект очистки талого стока от взвешенных веществ после 45 минут отстаивания средневзвешенной пробы с территории А составляет 19% и 33% - с территории Б. Гидравлическая крупность оседающей взвеси в пробах с территории А составляет в среднем 0,85 мм/с, минимальная 0,03 мм/с, максимальная- 3,27 мм/с. С территории Б соответственно: средняя 0,81 мм/с, минимальная 0,0014 мм/с, максимальная- 3,27 мм/с.

Таким образом, эксперименты показали, что талый сток с территорий автомобильных дорог города Вологды характеризуется не высокой эффективностью отстаивания, поэтому целесообразно блок механической очистки компоновать в составе отстойников или осветлителей и фильтровальных сооружений. Целью дальнейших исследований является подбор фильтрующих загрузок и исследование совместной работы механической очистки по кондиционированию талого стока.

## Список литературы

1. Яковлев С.В. Канализация. Учебник для вузов. Изд. 5-е перераб.и доп. Москва,стройиздат,1975.-632с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ ВОДОПОДГОТОВКИ

**И.В. Николенко\***, **Е.Е. Котовская**, **Л.А. Алиев**

Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского», Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181

\*Автор ответственный за переписку: [nikoshi@mail.ru](mailto:nikoshi@mail.ru)

**Аннотация.** В работе рассмотрена возможность утилизации осадков водопроводных очистных сооружений, после соответствующей обработки, в строительной индустрии. Обработанные осадки водопроводных очистных сооружений (ВОС) г. Симферополь могут быть применены для получения керамического щебня, прочностные характеристики которого аналогичны характеристикам щебня некоторых Крымских карьеров и пригодны для применения в строительной индустрии. Осадок ВОС г. Севастополь после обработки может быть использован в качестве добавки при изготовлении строительных смесей.

### Введение

Суммарное суточное количество промывных вод, образующихся в процессе подготовки питьевой воды для систем централизованного водоснабжения на территории Республики Крым составляет  $48\,818,66\text{ м}^3/\text{сут}$ , со средней концентрацией взвешенных веществ в промывной воде  $200\text{ мг/л}$ , тогда суточное количество осадков составит  $9,76\text{ т}$ , что в годовом выражении равно  $3563,8\text{ т/год}$ , и подразумевает потребность в его переработке и последующей утилизации. Обезвоженный и термически обработанный осадок ВОС может быть применен в виде добавок при производстве силикатного кирпича [2-4]. В данной работе рассматривалась возможность применения осадков ВОС для получения щебня, используемого при строительстве дорог (рисунок 1, а); основания под фундаменты (рисунок 1, б); заполнения бетонной смеси (рисунок 1, в) или в качестве наполнителей габионных конструкций (рисунок 1, г), а также в качестве добавки в строительные смеси.

Осадки водопроводных очистных сооружений Республики Крым обладают различными характеристиками, напрямую связанными с качественным составом обрабатываемых вод. В таблице 1 представлен химический состав грязных промывных вод ВОС «Петровские скалы» г. Симферополь.

**Таблица 1.** Химические показатели грязных промывных вод скорых фильтров ВОС «Петровские скалы» г. Симферополь

Наименование показателя	Единицы измерения	Значения
Взвешенные вещества	мг/л	47...820
$\text{NH}_4^+$	мг/л	0,07...0,1

Наименование показателя	Единицы измерения	Значения
NO <sub>2</sub>	мг/л	0,012...0,04
NO <sub>3</sub>	мг/л	1...13
БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /л	1,9...25
ПО	мгО <sub>2</sub> /л	7,6...18,8
Fe <sub>общ</sub>	мг/л	0,08...0,22
Al <sup>3+</sup>	мг/л	0,06...7,12
Цветность	град ПКШ	20...55



а)



б)



в)



г)

**Рисунок 2.** Области применения щебня в строительной индустрии: а) – при строительстве дорог; б) – основание для фундаментов; в) – заполнитель для бетонной смеси; г) – наполнитель габионных конструкций

### Материалы и методы

Выбор оптимального состава сырья для приготовления формовочной смеси выполнен на основе изучения состава и свойств осадка промышленных стоков водоочистных станций. В качестве добавочного материала для получения формовочной смеси принят глинистый сланец. Получения исследуемых образцов осуществили в три этапа:

1 этап - приготовления образцов щебня (рисунок 2, а): для приготовления формовочной смеси фракцией 20...40 в качестве исходного сырья принят обезвоженный осадок промывных вод скорых фильтров ВОС «Петровские скалы» (рисунок 2, б (вес сырого образца составлял 50 грамм). Состав формовочной смеси для приготовления образцов представлен следующим образом: первая группа образцов – 100% осадок промышленных

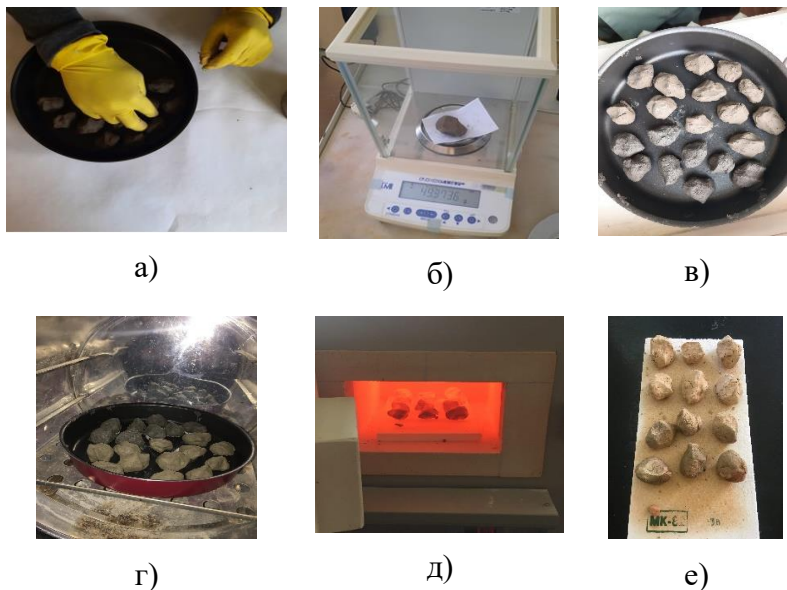


стоков ВОС – образец №1 (более светлый цвет); вторая группа образцов – 50% осадок промышленных стоков ВОС и 50%-заполнитель (глина) – образец №2 – более темный цвет (рисунок 2, в).

2 этап - порядок сушки и термообработки: после перемешивания смеси формовали образцы и подсушивали их при температуре 20...22°C в естественных условиях в течение 5 суток; затем высушивали образцы в сушильном шкафу при температуре 110°C в течении 6 часов (рисунок 2, г).

3 этап - обжиг образцов для получения щебня выполняли в течение 40 мин, в предварительно разогретой до температуры 900°C в муфельной печи (рисунок 2, д).

Готовые образцы (рисунок 2, е) были исследованы в лаборатории строительных материалов института «Академия строительства и архитектуры» КФУ им. В.И. Вернадского (таблица 2).



**Рисунок 2.** Этапы приготовления образцов керамического щебня: а) - формование образцов; б) - взвешивание образцов; в) - подготовленные образцы; г) - образцы в сушильном шкафу; д) – обжиг образцов в муфельной печи; е) - образцы после обжига при температуре 900°C

## Результаты

Пригодность керамического щебня в качестве наполнителя бетонных изделий или стройматериалов при выполнении дорожных строительных работ определяется его прочностью, стойкостью в водной и агрессивной среде, а также экологической безопасностью. Осадки промывных вод водопроводных станций содержат около 70% веществ органического



происхождения. С ростом температуры обжига прочность щебня на сжатие существенно возрастает. Полученные образцы осадка, обожженные при температуре 900°C, соответствуют маркам «300» и «450». Наилучшие показатели прочности и химической стойкости в водных вытяжках образцов керамического щебня, показала формовочная смесь, которая состоит из осадка промстоков водоочистной станции.

**Таблица 2.** Результаты испытаний по определению физико-механических свойств полученных образцов обожженного осадка водопроводных очистных сооружений

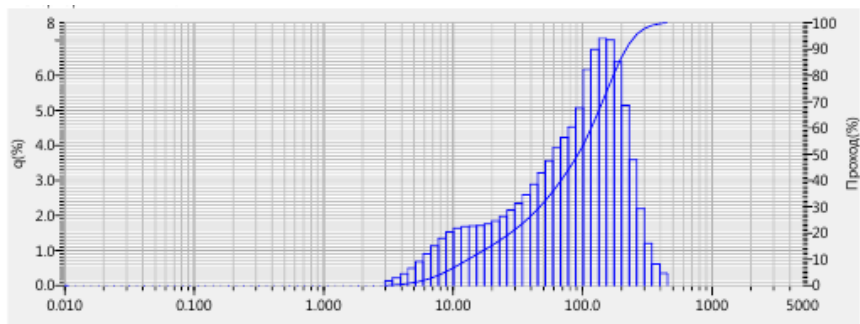
Наименование показателей	№1	№2
Прочность сжатия в цилиндре, кг/см <sup>2</sup>	21,7	10,23
Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	1,65	1,4
Плотность истинная, г/см <sup>3</sup>	2,68	2,71
Водопоглощение по массе, %	31	20,4
Общая пористость, %	38,5	48,3
Марка	450	300

На базе полученного ранее алгоритма и с учетом того фактора, что наилучшие показатели были у образцов состоящих из 100 % осадка, был аналогичным образом исследован осадок водопроводных очистных сооружений г. Севастополь. Результаты исследования показали совершенно иные результаты. После обжига и остывания образцов, исследование их на прочность не представлялось возможным, так как образцы разрушались при небольшом механическом воздействии.

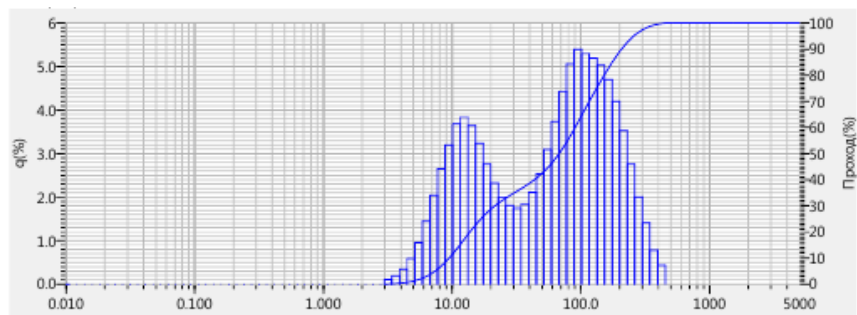
Обожженные образцы осадка ВОС г. Севастополь были измельчены, затем был выполнен их просев на сите, с целью извлечения крупных минеральных частиц. Далее подготовленные образцы были отправлены на анализ в строительную лабораторию, результаты которого представлены на рисунках 4-7. Анализ выполняли после внесения пробы в воду (рисунок 4), а также через 5 и 10 мин экспозиции (рисунок 5-6 соответственно).



Рисунок 3. Образцы обожженного осадка ВОС г. Севастополь: а) – готовые образцы после обжига в муфельной печи б) – процесс сеева измельченного обожженного осадка; в) – подготовленный обожженный осадок для дальнейшего исследования

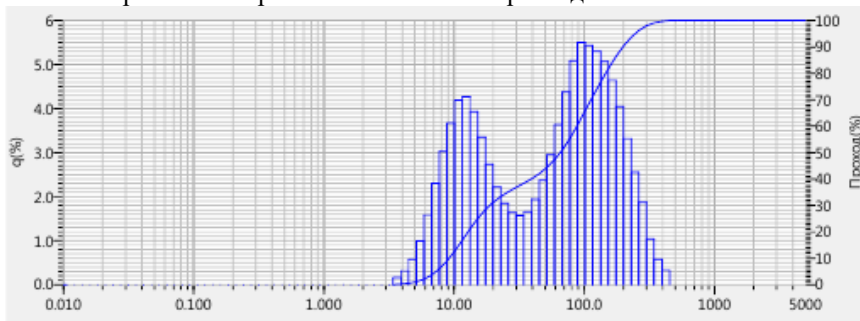


**Рисунок 4.** График дисперсного состава частиц в отобранной пробе обожженного осадка водопроводных очистных сооружений г. Севастополь при времени экспозиции 0 минут



**Рисунок 5.** График дисперсного состава частиц в отобранной пробе обожженного осадка водопроводных очистных сооружений г. Севастополь при времени экспозиции 5 минут

Через 5 мин материал становится более дисперсный, что обусловлено наличием небольшого количества глины, которая склеивает частицы. С течением времени она раскисает и частички распадаются.



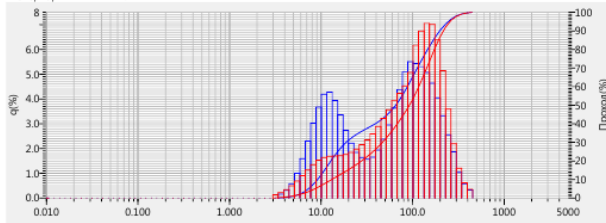
**Рисунок 6.** График дисперсного состава частиц в отобранной пробе обожженного осадка водопроводных очистных сооружений г. Севастополь при времени экспозиции 10 минут

Для наглядности выполнили наложение двух анализов через 0 и 5 минут времени экспозиции (рисунок 7) и наложение графиков через 5 и 10 минут времени экспозиции (рисунок 8).

2022.12.27 15:16:55

### HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-960

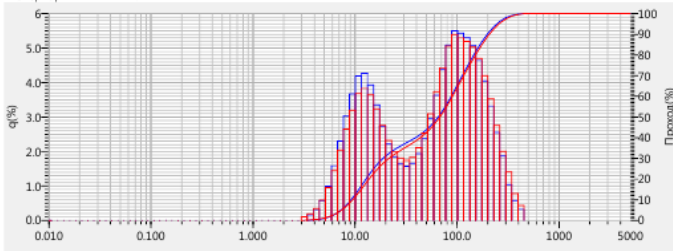
Имя пробы	: water	Медианный Размер	: 65.33815(мкм)
ID	: 202212271510352	Средний размер	: 84.73533(мкм)
Имя данных	: 202212271510352	Стд. Откл.	: 80.1326(мкм)
Пропускание (LD)	: 85.4 (%)	Средний геом. размер	: 48.1336(мкм)
Пропускание (LED)	: 83.4 (%)	Геом. стандартное отклонение	: 3.2486(мкм)
Скорость циркуляции	: 7	Тип диаметра	: 95.2093(мкм)
Скорость перемешивания	: 9	Интервал	: Выкл.
Ультразвук	: 01:10 (6)	Диаметр по интегральному %	: (15.000 (%) - 7.2891(мкм)
Форма распределения	: Ручной		: (210.000 (%) - 9.1661(мкм)
База распределения	: Объем		: (5150.000 (%) - 65.3382(мкм)
Коэф. преломления (LD)	: известь		: (9190.000 (%) - 197.7927(мкм)
	[известь( 1.570 - 0.0000)\water( 1.3333)]		: (10199.000 (%) - 339.5806(мкм)
Коэф. преломления (LED)	: известь		
	[известь( 1.570 - 0.0000)\water( 1.3333)]		
Материал	:		
Источник	:		
Номер партии	:		



**Рисунок 7.** График дисперсного состава частиц в отобранной пробе обожженного осадка водопроводных очистных сооружений г. Севастополь с наложением при наложении графиков с экспозицией 0+5 минут

### HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-960

Имя пробы	: water	Медианный Размер	: 65.33815(мкм)
ID	: 202212271510352	Средний размер	: 84.73533(мкм)
Имя данных	: 202212271510352	Стд. Откл.	: 80.1326(мкм)
Пропускание (LD)	: 85.4 (%)	Средний геом. размер	: 48.1336(мкм)
Пропускание (LED)	: 83.4 (%)	Геом. стандартное отклонение	: 3.2486(мкм)
Скорость циркуляции	: 7	Тип диаметра	: 95.2093(мкм)
Скорость перемешивания	: 9	Интервал	: Выкл.
Ультразвук	: 01:10 (6)	Диаметр по интегральному %	: (15.000 (%) - 7.2891(мкм)
Форма распределения	: Ручной		: (210.000 (%) - 9.1661(мкм)
База распределения	: Объем		: (5150.000 (%) - 65.3382(мкм)
Коэф. преломления (LD)	: известь		: (9190.000 (%) - 197.7927(мкм)
	[известь( 1.570 - 0.0000)\water( 1.3333)]		: (10199.000 (%) - 339.5806(мкм)
Коэф. преломления (LED)	: известь		
	[известь( 1.570 - 0.0000)\water( 1.3333)]		
Материал	:		
Источник	:		
Номер партии	:		



**Рисунок 8.** Наложение графиков при времени экспозиции 5+10 минут

## Заключение

Настоящим исследованием был смоделирован процесс термической обработки осадков водопроводных очистных сооружений различного состава, характеризующихся различными исходными качественными показателями источников централизованного водоснабжения (ИЦВ), на которых они работают, а также контакта с подстилающей поверхностью ИЦВ.

Технологический цикл термической обработки включал в себя следующие операции: - формирование образцов определенной формы и массы, - сушка в течении 5 суток в естественных условиях при температуре 20-22 °С, сушка в сушильном шкафу при температуре 110 °С в течении 6 часов; спекание в муфельной печи в течении 40 минут при температуре 900 °С.

Обработанные образцы отправлялись в строительную лабораторию для дальнейшего исследования. Образцы с составом 100% осадок Симферопольских ВОС показали результаты, позволяющие их применять в строительной индустрии в качестве заполнителей бетонных смесей, наполнителей габионных конструкций. Образцы с составом 100% осадка Севастопольских очистных сооружений показали характеристики, позволяющие их применение в качестве присадок для строительных смесей.

## Список литературы

1. Николенко, И.В. Анализ возможности внедрения системы непрерывной промывки на водопроводных очистных сооружениях Республики Крым [Текст] / И.В. Николенко, Е.Е. Котовская, Э.Э. Фетляев // Строительство и техногенная безопасность. — Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского – 2018. – № 51. – С. 143-156.
2. Гироль Н.Н. Экономичные технологии обезвреживания производственных отходов городских водоочистных станций / Н.Н. Гироль, С.Д. Бойчук, В.А. Мякишев, А.М. Копачевский, Е.Е. Котовская // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2005. — Вып. 11. — С. 187—192.
3. Гироль Н.Н. Методы обезвреживания производственных отходов водопроводных очистных сооружений / Н.Н. Гироль, С.Д. Бойчук, Е.Е. Котовская // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2005. — Вып. 12. — С. 183—186.
4. Бойчук С.Д. Разработка технологии производства керамического гравия из осадков промстоков водоочистной станции для их утилизации / С.Д. Бойчук, В.А. Мякишев, А.В. Пастушенко, Е.Е. Котовская, Н.Н. Гироль // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь: НАПКС, 2006. — Вып. 15—16. — С. 143—147.

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА И ПОСТРОЕНИЕ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЙ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ПЕРЕГОРОДОК

И.В. Николенко<sup>1</sup>, С.И. Мовчан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
Адрес: 295493 РК г. Симферополь, ул. Киевская, 181

<sup>2</sup>Мелитопольский государственный университет имени А.С. Макаренко  
Адрес: Запорожская область, г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницкого, 18

\*Автор ответственный за переписку: movchantsaa@rambler.ru

**Аннотация.** По результатам эксплуатации водоочистного оборудования, обоснована форма внутренней поверхности отверстий фильтровальной перегородки, обеспечивающая оптимальные условия фильтрации сточных вод аппаратах напорной флотационно-коагуляции, за счёт обоснования выбора, методики расчёта формы и размеров фильтровальных отверстий, моделирования построения внутренней поверхности фильтровальных отверстий в вертикальной перегородки и алгоритма расчёта пропускной формы фильтровальных отверстий вертикальной перегородки. Процесс фильтрации сточных вод в аппаратах напорной фильтрации-коагуляции, за счёт использования фильтровальных отверстий, построенных для четырёх плоскостей (по четырём точкам), имеющих оптимальную форму вертикально расположенных отверстий, наиболее близкую к оптимальным условиям движения обрабатываемых сточных вод. Основой движения жидкостей и частиц для изучения фильтровального процесса, используются общеизвестные законы сохранения массы и количества движения, уравнений неразрывности потока траектории движения частиц в потоке жидкости, полученные при этом результаты используются при проектировании фильтровальных перегородок, габаритных (геометрических) размеров, количества отверстий и их расположения (координаты), используемых в фильтровальных перегородках, в том числе и комбинированного типа, аппаратов локальной очистки сточных вод в системах оборотного водоснабжения.

### Введение

Требование к чистоте жидких рабочих сред, а именно водных ресурсов, производственных и сточных вод промышленного производства и т.п., обусловлено рядом факторов, главными из которых являются:

- требование к чистоте жидкой рабочей среды, устанавливаемые техническими регламентами, условиями эксплуатации, заказчиками и стандартными, распространяемыми на различные отрасли промышленного производства: химическая, пищевая, целлюлозно-бумажная и др.;

- наличием средств и методов реализации высокого, достаточно высокого, среднего и технически допустимого уровня чистоты сточных вод, используемых в промышленном производстве;

- стоимость, рентабельность и эффективность эксплуатации водоочистного оборудования;
- длительность эксплуатации, продолжительность рабочего цикла фильтров, фильтровальных перегородок и др.

Из всего наведенного, необходимо выделить основные показатели для фильтровальных перегородок, используемых в локальных аппаратах напорной флотации-коагуляции.

Процесс фильтрования известный способ очистки сточных вод, основывается на отделении механических примесей, взвешенных веществ и аналогичных загрязнений, который применяется в технологии водоподготовки и водоочистки, в том числе промышленных сточных вод [1]. Фильтрование – преднамеренный осуществляемый процесс фильтрации для разделения жидких гетерогенных сред [1, 2].

Одним из способов фильтрования таких рабочих сред является ее прохождение через поры пористой перегородки. Для такого способа фильтрования рассматриваются три вида пористых перегородок, имеющих три вида пор: сквозные поры, внутренние поры и слепые поры [2]. В случае, когда отверстия коноидальной формы, то значение их коэффициента сопротивления на выходе, принимается по табличным данным [3]. Возникающие сопротивления, согласно условию истечения жидкости через местные сопротивления, классифицируются плавный вход в трубу–схема узла сопротивления, значение коэффициента сопротивления  $\xi$  находится в пределах  $\xi = 0,1-0,2$  [4]. Наиболее близким, по технологии прохождения фильтровального раствора, является движение жидкости через кольцевую щель [5].

### **Материалы и методы**

Применение процесса фильтрования при очистке сточных вод гальванического производства является обязательным условием эффективной обработки сточных вод и входит в технологические операции, не только позволяющие повысить продуктивность водоочистного оборудования, но и обеспечить очистку сточных вод, в том числе от загрязнений характерные гальваническому производству: механические примеси, взвешенные вещества и т.п. Непосредственно отделить фракции содержащие ионы тяжёлых металлов, возможно только накапливающиеся в жидких отходах, когда технологией предусматривается их последующая утилизация.

Методика исследований основывается на изучения движения жидкостей и частиц, находящихся в жидкостях, используя общеизвестные законы сохранения массы и количества движения, полученные при этом результаты используются при конструировании фильтровальных перегородок, габаритных (геометрических) размеров, количества отверстий и их расположения (координаты), используемых в фильтровальных

перегородках, в том числе и комбинированного типа, аппаратов локальной очистки сточных вод в системах оборотного водоснабжения [6].

Математическая модель основывается на предположениях и упрощениях, не вносящих существенных погрешностей при выполнении математических расчетов. Основой математического моделирования являются следующие аналитические зависимости: уравнение переноса количества движения и закона сохранения масса и энергии веществ, уравнение неразрывности потока и уравнение переноса количества движения.

Общий вид материального (1) и энергетического (2) балансов может быть использован либо для процесса в целом, либо для любой его стадии. Также, по необходимости условия расчета, является соблюдение условий материального (1) и энергетического (2) балансов для всего аппарата или его отдельной части [7]

Рассматривая истечение жидкостей из отверстий и насадков [8] авторы рассматривают форму конического расходящегося насадка, отмечая, что при истечении жидкости через расходящиеся насадки образуется в области сжатия струи при выходе в насадок значительное разрежение, почти вдвое большего, чем в цилиндрических насадках [8].

Наиболее эффективно работает внутренний цилиндрический насадок, или насадок Борда, рассматриваемый в работе [9]. В представленной схеме, рассматривается два режима истечения: первый и второй, аналогичные режимам истечения через внешние цилиндрические насадки. Так как частицы жидкости приближаются к входному отверстию насадка из всего прилежащего объёма, а некоторые их, попадающие на периферию струи, изменяют направление своего движения на  $180^{\circ}$ , то степень сжатия струи в данном насадке больше, а коэффициент  $\mathcal{E}$  меньше, чем во внешнем цилиндрическом насадке.

Насадок Бордо часто применяют для опорожнения емкостей, в которых находится жидкость со взвесями, выпадающими в осадок. Через насадок (отверстие) вытекает чистая жидкость, а слой жидкости с осадком толщиной  $l_n$  выпускают через отверстие в дне сосуда [10].

Практический опыт показывает, что наличие различных загрязнений в технологии водоочистки, даже в незначительных количествах, существенным образом сказывается на эксплуатационных показателях, увеличивает сам процесс обработки, очистки сточных вод, снижает мощность, увеличивает расход электрической энергии, реагентов, что непосредственно влияет на экономические показатели систем оборотного водоснабжения.

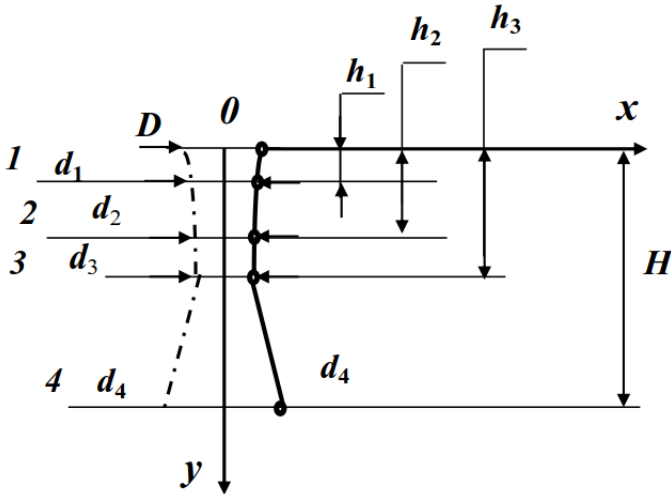
Основной задачей является выбор и построения формы и размеров фильтровальных отверстий, расположенных в вертикально расположенной перегородки.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить моделирование построения внутренней поверхности фильтровальных отверстий в вертикальные перегородки [11].

### Результаты

1. Моделирование построения внутренней поверхности фильтровальных отверстий в вертикальные перегородки

1.1. Составим расчётную схему построения внутренней поверхности фильтровального отверстия на пять плоскостей (пять точек), приближающейся к форме коноидального отверстия представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Расчётная схема построения внутренней поверхности фильтровального отверстия на пять плоскостей (пять точек), приближающейся к форме конноидального отверстия

1.2. Согласно, составленной схеме (рисунок 1), получим координаты каждой вертикальной плоскости

$$1. \ 0(x_0, y_0) = \left( \frac{D}{2}; 0 \right) \quad (1)$$

$$2. \ 1(x_1, y_1) = \left( \frac{d_1}{2}; h_1 \right) \quad (2)$$

$$3. \ 2(x_2, y_2) = \left( \frac{d_2}{2}; h_2 \right) \quad (3)$$



$$3. 3(x_3, y_3) = \left( \frac{d_3}{2}; h_3 \right) \quad (4)$$

$$4. 4(x_4, y_4) = \left( \frac{d_4}{2}; h_4 \right) \quad (5)$$

1.3. Обозначим составные участки образующей линии, соответствующей форме внутреннего отверстия фильтровальной перегородки

1.3.1. Участок [3, 4] – это отрезок прямой линии, определяемой уравнением:

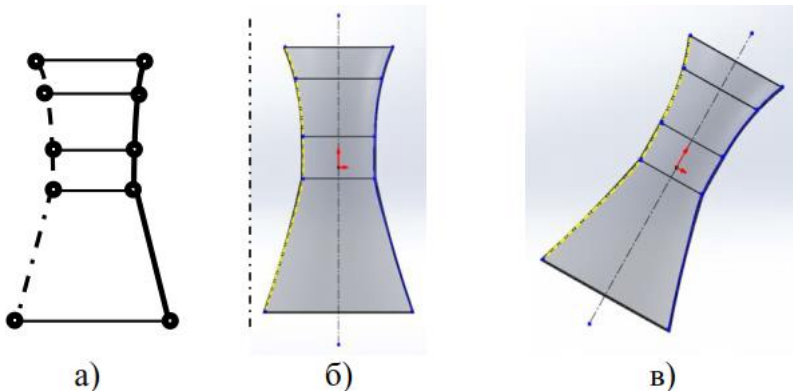
$$\frac{y - y_3}{y_4 - y_3} = \frac{x - x_3}{x_4 - x_3}. \quad (6)$$

1.3.2. Участок [0, 1, 2, 3] – это часть параболы, определяемой следующим уравнением:

$$A \cdot x^2 + B \cdot x \cdot y + C \cdot x + D \cdot y + 1 = 0. \quad (7)$$

Для определения коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  не необходимо вместо переменных  $(x, y)$  поочередно подставить  $(x_0, y_0)$ ,  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$  решить систему из 4-х уравнений.

Моделирование формы внутренней поверхности фильтровального отверстия: представлено на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Моделирование формы внутренней поверхности фильтровального отверстия: а – выполненной по одной поверхности для пяти точек; б - выполненной по двум сторонам для пяти точек (вертикальное расположение); в - выполненной в пяти плоскостях для пяти точек (повёрнуто на  $45^\circ$ ).

Представленный подход по моделированию формы внутренней поверхности отверстий можно использовать при проектировании

перфорированных сборных и раздаточных трубопроводов для систем водоснабжения и водоотведения.

### Заключение

Практическое использование фильтровальных перегородок, имеющих различные формы вертикально расположенных отверстий, разной формы, а также проведенные исследования, позволяют сделать следующие выводы.

1. Для процесса фильтрации, как одного из этапов обработки промышленных сточных вод, предложено усовершенствовать форму отверстий фильтровальной перегородки, позволяющую снизить на ней потери напора и более эффективно проводить этот технологический процесс.

2. Путём решения уравнений для четырёх плоскостей и участков, образующих внутреннюю поверхность отверстия фильтровальной перегородки, составляющем на участках [0, 1, 2, 3] часть параболы, определяемому уравнением

$$A \cdot x^2 + B \cdot x \cdot y + C \cdot x + D \cdot y + 1 = 0.$$

3. Полученное уравнение внутренней поверхности отверстий фильтровальной перегородки позволяет снизить на ней потери напора повысить энергетическую эффективность процесса фильтрации на 10...15 %.

### Список литературы

1. Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. - М.: Химия, 1971. – 441 с.
2. Коновалов В.М., Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков / В.М. Коновалов, В.Я. Скрицкий, В.А. Рокшевский. - М: Машиностроение, 1976. – 288 с.
3. Примеры расчётов по гидравлике. Учеб. пособие для вузов. Под ред. А.Д.Альтшуля / А.Д. Альтшуль, В.И. Калицун, Ф.Г. Майрановский, П.П. Пальгунов. – М.: Стройиздат, 1976. – 255 с.
4. Карасёв Б.В. Насосы и насосные станции: [Учебн. пособие для вузов] / Б.В.Карасёв. – Мн.: Высш. школа, 1979. – 288 с.
5. Дидур В.А., Грачёва Л.И., Радул Н.Н., Орел А.Н. Гидроаэромеханика и её использование в энергетике АПК. Учебное пособие для сельскохозяйственных вузов. / В.А. Дидур, Л.И. Грачёва, Н.Н. Радул, А.Н. Орел. – М.: МГАУ, 2008. – 395 с.
6. Мовчан С.И. Исследование процесса массопереноса в аппаратах электрофлоккоагуляционной обработки сточных вод / С.И. Мовчан, Н.Д. Сизова, С.М. Эпоян // Науковий вісник будівництва. – Харків ХНУБА ХОТВ АБУ, – Том. 87. №1, 2017. – С. 178-184.
7. Артамонов В.В. Процеси і апарати технології водоочистки: Навч. посібник/ В.В. Артамонов, Т.В. Вижевська. – Рівне: РДТУ, 1999. – 127 с.
8. Холин К.М., Никитин О.Ф. Основы гидравлики и объёмные гидроприводы: Учебник для учащихся средних спец. учеб. заведений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.

9. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

10. Часовский В.П., Лангазов В.Н. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы сельскохозяйственной техники: Специальный курс: Учебное пособие для сельскохозяйственных вузов. – Луганск: Знание, 2003. – 336 с.

11. Зависимость коэффициентов истечения капельных жидкостей из малых отверстий в тонкой стенке / С.И. Мовчан // Техничко-технологическое обеспечение инноваций в агропромышленном комплексе: Материалы I Межд. науч.-практ. конф. молодых ученых (Мелитополь, 27-28 февраля 2023 г.) / МГУ: ред. кол. О. А. Еременко, С. А. Нестеренко, Н. И. Болтянская [и др.]. - Мелитополь: МГУ, 2023. - С. 334-336.

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ДУРНОПАХНУЩИМИ ГАЗАМИ В ПОДСВОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ САМОТЕЧНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**В.А. Орлов, О.В. Мельник\***

НИУ МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

\*Автор ответственный за переписку: [lissa6868@mail.ru](mailto:lissa6868@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены строительные мероприятия, направленные на нейтрализацию несанкционированных выбросов дурнопахнущих газов в атмосферу городов. Авторами разработан алгоритм поиска оптимальной величины воздухообмена путем перебора его значений из массива стандартных величин, соответствующих производительности вентиляционных агрегатов при помощи автоматизированной программы.

### **Введение**

В подсводном пространстве канализационных сетей скапливаются дурнопахнущие газы, такие как сероводород, аммиак, меркаптаны. Выбросы газов из подсводного пространства канализационных сетей в зоне населенных мест снижают качество воздушной среды, вызывая жалобы населения. В случаях превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) они создают реальную угрозу здоровью населения, становятся причиной отравления (в том числе с летальным исходом) рабочих, обслуживающих данные системы, являются причиной разрушения трубопроводов.

К методам нейтрализации дурнопахнущих выбросов относятся термические, биологические, физико-химические, каталитические, мембранные, электрофизические, фотохимические, комбинированные, эксплуатационные, строительные и другие [1,2,3]. Строительные мероприятия направлены на торможение процессов образования

дурнопахнущих веществ в жидкой фазе путем поддержания аэробных условий в канализационных сетях.

В нашей работе можно выделить три аспекта:

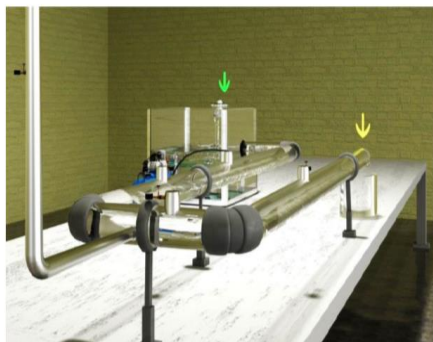
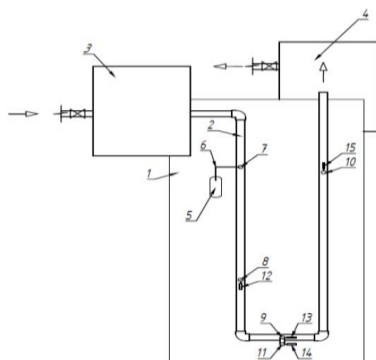
-моделирование работы самотечной сети в лабораторных условиях в целях выявления эффективности работы колодцев и канализационных стояков;

-совершенствование проектирования водоотводящих трубопроводов при наличии в подсводном пространстве ДПВ путем разработки и использования автоматизированной программы;

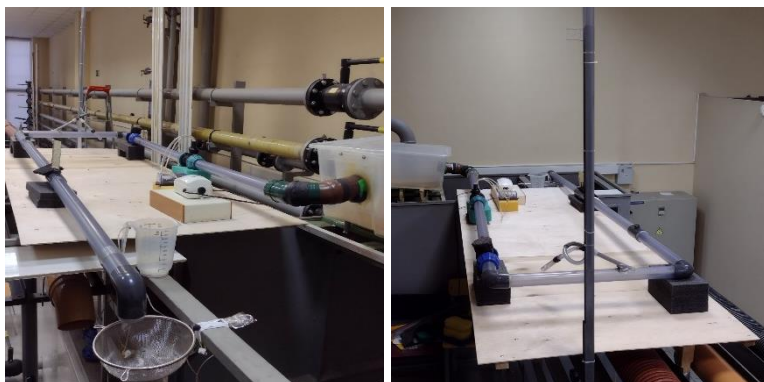
-оптимизация проведения ремонтно-восстановительных работ на трубопроводах, в подсводном пространстве которых наблюдается наличие ДПВ, с выбором их варианта из числа альтернативных на основе сметных расчетов, опираясь на применение бестраншейных технологий.

### Материалы и методы

В отношении первого аспекта, т.е. моделирования работы самотечной сети были проведены комплексные исследования в лабораторных условиях на специально разработанном и смонтированном гидравлическом стенде [5], эскизы которого представлены на рисунке 1, а фотографии на рисунке 2.



**Рисунок 1.** Схема лабораторного стенда по исследованию водно-воздушного режима работы самотечного трубопровода (слева) и эскиз модели в аксонометрии (справа): 1-столешница, 2- прозрачный самотечный трубопровод диаметром 0,05 м, 3, 4- накопительная и приемная емкости, 5- компрессор, 6- воздуховод, 7- имитатор люка смотрового колодца, 8-10 – имитаторы технологических лазов, 11- имитатор стояка, 12-15 - стационарные анемометры.



**Рисунок 2.** Фото экспериментального стенда со стороны излива воды из трубопровода в приемную емкость (слева) и со стороны имитата стояка (справа).

В состав испытательного стенда входят неподвижная платформа (1) с прозрачным самотечным трубопроводом (2), жестко соединенным с накопительной емкостью (3) через резиновый гофрированный патрубок.

На стенде расположена приемная емкость (4), компрессор (5), соединенный воздуховодом (6) с имитатором люка смотрового колодца (7). Имеются три имитатора лазов в трубопроводе, соответственно (8), (9) и (10), и имитатор канализационного стояка (11).

В состав устройства входят также анемометры, соответственно (12), (13), (14) и (15). Подвод жидкости к накопительной емкости (3) производится от водопроводной сети, а опорожнение осуществляется в систему водоотведения с параллельным замером расхода воды в приемной емкости (4).

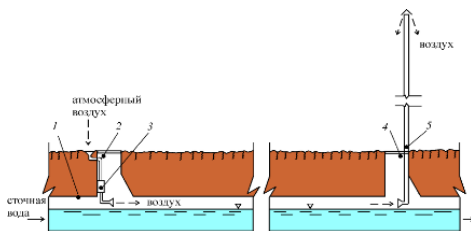
При движении потока жидкости в подсводное пространство самотечного трубопровода нагнетают воздух из компрессора с различной интенсивностью. При этом посредством анемометров фиксируют скорости (расходы) воздуха в трех точках на трубопроводе и в верхней части стояка.

Цель комплексных экспериментов на стенде состояла в выявлении и интерпретации закономерностей изменения гидравлических и аэродинамических характеристик для нескольких режимов при наличии воды в самотечном трубопроводе, причем стоячей и движущейся в нем при различных наполнениях  $h/d$  (в диапазоне 0,15-0,5) и разными уклонами (в интервале 0,0-0,04).

В конечном итоге определялся объем воздуха в имитатах колодца и стояка, выраженного в процентах по отношению к исходному значению в месте введения его в подсводное пространство трубопровода.

В качестве второго аспекта работы авторами в составе творческого коллектива была разработана и запатентована программа для ЭВМ [6], позволяющая пользователю анализировать решения по нейтрализации

дурнопахнущих газов путем организации воздухообмена в канализационной сети.



**Рисунок 3.** Общий вид расчетного участка (физической модели) безнапорной водоотводящей сети с иллюстрацией водно-воздушного режима его работы: 1- самотечный трубопровод, проложенный с соответствующим уклоном; 2- начальный канализационный колодец; 3- автономный вентиляционный агрегат с диффузором в сторону течения воды; 4- конечный канализационный колодец; 5- вентиляционный стояк

При этом конструктивными особенностями рассматриваемой в программе физической модели безнапорной водоотводящей сети (рисунок 3) являлось то, что искусственная подача воздуха в подводящее пространство осуществлялась в начале расчетного участка сети, а выпуск в атмосферу через колодец и/или стояк осуществлялся путем использования струенаправляющих перегородок в колодце в конце расчетного участка.

Возможности автоматизированной программы проиллюстрированы ниже при рассмотрении третьего аспекта исследований.

В задачи третьего аспекта исследований входили вопросы повышения эффективности проектирования в части разработки рекомендаций по выбору метода ремонта самотечного трубопровода, где в подводящем пространстве присутствуют ДПВ.

Суть решаемой задачи сводилась к эксплуатации автоматизированной системы проектирования, последующий анализ результатов расчета по которой сводился к выявлению:

- варианта эффективной эксплуатации, при которой возможна нейтрализация выделяющихся дурнопахнущих и вредных для здоровья людей газов (сероводород, аммиак, меркаптаны и т.д.) до значений ПДК в атмосфере городов, а также удаление влаги, которая негативно воздействует на материалы стенок трубопроводов;

- оптимального метода строительства (реконструкции) самотечных водоотводящих трубопроводов на базе проведения сметных расчетов. Сметные расчеты по реконструкции участка трубопровода определялись с использованием профессиональной автоматизированной программы «Стройинформресурс» с учетом текущих цен и индексов пересчета норм НР и СП на июнь 2022 года.

## Результаты

При решении базового вопроса о возможности реконструкции трубопроводов, имеющих дефекты различного характера и не отвечающих экологическим требованиям в плане наличия в их подсводном пространстве ДВП, в целях экономии денежных средств и материальных ресурсов было принято решение о необходимости рассмотрения альтернативных технологий реконструкции участка трубопровода с ориентацией на проведение:

- экономических (сметных) расчетов для различных вариантов реконструкции;

- анализа по поиску оптимальных гидравлических и аэродинамических показателей работы исследуемой трубопроводной системы, включая параметры вентиляционных агрегатов.

В работе рассмотрены две задачи, связанные с эксплуатацией ветхих трубопроводов и их ремонтом альтернативными методами, включая мероприятия по удалению ДВП:

1. Восстановление пропускной способности керамического трубопровода диаметром 200 мм, длиной 300 м и уклоном 0,005. Дефекты: наличие незначительных смещений труб в пределах стыков по вертикали до 2 % от диаметра по всей длине участка трубопровода. Зафиксирован выход ДВП из подсводного пространства через колодцы в атмосферу в результате прохождения активных анаэробных процессов. Грунтовая вода находится на глубине 2,5 м до лотка, а расстояние до шельги от поверхности земли составляет 5 м.

2. Восстановление хризотилцементного трубопровода диаметром 400 мм, длиной 300 м и уклоном 0,0025. Дефекты: расхождения труб в муфтах, что приводит к значительным утечкам. Зафиксирован выход ДВП из колодцев. Грунтовая вода находится на глубине 2,5 м от свода, а свод залегает на глубине 5 м от поверхности земли.

В качестве альтернативных технологий реновации для первой задачи рассмотрены следующие решения:

- протягивание в трубопровод и закрепление в нём тонкостенных полимерных рукавов;

- полная замена старого трубопровода на новый из того же материала.

В качестве альтернативных бестраншейных технологий реновации трубопроводов второй задачи рассмотрены три следующие решения:

- нанесение внутреннего набрызгиваемого покрытия Scotchkote;

- нанесение внутреннего сплошного защитного покрытия протаскиванием предварительно сжатой (деформированной U-образного профиля) полиэтиленовой трубы наружным диаметром 355 мм SDR 26 плетью, сматываемой с бобины;

-нанесение сплошного защитного покрытия протаскиванием предварительно сжатой термомеханическим способом (Свейдж Лайнинг) полиэтиленовых труб наружным диаметром

В комплекс рассматриваемых на предмет составления сметы ремонтно-строительных работ по задачам 1 и 2 на участках трубопровода входила оценка стоимостных параметров подготовительных, основных и завершающих строительно-технологических операций, как-то: механическая очистка внутренней поверхности водоотводящего трубопровода, организация водопонижения при уровне грунтовых вод над трубопроводом, телевизионное инспекционное обследования трубопровода после операции восстановления и т.д.

**Таблица 1.** Стоимость ремонтных работ по реконструкции трубопровода альтернативными методами

Технология ремонта	Сметная стоимость, руб.
<b>Задача 1.</b>	
Полная замена старого трубопровода на новый из того же материала	4 555 290,589
Протягивание в трубопровод м закрепление в нем тонкостенных полимерных рукавов	5 554 804,992
<b>Задача 2.</b>	
Нанесение сплошного покрытия протаскиванием предварительно сжатой (деформированной U-образного профиля) полиэтиленовой трубы наружным диаметром 355 мм SDR 26 плетью, сматываемой с бобины	3 992 912,352
Нанесение набрызгиваемых покрытий Scotchkote	3 747 445,824
Нанесение сплошного покрытия протаскиванием предварительно сжатой термомеханическим способом (Свейдж Лайнинг) полиэтиленовых труб диаметром 450 мм (SDR 17)	5 084 949,55

В свою очередь в задачи эксплуатации автоматизированного комплекса для обеих задач входило исследование динамики изменения продолжительности выноса из подсводного пространства трубопровода дурнопахнущих газов до их значений ниже ПДК в атмосфере городов как до проведения работ по реконструкции, так и после их проведения.

В качестве результатов работы автоматизированной программы анализу подлежали выборочные наиболее характерные расчетные параметры из общего их числа, представленных 34-мя позициями, такие как продолжительность удаления газообразных веществ из подсводного пространства трубопровода при принятом воздухообмене в условиях стоячей воды и с учетом увлечения его течением воды и т.д (рисунок 4).



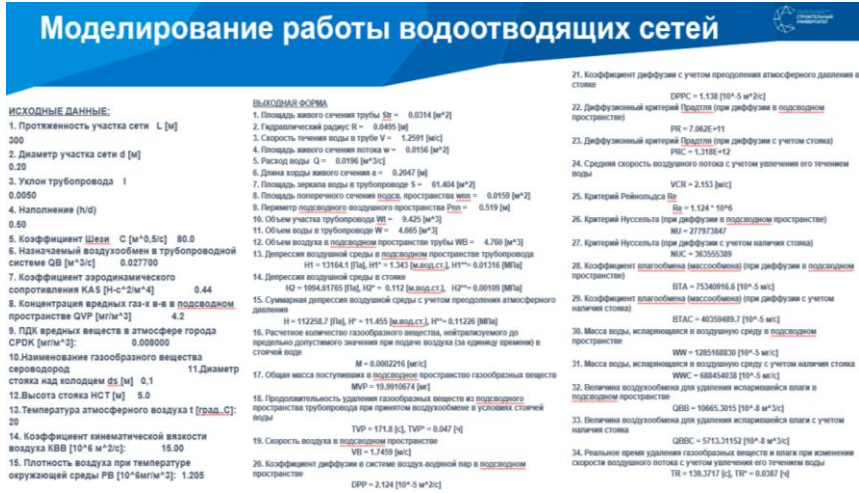


Рисунок 4. Расчетные данные для задачи 1.

В результате анализа было выявлено, что время выноса ДВП, как таковое, не имеет принципиального значения, так как снижение каждого из компонентов ДВП до ПДК в атмосферном воздухе может быть достигнуто при любом (реальном) значении времени. Тогда, в этом случае напрашивается следующий вывод: в целях потенциального уменьшения стоимости и эксплуатации вентиляционного агрегата экономичным решением может явиться уменьшение значения воздухообмена, соответствующего производительностям вентиляционных агрегатов.

### Заключение

В ходе выполнения исследований по поиску строительных методов борьбы с ДПВ разработан подход принятия решения по:

- проведению сметных расчетов по применению альтернативных технологий ремонта старых трубопроводов с помощью бестраншейных технологий;

- автоматизированному проектированию в случае наличия в подводящем пространстве участков трубопроводов ДПВ, заключающемся в учете габаритов самотечной трубопроводной системы (диаметр, протяженность, материал изготовления и т.д.), сведений о концентрации ДВП (конкретно по каждому вредному и агрессивному газу) в подводящем пространстве и их ПДК в атмосфере города.

По результатам эксплуатации автоматизированной программы исследования водно-воздушного режима работы самотечной водоотводящей сети разработан алгоритм поиска оптимальной величины воздухообмена путем перебора его значений из массива стандартных величин, соответствующих производительности вентиляционных агрегатов.

## Список литературы

1. Васильев В.М., Малков А.В. Места образования агрессивных газов в канализационной сети // Журнал Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – №1. – С. 66-74.
2. Федоров С.В., Васильев В.М., Телятникова А.М. Разработка принципиальной модели канализационной сети // Журнал Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 2(67). – С. 168-174.
3. Романов Н.Р. Низкая надёжность, отказы и реконструкция инженерных сетей // Integral. – 2020.– №3. – С. 54–58.
4. Joyce, James. Implementing Vapor Phase Odor Control on Large Diameter Interceptor Systems / J. Joyce, Ch. Hunniford, A. Plummer // Biosolids and Odor and Corrosion, Conference & Expo. 2013. Pp. 1-31.
5. Орлов В.А., Мельник О.В., Подолян Д.В. Лабораторно-исследовательский стенд водно-воздушного режима работы самотечной системы водоотведения. Патент РФ на полезную модель № 211835 от 27.06.2022.
6. Орлов В.А., Зоткин С.П., Сторожев А.П., Герасимов В.А., Мельник О.В. Моделирование водно-воздушного режима работы безнапорных водоотводящих сетей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614973. 2020.
7. Захаров Ю.С. Восстановление водоотводящих сетей полимерными рукавами // Ю.С. Захаров, В.А. Орлов.- М.: РУСАЙНС, 2017. 108 с.
8. Васильев В.М., Морозов Г.В., Жуков С.В. Выбор методов реконструкции самотечных канализационных сетей // Журнал Водоснабжение и санитарная техника. 2019, № 12, с. 35-41
9. Орлов В.А. Бестраншейные технологии: Учебное пособие // В.А. Орлов, И.С. Хантаев, Е.В. Орлов. М.: Издательство АСВ, 2016. 224 с.
10. Wells T., Melchers R.E. Modelling concrete deterioration in sewers using theory and field observations // Cement and Concrete Research. 2015. № 77. p. 82-96.

## ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВОДОИСТОЧНИКА СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ВОЛОГДЫ

**И.В. Осетрова**

ФГБОУ ВО Вологодский государственный университет, г. Вологда

**Аннотация.** В данной статье представлено обоснование необходимости управления качеством водоисточника системы централизованного водоснабжения города Вологды. Для этого выполнен анализ хозяйственного использования водосбора и гидрохимического режима водоисточника. Решаемая проблема зависит от гидрометеорологических особенностей региона и водоисточника.

### Введение

Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска причин неприятного запаха воды и роли хозяйственной деятельности на

водосборе поверхностного водоисточника в формировании показателей качества исходной воды для системы централизованного водоснабжения. Объектом исследования является поверхностный водоисточник города Вологды (р. Вологда), который в периоды интенсивного поверхностного стока с территории водосбора подвергается антропогенным воздействиям: запахи появляются в периоды весеннего половодья, осенних паводков, а в 2020-2022 годах и в период зимних оттепелей [1]. При этом химический состав питьевой воды соответствует нормативам.

Иными словами, необходимо решить актуальную для города проблему несоответствия барьерных возможностей сооружений водоподготовки и качества исходной воды в определенные периоды, которые связаны с хозяйственной деятельностью на водосборе и гидрометеорологическими особенностями региона. Мероприятия по улучшению качества питьевой воды на территории области реализуются в рамках подпрограммы «Вода Вологодчины», а также федерального проекта «Чистая вода» (2019-2024 годы) [2].

Целью данного исследования является обоснование необходимости управления качеством поверхностного водоисточника системы централизованного водоснабжения города Вологды.

Задачи исследования:

Оценить роль хозяйственной деятельности на водосборе в формировании гидрохимического режима поверхностного водоисточника.

Выполнить сравнительный анализ многолетних временных рядов гидрохимических и гидрологических характеристик и провести численные эксперименты по оценке эффективности водоподготовки в условиях изменчивости гидрохимического режима.

Сформулировать выводы и рекомендации по необходимости управления качеством водоисточника системы централизованного водоснабжения города Вологды.

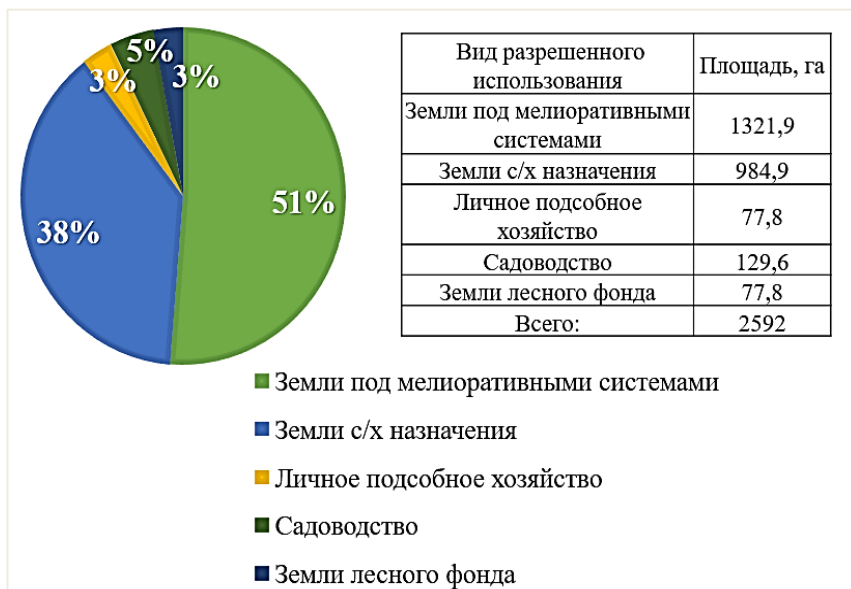
### **Материалы и методы**

Анализ хозяйственной деятельности проводился по данным кадастровых карт и спутниковых снимков. Учитывался первый и второй пояс зон санитарной охраны водозабора в д. Михальцево. На исследуемой территории были выделены все земельные участки, определен вид разрешенного использования и площадь. Результаты анализа интерпретировать в виде сравнительных диаграмм, таблиц и логических моделей [3,4,5].

Исходная гидрохимическая и гидрологическая информация представляет собой результаты производственного контроля и получена от МУП ЖКХ «Вологдагорводоканал» в интересах которого выполняется данная исследовательская работа.

## Результаты

Результаты анализа представлены в виде круговых диаграмм и таблиц с распределением площадей (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Хозяйственное использование земель в пределах зон санитарной охраны р. Вологда (водозабор д. Михальцево)

Основные результаты: по реке Вологда: большую часть территории занимают земли с гидромелиоративными системами и сельскохозяйственного назначения. В сумме 89% от общей площади водосбора водоемисточника.

Следующим этапом исследования был анализ гидрохимического и гидрологического режимов водоемисточников. В качестве исходной информации о гидрохимическом режиме водоемисточников города Вологды использованы данные производственного контроля качества исходной воды ВОС города Вологды (р. Вологда) по данным базовой лаборатории МУП ЖКХ «Вологдагорводоканал» за период 2008-2020 годы [6]. Для анализа были выбраны следующие данные: цветность, мутность, перманганатная окисляемость, железо, фенол и хлороформ. Цветность и мутность были выбраны для исследования, так как они являются основными показателями для водоподготовки. Перманганатная окисляемость характерна для северных рек, так как в почвах «серой зоны» содержится большое количество солей гуминовых и фоллиевых кислот. Окисляемость можно считать региональным показателем качества воды. Железо было выбрано по причине превышения норматива по содержанию этого ингредиента в

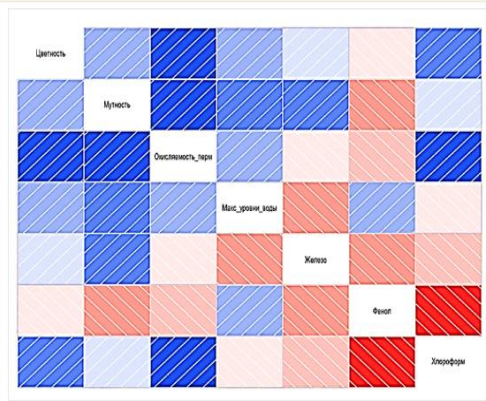
статистических рядах показателей в существенную часть года. Фенол отражает уровень антропогенного загрязнения водоемочника, так как водосбор реки Вологда активно используется. Хлороформ образуется при хлорировании воды с высокой цветностью и окисляемостью и является индикатором соответствия барьерных возможностей водоподготовки и гидрохимических характеристик исходной воды. В данном случае обеззараживание необходимо перед коагуляцией и флокуляцией исходной воды.

Все перечисленные показатели, за исключением хлороформа, являются показателями качества исходной воды. Данные по хлороформу были приняты по содержанию этого ингредиента на насосной станции второго подъема.

Полученные временные ряды анализировались на репрезентативность, находились минимальные, максимальные и средние значения для дальнейших расчётов. Результаты занесены в таблицу и представлены на рисунке 2 (а).

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя за период наблюдений 2008-2020 гг.	Значение показателя за период наблюдений 1990-2000 гг.
		р. Вологда	
1	2	3	3
Цветность	град.	201-12 80	140-13 53
Мутность	ЕМФ	149,64-0,28 6,0	19,6-0,6 3,6
Окисляемость перманганатная	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	32-3,81 14,9	25,6-1,57 10,56
Железо	мг/дм <sup>3</sup>	2,940-0,045 0,8	7,46-0,0 0,62
Фенол	мг/дм <sup>3</sup>	0,027-0,0 0,00182	7,07-0,0 0,006
Хлороформ	мкг/дм <sup>3</sup>	399-3,7 128,6	83,1-23,74 53,42

а



б

**Рисунок 2.** Анализ гидрохимического и гидрологического режимов водоемочника: а – гидрохимические характеристики, б – коррелограмма связи гидрохимического и гидрологического режимов водоемочника

Далее был проведен сравнительный анализ качества воды за два периода. Красным цветом на рисунке 2 (а) выделены показатели, которые увеличились со временем, зеленым – которые уменьшились. Необходимо было установить, зависят ли полученные результаты от показателей гидрологического режима, в качестве которых приняты уровни воды в створе водозабора. Для этого построили коррелограмму (рисунок 2 (б)): синим цветом обозначена положительная корреляция, красным отрицательная. Исходя из этого, сформулировались следующие выводы: при увеличении уровней воды уменьшалась концентрация железа, что

свидетельствует о его природном происхождении и относительно постоянном поступлении, которое разбавляется в периоды половодья и паводков. Показатели цветности, мутности, окисляемости и фенола с повышением водности увеличиваются, хотя в случае их природного происхождения, динамика их должна быть аналогична динамике железа. В качестве рабочей гипотезы положительной динамики цветности и окисляемости водоисточника можно считать повышение ее за счет дополнительного поступления солей гуминовых и фульвокислот, окрашивающих воду в желто-коричневые тона в результате смыва компонентов органических удобрений с водосбора, учитывая его интенсивное хозяйственное использование. Увеличение содержания хлороформа связано с повышением вышеупомянутых показателей и микробиологического обсеменения исходной воды, что обуславливает применение в технологии водоподготовки повышенных доз дезинфектанта.

По итогам анализа освоенности водосбора и гидрохимических показателей водоисточника, можно сделать вывод, что хозяйственная деятельность на водосборе является определяющим фактором формирования качества воды водоисточника [7].

На территории объектов хозяйственной деятельности имеет место естественная и искусственная гидрографическая сеть: ручьи, малые реки, каналы. Дренажный сток поступает в них через закрытые дренажи и коллектора, поверхностный сток рассредоточено организованно и неорганизованно поступает в существующую гидрографическую сеть и русло водоисточника – реки Вологды. Вместе со стоком поступают нерастворённые и растворённые вещества с территории, которые определяют качество воды в створе водозабора. Эти вещества необходимо удалять при водоподготовке до нормативных показателей питьевой воды для водоснабжения населения. Например, с поверхностным стоком поступают компоненты применяемых на сельскохозяйственных территориях мелиорантов, так как часть действующего вещества удобрений и ядохимикатов растворяется и поступает в водоисточник с дренажным и поверхностным стоком. Этот процесс характеризуется существенной неравномерностью в течение года и зависит от гидрометеорологии и местных особенностей территории. А водопроводные очистные сооружения – это техническая система с ограниченными барьерными возможностями. И не всегда эти возможности позволяют полностью убрать весь объём загрязнений водоисточника в процессе водоподготовки. Технологи ВОС должны заранее готовить реагенты и другие ресурсы для того, чтобы при повышении уровня загрязнения, применять более интенсивные методы и технологические приёмы обработки для получения требуемого качества питьевой воды, которое регламентировано жёсткими рамками существующего санитарного норматива [8].

## Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что для управления процессом водоподготовки, улучшения качества питьевой воды и снижения риска для здоровья населения необходимо прогнозирование гидрохимического режима водоисточника [9]. Гидрохимический режим современных поверхностных водоисточников зависит от природных и антропогенных факторов, в свою очередь определяемых местными условиями и хозяйственной деятельностью на водосборе.

Номенклатура и амплитуда изменчивости загрязнений поверхностного водоисточника централизованного водоснабжения для стабильного результата водоподготовки должны находиться в рамках барьерных возможностей применяемой технологии.

Номенклатура и амплитуда изменчивости ингредиентов стока определяются широким спектром сосредоточенных и диффузных источников загрязнения, расположенных на территории водосбора водоисточника и даже за его границами.

Для прогнозирования и управления качеством водоисточника необходимо моделирование процессов в водоисточнике, учитывающее интенсивность поступления природных и антропогенных загрязнений с учётом гидрологического режима [10].

## Список литературы

1. Лебедева Е.А., Бритова Г.Л. Оценка эффективности хозяйственного использования поверхностных водоисточников на основе данных по форме № 2 ТП (водхоз) // Вузовская наука – региону: материалы 3-й Всероссийской научно-технической конференции, Вологда, 25 февраля 2005 года. 2005. С. 277-278.
2. Паспорт федерального проекта «Чистая вода» [Электронный ресурс]: приложение к протоколу заседания проектного комитета по национальному проекту «Жилье и городская среда» от 01.01.2021 // Консультант Плюс: справ. правовая система / Компания «Консультант Плюс».
3. Стеблева И.В. Анализ хозяйственной деятельности в границах зон санитарной охраны на территории водосбора реки Вологда // Наука 2020: результаты исследований и открытий: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 16 ноября 2020 года. 2020. С. 43-45.
4. Стеблева И.В. Хозяйственное использование территорий в зонах санитарной охраны водоисточников // Молодые исследователи – региону: Материалы Международной научной конференции. В 3-х томах, Вологда, 13-23 апреля 2020 года. 2020. С. 409-411.
5. Стеблева И.В. Влияние хозяйственного использования водосборной территории на качество воды // XV Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых: материалы Всероссийской научной конференции, Вологда, 23 ноября 2021 года. Том 1. 2021. С. 237-240.
6. Анализ гидрохимического режима водоисточников / М.Г. Журба, Е.А. Лебедева, А.О. Родина, А.Ю. Родин // Вузовская наука - региону: Третья региональная межвузовская научно-техническая конференция, Вологда, 27–28 февраля 2002 года. 2002. С. 202-204.

7. Коровин А.А., Галиус В.П. Оценка антропогенного воздействия на водные экосистемы // Образование. Наука. Технологии - 2019: Сборник научных трудов по материалам региональной научно-практической конференции, Ставрополь, 21–24 мая 2019 года. 2019. С. 77-80.

8. Осетрова И.В. Разработка концепции управления качеством поверхностных водосточников централизованного водоснабжения города Вологды // XVI Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых: Материалы Всероссийской научной конференции. В 3-х томах, Вологда, 29 ноября 2022 года. 2023. С. 412-416.

9. Поршнева В.Н., Благова О.Е. Некоторые аспекты управления качеством воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 7-1. С. 25-28.

10. Хромцова Н.А., Лебедева Е.А., Турава И.Г. Применение методов моделирования в экологических процессах // Леденцовские чтения. Бизнес. Наука. Образование: Материалы международной студенческой научно-практической конференции, Вологда, 22 апреля 2011 года. 2011. С. 194-198.

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**О.А. Продоус<sup>1,\*</sup>, П.П. Якубчик<sup>2</sup>, С.С. Балашов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Независимый эксперт по «Водоснабжению и канализации», 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 37/1, лит. А, пом. 1-Н.

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 105187, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9.

\*Автор ответственный за переписку: pro@enco.su

**Аннотация.** Приведен анализ значений гидравлических характеристик чугунных труб с внутренними отложениями, по которым оценивается их гидравлическая эффективность и дается прогноз продолжительности дальнейшего использования. Для трубопроводов из стали и серого чугуна предложено проводить ежегодный контроль толщины слоя внутренних отложений и разработать справочное пособие по их гидравлическим характеристикам для прогнозирования остаточной продолжительности использования.

**Ключевые слова:** металлические трубопроводы, гидравлические характеристики труб, внутренние отложения, потери напора, продолжительность использования.

### Введение

Гидравлический расчет новых металлических труб производится по формулам (2) и (3) справочного пособия профессора Ф.А. Шевелева [1].

Гидравлическая эффективность трубопроводов систем водоснабжения стальных и чугунных труб без покрытий оценивается по величине значений характеристик их гидравлического потенциала и коэффициенту эффективности их использования [2, 3].



## Материалы и методы

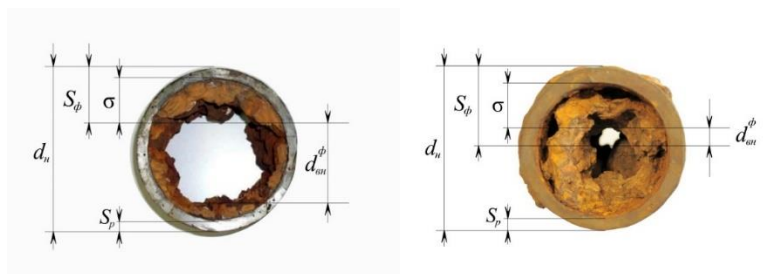
Гидравлический потенциал трубопровода – это оценочный эксплуатационный критерий, характеризующий совокупностью значений следующих гидравлических характеристик металлических труб:

фактическому внутреннему диаметру  $d_{вн}^{\phi}$ ;

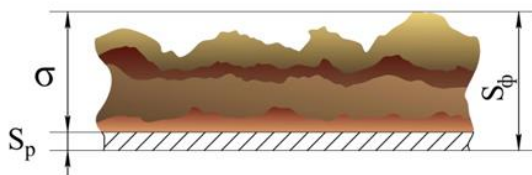
фактической скорости потока  $V_{\phi}$ , м/с, зависящей от величины фактического внутреннего диаметра труб  $d_{вн}^{\phi}$ , м;

фактических потерь напора на трение по длине  $i_{\phi}$ , м/м, зависящих от величины  $d_{вн}^{\phi}$  и  $V_{\phi}$ .

На рисунке 1 приведен фрагмент «а» и структура слоя внутренних отложений «б» на стенках стальных труб.



а



б

**Рисунок 1.** Фрагмент внутренних отложений: а) – стальные трубы; б) – толщина слоя отложений

$$\sigma_{\phi} = S_{\phi} - S_p, \text{ мм}$$

где

$\sigma_{\phi}$  – фактическая толщина слоя отложений;

$S_{\phi}$  – фактическая толщина стенки трубы с отложениями;

$S_p$  – расчетная толщина стенки новой трубы по ГОСТ;

$$i = 0,00107 \frac{V_p^2}{d_p^{1,3}}, \text{ м/м при } V_p \geq 1,2 \text{ м/с}$$

$$i = 0,00107 \frac{V_p^2}{d_p^{1,3}} \cdot \left(1 + \frac{0,867}{V_p}\right)^{0,3}, \text{ м/м при } V_p \leq 1,2 \text{ м/с}$$

где:

$V_p$  – средняя (расчетная) скорость потока воды, м/с;

$d_p$  – расчетный внутренний диаметр труб по сортаменту (для новых труб), м.

### Результаты

На рис. 2 показана фактическая толщина слоя внутренних отложений на стенках стальных труб.



**Рисунок 2.** Фактическая толщина слоя отложений на внутренних стенках металлических труб

Фактическая толщина слоя отложений  $\sigma_f$  на стенках металлических труб из стали и серого чугуна определяется с помощью переносных расходомеров в комплекте с толщиномером, как показано на рис. 3 [2].



**Рисунок 3.** Ультразвуковой расходомер в комплекте с толщиномером

Для каждого конкретного случая фактический внутренний диаметр труб и скорость потока в них определяется по формулам:

$$d_{\text{вн}}^{\Phi} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot V_{\Phi}}}, \text{ м} \quad (4)$$

где:

$q$  – заданный расход, м<sup>3</sup>/с;

$V_{\Phi}$  – фактическая скорость потока жидкости в трубе с внутренними отложениями, м/с:

$$V_{\Phi} = \frac{q_{\Phi}}{W_{\Phi}} = \frac{4 \cdot q_{\Phi}}{(d_{\text{вн}}^{\Phi})^2}, \text{ м/с} \quad (5)$$

где:

$q_{\Phi}$  – фактический расход, м<sup>3</sup>/с;

$d_{\text{вн}}^{\Phi}$  – фактический внутренний диаметр труб, с учетом толщины слоя внутренних отложений, м.

**Эффективность работы металлических трубопроводов водоснабжения** характеризуется значением коэффициента эффективности их эксплуатации  $K_{\text{эф}}$  [2, 3]:

$$K_{\text{эф}} = \frac{N_{\text{дв}}^{\text{р}}}{N_{\text{дв}}^{\Phi}} = \frac{i_{\text{р}} \cdot (d_{\text{вн}}^{\text{р}})^2 \cdot V_{\text{р}}}{i_{\Phi} \cdot (d_{\text{вн}}^{\Phi})^2 \cdot V_{\Phi}} \quad (6)$$

где:

$N_{\text{дв}}^{\text{р}}$  и  $N_{\text{дв}}^{\Phi}$  – расчетное и фактическое энергопотребление насоса, кВт/ч;

$i_{\text{р}}$ ,  $d_{\text{вн}}^{\text{р}}$ ,  $V_{\text{р}}$  – расчетные характеристики новых труб в момент запуска трубопровода в эксплуатацию;

$i_{\Phi}$ ,  $d_{\text{вн}}^{\Phi}$ ,  $V_{\Phi}$  – фактические характеристики гидравлического потенциала труб на момент оценки эффективности их эксплуатации.

Энергопотребление насосного агрегата определяется по формуле (7) [4], имеющей вид:

$$N_{\text{дв}}^{\text{р}(\phi)} = 10^6 \cdot i_{\text{р}(\phi)} \left( d_{\text{вн}}^{\text{р}(\phi)} \right)^2 \cdot V_{\text{р}(\phi)} \cdot \frac{0,00808}{\eta}, \text{ кВт/ч} \quad (7)$$

где:

$i_{\text{р}(\phi)}$  – расчетные (фактические) потери напора подлине (Гидравлического уклона), с учетом толщины слоя отложений  $\sigma_{\text{р}(\phi)}$ , м/м;

$d_{\text{вн}}^{\text{р}(\phi)}$  – расчетный (фактический) внутренний диаметр труб с учетом толщины слоя отложений  $\sigma_{\text{р}(\phi)}$ , м;

$V_{\text{р}(\phi)}$  – расчетная (фактическая) скорость потока, м/с;

$\eta$  – КПД насосного агрегата. Для расчетов принимают  $\eta=0,7$ .

Однако, определение значения  $N_{\text{вн}}^{\text{р}(\phi)}$  на практике связано с организационными трудностями, поэтому целесообразнее и проще рассчитывать значение  $K_{\text{эф}}$  по формуле (6), являющейся отношением расчетных к фактическим характеристикам гидравлического потенциала новых труб (числитель) к значениям тех же характеристик для труб со слоем отложений  $\sigma_{\phi}$ .

В таблице 1 приведена прогнозная (экспертная) продолжительность остаточной эксплуатации металлических труб, в зависимости от значения величины коэффициента эффективности их эксплуатации  $K_{\text{эф}}$ , определяемого по формуле (6).

**Таблица 1.** Рекомендуемая (экспертная) продолжительность остаточного периода эксплуатации трубопроводов

Остаточная продолжительность эксплуатации трубопровода, $T_{\text{исп}}$ , лет	Значение величины $K_{\text{эф}}$		
		$0,90 \leq K_{\text{эф}}^{\text{доп}} \leq 1$	$0,80 \leq K_{\text{эф}} \leq 0,90$
	до 5,0	не менее 1,0	использовать – нельзя

На рисунке 4 приведен график зависимости  $N_{\text{дв}}^{\phi} = f(\sigma_{\phi})$ , показывающий, что чем больше толщина слоя внутренних отложений  $\sigma_{\phi}$ , тем больше фактическое энергопотребление насосного оборудования  $N_{\text{дв}}^{\phi}$ .

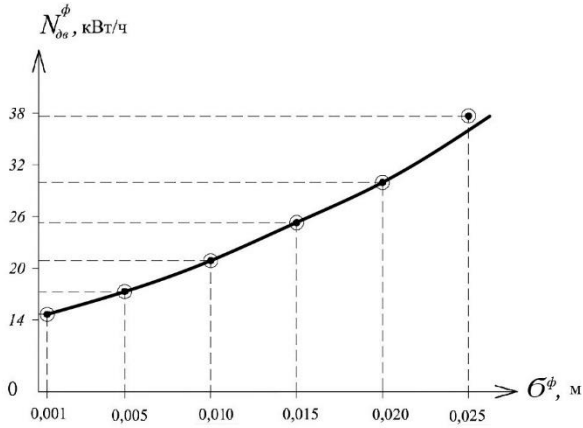


Рисунок 4. График зависимости  $N_{дв}^{\phi} = f(\sigma_{\phi})$

На рисунке 5, для условий конкретного примера (табл. 2), приведены графики зависимости  $i_{\phi} = f(\sigma_{\phi})$ , характеризующие изменение значений характеристик гидравлического потенциала труб, в зависимости от толщины слоя фактических отложений  $\sigma_{\phi}$ .

Таблица 2. Значения характеристик гидравлического потенциала сравниваемых труб

Заданный расход, $q$ $\text{м}^3/\text{с}$	Толщина слоя отложений $\sigma_{\phi}, \text{ м}$	Характеристики гидравлического потенциала труб					
		новых			изношенных		
		$d_{вн}^p, \text{ м}$	$V_p, \text{ м/с}$	$i_p$	$d_{вн}^{\phi}, \text{ м}$	$\phi, \text{ м/с}$	$i_{\phi}$
0,021	0	0,150	1,19	0,01781	----	----	----
	0,005	----	----	----	0,140	1,36	0,0250
	0,010	----	----	----	0,130	1,58	0,03789
	0,015	----	----	----	0,120	1,86	0,05828
	0,020	----	----	----	0,110	2,21	0,09212
	0,025	----	----	----	0,100	2,68	0,1537

В табл. 3 приведены значения  $i_p$  для диапазона скоростей  $V_p = 0,5 \div 2,5$  м/с

Таблица 3. Значения  $i_p$  для диапазона скоростей  $V_p = 0,5 \div 2,5$  м/с

$V, \text{ м/с}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
$i_p, \text{ м/м}$	0,00315	0,01259	0,02832	0,05035	0,07868

Из графика на рис. 5 следует, что чем больше  $\sigma$ , тем больше фактические потери на сопротивление по длине  $i_{\phi}$ .

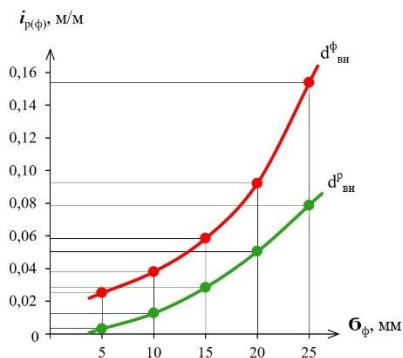


Рисунок 5. Графики зависимости  $i_p(\phi) = f(\sigma_{\phi})$

### Заключение

Таким образом, эффективность эксплуатации изношенных металлических водопроводных сетей с внутренними отложениями, может оцениваться по значению величины коэффициента  $K_{\text{эф}}$  (формула (6)), табл.1.

Такая оценка является, прежде всего, – гидравлической, то есть наиболее точной, учитывающей любые изменения колебания значений фактической толщины слоя внутренних отложений  $\sigma_{\phi}$ .

Количественная оценка эффективности работы любых инженерных сетей коммунальной инфраструктуры городов должна быть приоритетной в государстве.

### Список литературы

1. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. // М.: Издательский Дом «Бастет». 2014. – 382 с.
2. Продоус О.А. Зависимость продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб. // Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения», Москва. Издательство МИСИ-МГСУ. 2020. – С. 113–117.
3. Продоус О.А. Гидравлическое прогнозирование продолжительности использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения. // «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение», № 2020/11 (155). – С. 28–32.
4. Дикаревский В.С., Продоус О.А., Якубчик П.П., Смирнов Ю.А. Резервы экономии электроэнергии при транспортировании воды по водоводам из железобетонных труб. // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара «Рациональное использование воды и топ-лив-но-энергетических ресурсов в коммунальном водном хозяйстве», Алма-Ата, 6-8 августа 1985 г. - М.:КСМ ВСНТО, 1985. - С. 90-92.

## **ВЫБОР НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОДОРОГИ**

**И. Ю. Пурусова<sup>1\*</sup>, К. И. Чижик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО ВГТУ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

<sup>2</sup> НИУ МГСУ, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

\* Автор ответственный за переписку: [yvs\\_na@list.ru](mailto:yvs_na@list.ru)

**Аннотация.** В современной проектной документации по строительству автомобильной дороги, с установкой локальных очистных сооружений для сбора поверхностного стока необходимы дополнительные расчёты по подбору насосного оборудования. Совместное функционирование системы дождевой канализации и локальных очистных сооружений зависит от обоснованного выбора насосного оборудования и используемых комплектующих (трубы, арматура, резервуары). В рассматриваемом проекте строительства автодороги в городском округе Солнечногорск Московской области предложен погружной насос KRT К 40-252 стоимость которого на много дороже насоса отечественного производства.

### **Введение**

В современной проектной документации по строительству автомобильной дороги, с прокладкой дождевой канализации и установкой ЛОС (локальных очистных сооружений) необходимы дополнительные расчёты по подбору насосного оборудования [1-14]. Утверждённые в проектах насосные агрегаты импортного производства намного дороже отечественных с аналогичными характеристиками.

Для сбора и отвода дождевых и талых вод с покрытия автомобильной дороги и полосы отвода предусматривается закрытая самотечная дождевая канализация, с устройством дождеприёмных колодцев.

Комплекс ЛОС включает:

- резервуары-накопители (аккумулирующие ёмкости), которые оборудуются подводящими и отводящими трубопроводами
- КНС (канализационной насосной станции);
- колодец-гаситель напора; очистное сооружение (проточного типа); колодец для отбора проб с затвором.

Затем атмосферные воды после очистки на ЛОС направляются самотёком – в водный объект или на рельеф местности. Одной из важнейших составляющих эффективной и надёжностью работы ЛОС является оптимальный выбор насосного оборудования.

### **Материалы и методы**

Рассматриваемые ЛОС расположены в городском округе Солнечногорск Московской области. Расчетная площадь водосбора

составляет 1,56 га. В соответствии с требованиями нормативных документов сброс дождевых и талых вод в водоёмы необходимо производить после предварительной очистки сточных вод. Содержание загрязняющих веществ [15], собираемых с поверхности покрытия автодороги и поступающих в резервуары-накопители ЛОС приведено в таблице 1.

**Таблица 1.** Загрязняющие вещества, поступающие в резервуары-накопители ЛОС автодороги

Показатель загрязняющих веществ	Концентрация загрязняющих веществ в стоках, мг/л	
	Дождевые и поливочные стоки	Талый сток
взвешенные вещества	1000	3000
нефтепродукты	20	25

Качество очищенной воды на выходе из ЛОС должно соответствовать требованиям, предъявляемым к сбросам в водоём рыбохозяйственного назначения по содержанию взвешенных веществ и нефтепродукты.

Производительность насосной станции в составе ЛОС рассчитывается на время опорожнения резервуара-накопителя в течении суток, в соответствии с [16], определяем по формуле 1:

$$T_p = t - t_d = 24 - 6 = 18 \text{ час.} \quad (1)$$

где,  $t$  – количество часов в сутках;  $t_d$  – средняя продолжительность дождя для Москвы – 6 час. по приложению 4 [16].

Производительность насосной станции [15] определяем по формуле 2:

$$Q_{nc} = \frac{W_{loc}}{T_p} = \frac{400}{18} = 23 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2)$$

где,  $W_{loc}$  – объём резервуара накопителя, 400 м<sup>3</sup>, при площади водосбора,  $F=1,56$  га.

Работа погружных насосов предусматривается в автоматическом режиме от поплавковых выключателей. Щиты управления насосами выполняются в наземном защищенном исполнении и размещаются рядом с сооружениями. Необходимый напор на ЛОС должен быть не менее 6,58 м.

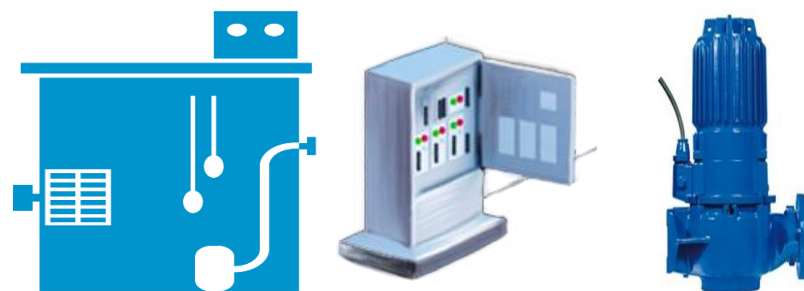
## Результаты

Совместное функционирование системы дождевой канализации и ЛОС зависит от качества насосного оборудования и используемых комплектующих (трубы, арматура, резервуары). Все составляющие такой системы имеют различный срок службы. Нормативный срок службы ЛОС определяется техническими паспортными данными, но зачастую не соответствует действительности. Фактически ЛОС могут прослужить меньше нормативного срока службы из-за ненадлежащего технического обслуживания и природных факторов таких как гидрогеологические изменения, обильные сверх нормы осадки, резкие колебания температуры и



влажности. Режим эксплуатации насосов является основным фактором влияющими на срок службы ЛОС.

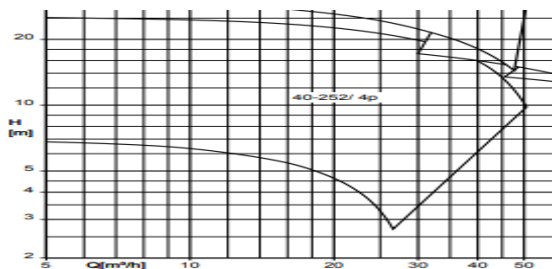
В настоящее время растёт спрос на погружные насосы, устанавливаемые на КНС, при технологических и конструктивных решениях строительства линейного объекта - автодороги. Заводами изготовителями предлагается большой ассортимент марок погружных насосов, с широким диапазоном цен на оборудование, различными затратами на техническое обслуживание и электроэнергию. Широкое распространение получили насосные агрегаты имеющие высокую производительность и оптимальный КПД при длительном сроке службы. На рисунке 1 показана схема установки насосов и комплектующие КНС.



1 2 3

**Рисунок 1.** Схема и комплектующие КНС: 1 - КНС; 2 - щит управления, 3- погружной насос.

При строительстве автодороги ведётся прокладка сети дождевой канализации с установкой КНС марки Polycorr-KNS-1600-7200 ПК «Поли-Групп» стоимостью 5 726 тыс. руб. Согласно технико-коммерческого предложения проекта устанавливаются погружные насосы фирмы KSB (Германия) марки KRT K 40-252/44UEG-S с характеристикой Q-H, приведённой на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Характеристика насоса марки KRT K 40-252/44UEG-S

По проектным данным производительность насосной станции:  $Q = 23 \text{ м}^3/\text{ч}$ , геометрический напор  $H = 6,58 \text{ м}$ . Мониторинг различных марок погружных насосов для перекачивания сточных вод отечественных и зарубежных производителей показал следующие результаты по рабочим характеристикам Q-H насосов: Drain LPC 50/25, Гном ЦМФ 25-20 и DP 10.50.09.2.1.502, рисунки 3-5.

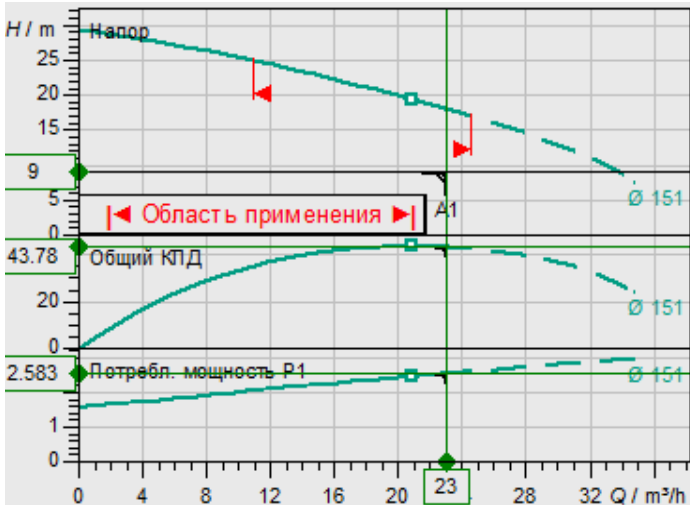


Рисунок 3. Характеристика насоса марки Drain LPC 50/25

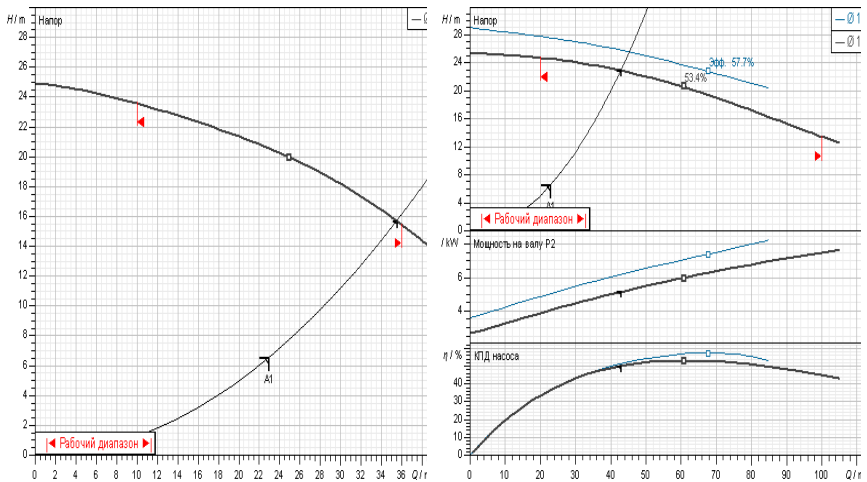


Рисунок 4. Характеристика насоса марки Гном ЦМФ 25-20 и ЦМФ 50-25

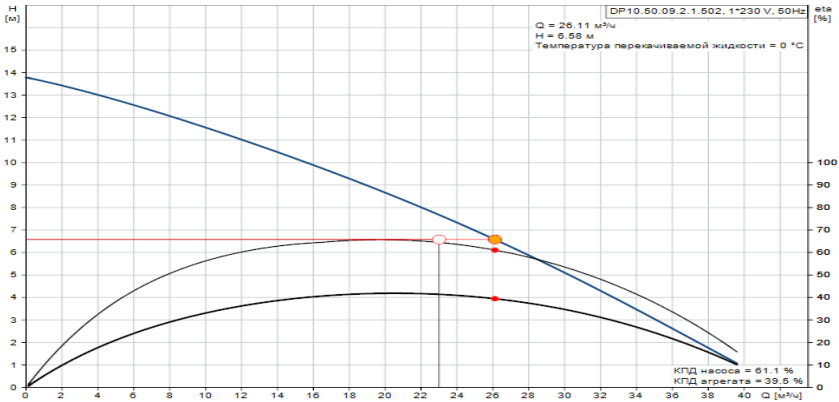


Рисунок 5. Характеристика насоса марки DP10.50.09.2.1.502

Выбор насосных агрегатов основывается на расчётной производительности КНС и соответствует технологическим параметрам ЛОС с учётом стоимости оборудования. Установленные погружные насосы должны бесперебойно работать в агрессивной среде с минимальным количеством аварийных ситуаций, показывать высокую надёжность при залповых сбросах сточных вод с автодороги, обладать небольшими габаритными размерами. Основные характеристики погружного насоса KRT К 40-252/44UEG-S указанного в проекте по строительству автодороги и погружных насосных агрегатов с аналогичными техническими параметрами приведены в таблице 6.

Таблица 6. Основные характеристики погружных насосных агрегатов

Характеристика насоса	ЦМФ 50-25	Гном 25-20	KRT К 40-252/44UEG-S (по проекту)	Drain LPC 50/25	DP10.50.09.2.1.502
Производительность, м³/ч	50	25	23	25	26,11
Напор, м	25	20	8,5	25	6.58
P <sub>1</sub> = кВт	-	-	-	2,6	1.184
P <sub>2</sub> = кВт	3,8	3	2,5	2,2	0.765
Стоимость, руб.	68 223	31 075	298 118	267 854	152 064
Изготовитель	Ливгидромаш (Россия)	Ливгидромаш (Россия)	KSB (Германия)	Wilo (Германия)	Grundfos (Дания)

### Заключение

В рассматриваемом проекте строительства автодороги в городском округе Солнечногорск Московской области предложен насос погружной насос KRT К 40-252/44UEG-S фирмы KSB стоимость которого в 10 раз

дороже насоса Гном 25-20 отечественного производства АО ГСМ Ливгидромаш с аналогичными показателями по подаче и напору.

При обосновании технологических и конструктивных решений установки ЛОС на линейном объекте – автодороге, необходимо рассматривать несколько вариантов однотипных насосных агрегатов в заданном проекте диапазоне производительности.

### Список литературы

1. Пурусова И.Ю. Источники загрязнений вблизи с водозаборных сооружений из подземных источников // В сборнике: Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире. материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов. Казань. 2021. С. 1588-1592.
2. Щербаков В. И., Пурусова И. Ю. Водозаборные сооружения и погружные насосы - единая энергетически зависимая система // В сборнике: Яковлевские чтения Сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета "ВиВ". 2019. С. 236-240.
3. Пурусова И.Ю., Чижик К.И., Щербаков В.И. Управление подачей воды от скважин в резервуар чистой воды // В сборнике: Яковлевские чтения-2022: Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения. Сборник докладов участников XVII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Москва. 2022. С. 113-117.
4. 2. 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.
5. 3Пурусова И. Ю. Энергетически оптимальная работа водозаборных сооружений из подземных источников // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. Т. 45. № 4. С. 59-67.
6. Пурусова И. Ю. Фактическая производительность погружных насосов // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 4 (120). С. 26-28.
7. Николенко И. В. Анализ энергетической эффективности силовых агрегатов насосных станций систем водоснабжения и водоотведения по удельным показателям / Николенко И.В. // Строительство и техногенная безопасность. – 2020. – № 18 (70). – С. 143-148.
8. Shcherbakov V. I., Chizhik K.I., Kononov 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 p.
9. Стрелков А. К. Концепция развития и реконструкции систем водоснабжения и водоотведения г. о. Самара / А. К. Стрелков, В. В. Бирюков, М. В. Шувалов, Ю. А. Егорова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 12. – С. 4-8.
10. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходувных установках. Москва: Энергопромиздат. 2006. 360 с.
11. Али М. С. Решение практических задач с использованием модели насосов при переходных режимах в напорных системах / М. С. Али, Д. С. Бегляров, А. Ю. Титаева, Е. А. Лентяева // Природообустройство. – 2020. – № 1. – С. 100-103.

12. Фисенко В.Н. Инвестиционная доходность и риск проектов в сфере водоснабжения и водоотведения // В сборнике: Сборник докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня образования факультета водоснабжения и водоотведения МИСИ - МГСУ Сборник докладов. 2019. С. 145-151.

13. Фисенко В.Н. О показателях экологической ответственности бизнеса в промышленных и коммунальных системах с насосами в низкоуглеродной экономике // В сборнике: Яковлевские чтения. Сборник докладов XVI Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Москва. 2021. С. 237-244.

14. 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.

15. СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения.

16. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты // ФГУП «НИИ ВОДГЕО». Москва. 2014. 88 с.

## **О НОРМИРОВАНИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ГОРОДСКОЙ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ**

**Разakov М.А.**

НИУ МЭИ; ФГБОУ ВО Росбиотех.

**Аннотация.** В работе представлен обзор основных вторичных энергетических ресурсов в городской канализационной насосной станции, которые могут быть использованы для различных энергопотребляющих инженерных систем сооружения. Рассмотрены потенциальные проблемы, возникающие от использования вторичных энергоресурсов на канализационной насосной станции и иных сооружениях системы водоотведения. Предложены варианты нормирования при использовании различных видов вторичных энергетических ресурсов на данных типах сооружений.

**Ключевые слова:** канализационная насосная станция; энергетические ресурсы; вторичные энергетические ресурсы; нормирования; сточные воды; система водоотведения.

Нормированием использования вторичных энергетических ресурсов занимаются многие исследователи из различных отраслей народного хозяйства [1-3]. Особые условия и специальные требования предъявляются к системе водоотведения города, которая транспортирует, полностью очищает сточные воды и после их финальной подготовки направляет в природную водную экосистему. Принципиальная схема системы

водоотведения представлена на рисунке 1 [4]. Очистные сооружения состоят из комплекса блоков обработки сточных вод, которые применяют различные принципы очистки (механические, биологические и т.п.). Современные типы очистных сооружений представлены в работах А.В. Устюжанина и ряда других авторов [5-8].



Рис.1. Принципиальная схема системы водоотведения Москвы

В отечественных и зарубежных исследовательских работах меньше всего освещены типы вторичных энергоресурсов, используемых в канализационных насосных станциях (КНС), в сравнении с другими видами сооружений системы канализации. Согласно данным Хохлова В.А. и других авторов на КНС основными типами вторичных энергетических ресурсов является тепловая энергия от сточных вод и вытяжного воздуха [9]. В ходе обследования канализационных насосных станций в г. Москве было обнаружено, что на 75 % обследуемых сооружений установлены тепловые насосы, использующие в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии лишь сточные воды. На 25 % не было установлено ни тепловых насосов, использующих теплоту от сточных вод, ни рекуператоров, установленных на вытяжной системе вентиляции. Использование рекуператоров на данный момент ограничивается из-за специальной конструкции крышных вентиляторов в противодымном исполнении. Использование тепловой энергии от сточных вод на КНС в Российской Федерации является оправданной мерой из-за особенностей климата страны [10-12]. При этом одновременно с использованием тепловых насосов необходимо и прогнозирование температурного режима последующего участка со сточными водами.

После сооружения канализационной насосной станции, возможно, наличие очистных сооружений со специальными методами очистки сточных, а именно блоков с биологическими способами обработки сточных вод. Особенностью данных элементов является определенный бактериальный состав. На активность этих бактерий влияет большое количество факторов, в т.ч. и температурный режим сточных вод [13-15]. При определенных внешних условиях и наличии большого количества

тепловых насосов, использующих теплоту сточных вод из системы водоотведения, возможно, возникновение аварийных ситуаций в данном блоке. Поэтому необходима либо установка дополнительных подогревателей, что увеличит затраты на очистку сточных вод либо строгое нормирование возможности установки тепловых насосов на канализационных насосных станциях и отпускаемой температуры сточных вод из КНС. В самом сооружении также существуют потери тепловой энергии, расчет которых приведен в работе А.Г. Рымарова и ряда других авторов [16]. Для определения температуры сточных вод на входе в очистные сооружения необходимо комплексное моделирование тепломассообменных явлений между трубопроводом со сточными водами и окружающим его грунтом, а также многофазной средой внутри трубопровода на участке от начала границы сооружения канализационной насосной станции до участков, предшествующих биологическому блоку обработки сточных вод на очистных сооружениях. Особенности моделирования тепловых явлений иных участков системы водоотведения приведены в работах В.И. Прохорова и ряда других авторов [17-19].

Для анализа возможности использования тепловых насосов на типовой КНС в качестве критической температуры сточных вод на очистных сооружениях перед блоком с бактериями предлагается принимать среднюю арифметическую температуру в допустимом диапазоне эффективности бактерий определенного типа с учетом протяженности системы водоотведения, типа и наличия иных видов функциональных блоков в очистных сооружениях, а также средней температуры грунта. В работах Кругликовой А.В. и Волкова В.В. представлены способы моделирования тепломассообменных процессов в очистных сооружениях открытого и закрытого типа [20,21]. В таблице 1 представлены типовые бактерии, используемые для обработки сточных вод и комфортные для их высокоэффективной очистки, температурные режимы, согласно данным различных исследователей [13-15].

**Таблица 1.** Типовые бактерии, участвующие в очистке сточных вод

<b>Предполагаемый способ очистки сточных вод</b>	<b>Наименование бактерии</b>	<b>Комфортная для действия температура</b>
Высокотемпературный	Микроорганизмы-деструкторы фосфатов: <i>Acinetobacter</i> sp. B3905, <i>Bacillus</i> sp. B5061, <i>Pseudomonas facilis</i> Г0405ВТ	30 – 40 °С
Низкотемпературный	<i>Anammox</i> bacteria, <i>Ammonium oxidizing</i> bacteria, <i>nitrite oxidizing</i> bacteria	10 – 14 °С

## Заключение

Рассмотрены отрицательные эффекты использования теплоты от сточных вод в городской канализационной насосной станции для очистных сооружений. Различия в эффективном диапазоне среды для бактерий может достигать 100%, что доказывает сложность реорганизации очистки сточных вод в связи с новыми режимами и условиями очистки.

## Библиографический список

1. Прохоров В. И., Барский М. А., Старверов И. Г. Нормирование при проектировании систем с использованием тепловых вторичных энергоресурсов // Водоснабжение и санитарная техника. 1981. № 4. С. 28-29.
2. Фурсенко В. Ф. Нормирование расходов топливно-энергетических ресурсов для стационарных установок железнодорожного транспорта // Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2004. 60 с.;
3. Степанов В. С. Анализ энергетического совершенства технологических процессов: Методы исследования уровня энергоиспользования и резервов экономии энергоресурсов // Монография. Новосибирск: Новосибирское отделение издательства "Наука", 1984. 274 с.;
4. Прохоров В.И. Разаков М.А. Особенности применения теплоутилизационного оборудования на канализационных насосных станциях // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. 2022. № 2. С. 45-55. DOI 10.24160/1993-6982-2022-2-45-55;
5. Баженов В.И., Устюжанин А.В., Королева Е.А. Установки когенерации для компенсации потребности станций аэрации в энергетических ресурсах // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 4. С. 40-49;
6. Прохоров В.И., Горбатов И.И. Устройство для сушки осадка сточных вод на иловых площадках // Патент на изобретение RU 2094397 C1, 27.10.1997. Заявка № 95119273/25 от 10.11.1995;
7. Кевбрина М. В., Гаврилин А. М., Пронин А. А. Внедрение современных технологий при строительстве и реконструкции очистных сооружений АО "Мосводоканал" // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 6. С. 36-45. DOI 10.35776/VST.2021.06.04;
8. Khavanov P., Volkov V. Ensuring energy efficiency and environmental friendliness of the ventilation systems with baths wastewater treatment // В сборнике: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. 2019. С. 8934406. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934406;
9. Khohlov V., Razakov M. Energy saving in municipal sewage pumping station // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 3. Сер. "3rd Conference "Problems of Thermal Physics and Power Engineering" - Energy Saving - Theory and Practice" 2020. С. 052003. doi:10.1088/1742-6596/1683/5/052003;
10. Похил Ю.Н., Мелеховский В.Ф., Шварц В.М., Каурдакова О.В., Никитин А.М., Накоряков В.Е., Елистратов С.Л. Использование теплоты неочищенных сточных вод в качестве теплоносителя // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 3. С. 25-27;
11. Дубровский С.В. Отопление удалённой канализационной насосной станции тепловым насосом // Электронный журнал "Энергосвет".2013. №1 (26). С.30-31;



12. Васильев Г.П., Пасков В.В., Абуев И.М., Бурмистров А.А., Виноградов А.М., Горнов В.Ф. 12-летний опыт эксплуатации теплонасосной установки на районной тепловой станции // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2016. № 4. С. 30–32;

13. Gilbert E. M., Agrawal S., Karst S. M., Horn H., Nielsen P. H., Lackner S. Low temperature partial nitrification/anammox in a moving bed biofilm reactor treating low strength wastewater // Environmental science & technology. 2014. Vol. 48. №. 15. pp. 8784-8792;

14. Белова Д. Д. Подбор носителей и параметров иммобилизации консорциума микроорганизмов-деструкторов фосфатов // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2(137). С. 294-299;

15. Колесников В. П., Ксенофонтов Б. С., Черникова Л. Ю., Почуев Н. Н. Комбинированные сооружения для очистки сточных вод поселков и городов России // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 11. С. 27-34;

16. Rymarov A., Prohorov V., Razakov M., Kosarev A. Specialized method of calculating heat input from wastewater in the premises of the sewage pumping stations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 032073;

17. Дерюшева Н. Л. Оптимизация методов таяния и утилизации снежных масс // Строительство - формирование среды жизнедеятельности : Сборник трудов Восемнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 22–24 апреля 2015 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. С. 959-962;

18. Прохоров В. И., Разаков М.А. Управление тепловыделением от сточных вод самотечных канализационных трубопроводов в зависимости от наполненности трубы жидкой фазой // Естественные и технические науки. 2016. № 11(101). С. 218-220.

19. Гатауллина И. М. Технология устройства снегоплавильных станций на основе применения тепловых насосов // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. 2019. № 1. С. 38-41;

20. Кругликова А. В. Модерирование процессов тепломассообмена в открытых канализационных очистных сооружениях // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2017. № 1. С. 283-287;

21. Волков В.В. Повышение энергетической и экологической эффективности систем вентиляции в помещениях с емкостями для очистки сточных вод // Автореф. канд. тех. наук. НИИСФ РААСН. Москва. 2020. 24 с.

## ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД МАЛЫХ ПОСЕЛЕНИЙ

**А. А. Кулаков**\*

Российский технологический университет – МИРЭА, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 86

\*Автор ответственный за переписку: mail@artemkulakov.com

**Аннотация.** Состав сточных вод малых поселений формируется в особых условиях, отличных от средних и крупных городов. В работе приведены систематизированные данные лабораторного контроля по

31 очистному сооружению. Состав данных объектов характеризуется малым количеством органического субстрата для денитрификации и низкими температурами. Это приводит к увеличению потребных объемов сооружений нитриденитрификации, а также необходимости дозирования внешнего субстрата и подогрева для протекания эффективной биологической очистки.

## Введение

Малые канализационные очистные сооружения (КОС) имеют ряд особенностей, определяющих подходы к их проектированию и эксплуатации [1]. Состав хозяйственно-бытовых сточных вод малых объектов формируется в условиях, отличных от крупных и средних городов. В малых населенных пунктах зачастую отсутствуют промышленные сточные воды, жилой фонд не всегда имеет централизованные системы горячего водоснабжения и водоотведения. Водопотребление имеет низкие величины, а часть сточных вод собирается в герметичные или негерметичные резервуары. В таких случаях формируются высококонцентрированные сточные воды с низкими температурами.

Цель данной работы заключается в оценке фактического состава сточных вод малых поселений.

## Материалы и методы

Проведены сбор и обработка данных лабораторного контроля по 31 объекту за 5 лет. Проанализированы следующие категории очистных сооружений:

- небольшие (1000-4000 м<sup>3</sup>/сут) – 6,
- малые (100-1000 м<sup>3</sup>/сут) – 17,
- сверхмалые (до 100 м<sup>3</sup>/сут) – 8.

Статистическая обработка проведена по основным показателям состава сточных вод: ВВ, ХПК, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный, общий азот, фосфор фосфатов, общий фосфор.

По каждому объекту определены концентрации, соответствующие 15-му, 50-му и 85-му процентиллям (П15, П50, П85). Данные значения могут рассматриваться как минимальные, средние и максимальные концентрации за вычетом критически малых и больших величин.

Затем полученные концентрации (П15, П50, П85) были обработаны по всем объектам (31 КОС) и получены доли объектов с заданной концентрацией. Для части объектов общий азот определен через аммонийный азот умножением на коэффициент 1,33. Для части объектов общий фосфор определен через фосфор фосфатов умножением на коэффициент 1,8.

Расчетные концентрации определены по формуле:

$$C_{\text{теор}} = \frac{1000 \cdot a}{q}, \text{ мг/л. (1)}$$

где  $a$  – количество загрязняющих веществ, приходящихся на одного жителя, г/сут, приняты согласно СП 32.13330.2018;  
 $q$  – удельная норма водоотведения, л/сут.

Для оценки температуры поступающих сточных вод проведены сбор и обработка данных за 9 лет наблюдений по 14 очистным сооружениям Московской области, находящихся в схожих климатических условиях (небольшие – 3, малые – 8, сверхмалые – 3).

Проведена обработка по месяцам, определены средние температуры, а также температуры, соответствующие 5-му и 95-му процентилю, чтобы исключить критически низкие и высокие температуры, которые редко наблюдаются. Для определения соблюдения допустимых температур построен график, показывающий зависимость доли проб с температурами меньшими и равными заданной.

## Результаты

### Концентрации загрязняющих веществ

Расчетные концентрации загрязняющих веществ и результаты обработки данных лабораторного контроля по 31 объекту приведены в табл. 1. Фактические данные представлены в виде средних концентраций по всем объектам для П15, П50 и П85. Расчетные концентрации получены по формуле (1).

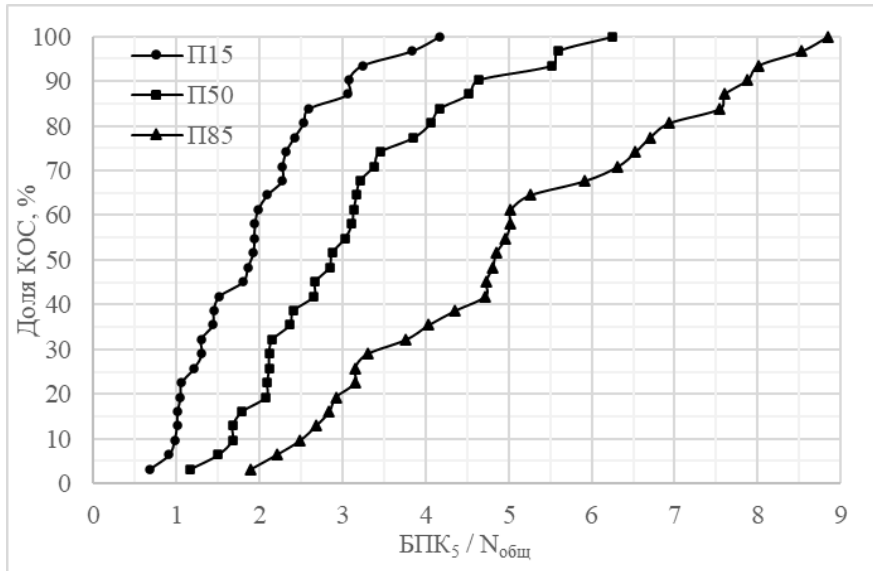
Таблица 1. Расчетные и фактические концентрации

Показатель	а*, г/сут	С <sub>теор</sub> , мг/л, при q, л/сут						С <sub>факт</sub> , мг/л		
		150	200	250	300	350	400	П15	П50	П85
ВВ	67	447	335	268	223	<b>191</b>	168	63,8	107,2	<b>195,5</b>
БПК <sub>5</sub>	60	400	300	<b>240</b>	<b>200</b>	171	150	93,4	137,4	<b>212,6</b>
ХПК	120	800	<b>600</b>	<b>480</b>	400	343	300	263,9	373,2	<b>548,3</b>
N <sub>общ</sub>	11,7	<b>78</b>	59	47	39	33	29	32,8	52,1	<b>77,7</b>
N-NH <sub>4</sub>	8,8	<b>59</b>	44	35	29	25	22	23,2	37,0	<b>55,6</b>
P <sub>общ</sub>	1,8	<b>12,0</b>	<b>9,0</b>	7,2	6,0	5,1	4,5	4,56	6,84	<b>9,77</b>
P-PO <sub>4</sub>	1	<b>6,7</b>	<b>5,0</b>	4,0	3,3	2,9	2,5	2,53	3,89	<b>5,59</b>

\* - массы загрязняющих веществ согласно СП 32.13330.2018, соответствующие 85-му процентилю.

Если сравнить теоретические концентрации и фактические концентрации, соответствующие П85, то можно отметить расхождение степени загрязненности сточных вод. По ВВ фактический состав ближе к низкоконцентрированному, по БПК к средним концентрациям, а по ХПК, азоту и фосфору к высококонцентрированному.

По данным лабораторного контроля можно заключить, что большая часть органики находится в растворенном состоянии, а пропорция БПК/азот имеет низкие значения (рис.1).



**Рисунок 1.** Соотношение БПК<sub>5</sub>/N<sub>общ</sub> для проанализированных объектов

Дефицит субстрата также подтвержден для группы объектов, по которым были данные лабораторного контроля по общему азоту. Для них выявлено:

- Величина  $N-NH_4 / N_{общ}$  в среднем составляет 0,5, что свидетельствует о незавершенной аммонификации. Требуется проведения лабораторного контроля по общему азоту для получения достоверных данных для проектирования.
- Величина БПК<sub>5</sub> / N<sub>общ</sub> в среднем составляет 2,3, что свидетельствует о существенном дефиците субстрата для денитрификации.

Для протекания денитрификации требуемое соотношение БПК<sub>5</sub> / N<sub>общ</sub> рассчитывается для конкретного объекта с учетом нормативов на сброс и концентрации азота в исходной воде. В среднем требуется БПК<sub>5</sub> / N<sub>общ</sub> равная 4 и более [2].

#### *Температура сточных вод*

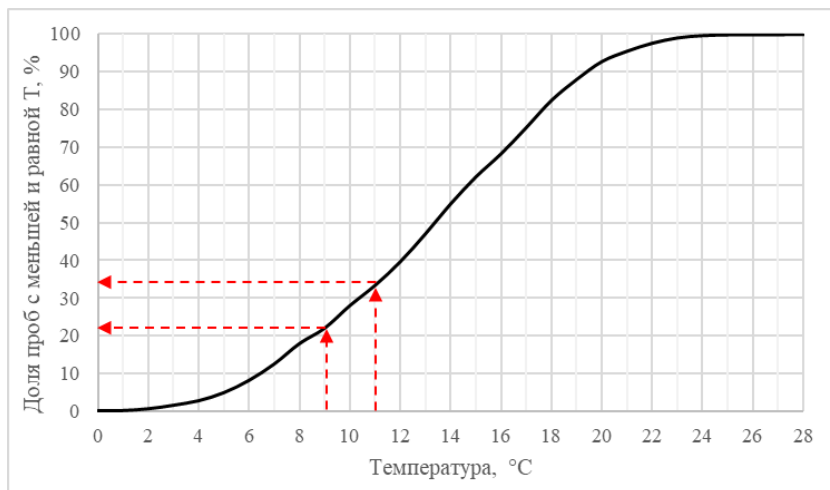
Обработка данных по температуре поступающих сточных вод показала, что на ряде объектах в половине проб температура не поднимается выше 10-12 °С, что критически мало для протекания эффективной очистки.

В СП 32.13330.2018 (п. 9.2.5.10) имеются рекомендации по температуре поступающих сточных вод для протекания биологической очистки:

- Аэробное окисление органических соединений – 10 °С ... 39 °С.

• Окисление органических соединений, нитрификация, денитрификация и удаление фосфора – 12 °С ... 39 °С.

На рис. 2 приведены данные обработки температуры по всем объектам и определена вероятность достижения заданных значений температуры (доля проб с меньшей и равной температурой). Так температура до 9 °С включительно встречается в 22 % проб, а с температурой до 11 °С включительно – в 35 % проб.



**Рисунок 2.** Соотношение БПК<sub>5</sub>/N<sub>общ</sub> для проанализированных объектов

Наиболее низкие температуры встречаются в зимнее время (табл. 2), однако на многих объектах даже в летнее время температура находится на уровне 15-16 °С.

**Таблица 2.** Средние температуры сточных вод

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
T <sub>ср</sub> , °С	9	10,2	9,8	10,3	14,9	17,4	18,6	18,8	17	14,9	12,4	10,3

Выявленные данные свидетельствуют, что на многих малых КОС температура поступающих сточных вод не позволяет обеспечить эффективное протекание процессов биологической очистки.

Снижение температуры приводит к увеличению требуемых объемов биологической очистки. Так при снижении расчетной температуры с 18 до 12 °С требуемый объем нитриденитрификации увеличивается в 1,44 раза при прочих равных условиях.

## **Заключение**

Состав сточных вод малых объектов отличается от традиционного состава сточных вод городов. Отсутствие систем горячего водоснабжения приводит к формированию холодных сточных вод в течение всего года. Большая доля децентрализованных систем водоотведения определяет высокую степень загрязненности ввиду повышения влияния на состав привозных сточных вод.

Дефицит органического субстрата для протекания эффективной денитрификации и низкая температура приводят к снижению скоростей окисления и повышению себестоимости очистки.

Как результат для малых объектах требуется подбор индивидуальных технологических решений, учитывающих приведенные особенности.

## **Список литературы**

1. Кулаков А.А. Оценка современного состояния малых коммунальных очистных сооружений канализации // Вода и экология: проблемы и решения. 2015. № 1. С. 26–40.
2. Пукемо М.М., Кулаков А.А., Желтухин Р.В. Особенности очистки сточных вод больницы. Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 4. С. 15-24.