



ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

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

(г. Москва, 15 марта 2021 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГУ», 2021

ISBN 978-5-7264-2855-0

Москва
Издательство МИСИ – МГУ
2021

УДК 626 : 628 : 696
ББК 38.76 : 36.77
Я47

Я47 **Яковлевские чтения** [Электронный ресурс] : сборник докладов XVI Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт инженерно-экологического строительства и механизации. — Электрон. дан. и прогр. (10,5 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-7264-2855-0

В сборник включены доклады XVI Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения», посвященной памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева.

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

Научное электронное издание

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

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021

Ответственный за выпуск *А.П. Андрианов*

Институт инженерно-экологического строительства и механизации
(ИИЭСМ НИУ МГСУ).
Тел.: +7 (495) 730-62-53
e-mail: iiesm@mgsu.ru

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

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

Верстка макета *Е.В. Орлова*

Подписано к использованию 27.04.2021. Объем данных 10,5 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, rio@mgsu.ru

Организатор конференции:

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

Научный комитет:

А.Р. Туснин – проректор, председатель научного комитета;

Д.В. Спицов – и.о. директора ИИЭСМ, сопредседатель;

В.А. Орлов – заведующий кафедрой ВиВ, заместитель председателя;

А.П. Андрианов – доцент кафедры ВиВ;

Е.С. Гогина – доцент кафедры ВиВ;

Н.А. Макиша – доцент кафедры ВиВ.

Рабочая группа конференции:

А.П. Андрианов – доцент кафедры ВиВ;

Н.А. Макиша – доцент кафедры ВиВ;

Е.В. Орлов – доцент кафедры ВиВ;

Р.Р. Шарипов – ст. преп. кафедры ВиВ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>С.А.А. Ахмед, Е.С. Гогина.</i> Оценка эффективности промышленных активированных углей для удаления фенола из сточных вод: кинетика адсорбции и моделирование изотермы	7
<i>В.В. Бирюков, С.А. Панкратов.</i> Измерение расхода воды в гидротехнических сооружениях промышленных предприятий. Разработка и применение оборудования для работы в сложных гидравлических условиях.....	16
<i>Е.В. Бондарчук, А.А. Коньгин, А.Г. Первов, А.Ф. Селиверстов, Л.С. Скворцов, А.В. Шептунов.</i> Технология обезвреживания фильтрата полигонов	26
<i>Е.В. Бондарчук, А.Б. Толмачёв, А.В. Шептунов.</i> Переработка осадков сточных вод в почвогрунт.....	31
<i>Т.Б. Брюхачева, Э.З. Мифтахова, А.М. Непогодин, М.Ю. Дягелев, А.А. Абрамова, В.Г. Исаков.</i> Особенности технологического расчета SBR реактора для очистки сточных вод	34
<i>М.Н. Васюткина, М.В. Таскаев, Е.М. Микрюкова.</i> Обзор основных методов очистки сточных вод от нефтепродуктов	42
<i>В.А. Головесов.</i> Решения проблем, возникающих при использовании установок обратного осмоса в питьевом водоснабжении	48
<i>О.Н. Горелая, С.В. Красковский.</i> Влияние дозы глицина на свойства сорбента для очистки водных сред от нефтепродуктов.....	56
<i>Л.Г. Дерюшев, Н.Л. Дерюшева.</i> Совершенствование методов расчета системы подачи и распределения воды на хозяйственно-питьевые нужды потребителям в жилых зданиях	60
<i>О.Н. Дьячкова.</i> Система контролирующих параметров рационального использования водных ресурсов	75
<i>Н.Б. Еремина, Н.В. Кахаева, А.Н. Эпов.</i> Глобальная высшая школа в области санитарии для достижения целей устойчивого развития ООН 6.2 и 6.3	84
<i>А.А. Ерхов, Е.А. Королёва.</i> Микробиологический анализ воздуха в процессе эксплуатации инженерных систем и санация трубопроводов... ..	92
<i>А.А. Ерхов.</i> Пожаротушение водяным туманом.....	114
<i>В.Г. Иванов, Н.А. Черников, Н.В. Твардовская.</i> Тонкослойный флотатор с камерой хлопьеобразования	125
<i>Д.О. Игнаткина, А.А. Геращенко.</i> Разработка технологии локальной очистки предприятия пищевой промышленности	129
<i>О.Г. Капинос, Н.В. Твардовская.</i> Защита напорных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения от гидравлических ударов с разрывом сплошности потока.....	137
<i>А.А. Кулаков.</i> Малые канализационные очистные сооружения: выбор технологических решений.....	141
<i>Е.М. Микрюкова, И.А. Николаев.</i> Сравнение вариантов бестраншейной прокладки трубопроводов водоснабжения	145

<i>М.В. Мороз.</i> Применение автомобильного транспорта в системах группового водоснабжения и водоотведения	153
<i>И.И. Павлинова, В.А. Смирнова.</i> Влияние процессов коррозии на систему водоотведения городов.....	162
<i>И.М. Перова, А.П. Андрианов.</i> Особенности механизма мембранной ультрафильтрации природных вод	167
<i>Е.В. Постнова, Е.В. Рунёв, Г.М. Захаревич.</i> Модель расчета надежности городских водопроводов с применением пакета Mathlab	172
<i>О.А. Продоус.</i> Уточненный вид расчетной зависимости для гидравлического расчета изношенных металлических водопроводных труб с внутренними отложениями	178
<i>И.Ю. Пурусова, К.И. Чижик, В.И. Щербаков.</i> Технологические параметры погружных насосов на водозаборных сооружениях из подземных источников	184
<i>М.А. Разаков.</i> Особенности обеспечения тепловой энергией городской канализационной насосной станции	189
<i>С.Г. Савенкова, Е.С. Гогина.</i> Особенности системы водоотведения поверхностного стока аэропортов.....	193
<i>А.В. Синицын, Ю.Е. Лившиц, Е.А. Клебанов, Н.А. Гоцкая.</i> Цифровой двойник водозабора как инструмент для оптимального управления добычей воды	201
<i>И.А. Синянский, О.И. Шипков, Е.В. Орлов, Е.А. Сергеева, О.Н. Зубарева.</i> Обеспечение санитарной надежности территорий при чрезвычайных ситуациях.....	206
<i>А.К. Стрелков, А.О. Базарова.</i> Применение биопрепарата для очистки сточных вод с высоким содержанием жиров, нефтепродуктов и фенольных примесей	209
<i>Р.Ж. Тулеушова, М.К. Наурызбаев, И.А. Абдурасулов.</i> Дистанционное зондирование стоков промышленных предприятий	213
<i>А.Ш. Токтогулова, И.А. Абдурасулов, Т.З. Масалбеков.</i> Гидротехническое сооружение для предотвращения образования ледяных заторов на реках Кыргызстана	220
<i>Д.В. Тырин, А.А. Сахарова.</i> Использование датчика протечки воды в системе водоснабжения	234
<i>В.Н. Фисенко.</i> О показателях экологической ответственности бизнеса в промышленных и коммунальных системах с насосами в низкоуглеродной экономике	237
<i>А.А. Цымбалов.</i> Методика и практика контроля пескования закольматированных скважин в ремонтно-восстановительных работах технологией ВИГДОС-СИЦА	245
<i>В.Р. Чупин, А.С. Душин.</i> Оценка надежности систем подачи и распределения воды	254
<i>Т.Н. Ширкова.</i> Разделение концентрата установок очистки фильтратов ТБО на растворы органических веществ и хлориды аммония..	265

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФЕНОЛА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД: КИНЕТИКА АДСОРБЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОТЕРМЫ

С.А.А. Ахмед, аспирант НИУ МГСУ; Е.С. Гогина, доц., к.т.н., НИУ МГСУ

Аннотация

Адсорбция фенола на активированном угле (АУ) считается одной из наиболее эффективных систем очистки сточных вод. В связи с этим была изучена эффективность двух промышленных АУ российского производства для очистки сточных вод от фенола. Образцы АУ включают порошкообразный активированный уголь (ПАУ) (производимый из березового угля) и дробленый активированный уголь (ДАУ) (производимый из скорлупы кокосового ореха). Исследование адсорбции было завершено при различных условиях изменения рН, влияния времени контакта и различных начальных концентраций фенола. Исследование было дополнительно расширено, чтобы выяснить кинетику адсорбции и модели изотерм, представленные изотермами Ленгмюра и Фрейндлиха. Результаты показали, что использованный АУ сохраняет максимальную адсорбционную способность в широком диапазоне рН от 2 до 9, показывая хорошую применимость для удаления фенола из различных сточных вод. Более того, механизм адсорбции с использованием обоих образцов АУ следовал псевдо-второму порядку и хорошо соответствовал модели изотермы Ленгмюра. Наконец, максимальная адсорбционная способность составила 185,19 и 172,41 мг/г для ПАУ и ДАУ соответственно, что свидетельствует о многообещающей эффективности удаления фенола из сточных вод.

1. Введение

Активированные угли (АУ) представляют собой адсорбирующие материалы с разнообразной областью применения благодаря своим структурным свойствам, химическим свойствам поверхности, а также потому, что они легко адаптируются к требованиям их применения. Одним из наиболее распространенных применений активированного угля является очистка воды [1]. АУ – углеродсодержащий материал с развитой пористой структурой и большой удельной поверхностью, который может быть получен из различного сырья с высоким содержанием углерода и, желателно, с низким содержанием неорганических соединений [1]. Производство АУ в основном зависит от используемого исходного материала, который, в свою очередь, выбирается в соответствии с такими важными факторами, как его доступность, возможности обработки и низкая стоимость исходного материала [2]. Промышленный синтез АУ в России производится в основном из крупномасштабного угля и скорлупы кокосовых орехов в качестве нового

сырья. Кроме того, товарный АУ производится в основном в трех распространенных физических формах: порошковый активированный уголь (ПАУ), измельченный активированный уголь (ДАУ) и гранулированный активированный уголь (ГАУ) [3].

Фенол – это органическое соединение, содержащееся в сточных водах, сбрасываемых из многих отраслей промышленности, таких как нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, угольная, фармацевтическая, полимерная и пестицидная промышленность [4]. Фенолы считаются приоритетными загрязнителями, поскольку они вредны для организмов при низких концентрациях, и многие из них были классифицированы как опасные загрязнители из-за их способности причинять вред здоровью человека [5]. В опубликованной литературе описано несколько физических и химических методов удаления фенола из загрязненных сточных вод. Некоторые из этих методов включают: экстракцию растворителем [6], мембранное разделение [7], глубокое окисление [8] и адсорбцию [9]. Однако удаление фенола с помощью АУ считается наиболее эффективным и простым методом. Адсорбент на основе АУ был подтвержден как материал, применяемый в высокоэффективной технологии удаления фенола. Таким образом, основной целью данной работы является исследование эффективности удаления фенола с использованием двух коммерческих АУ в России в различных условиях.

2. Материалы и методы

2.1. Материалы

Два разных образца АУ были получены от компании Эелинский Групп-Сорбент, Пермь, Россия. Образцы АУ классифицированы как ПАУ (ТУ 20.59.54-878-05795731-2018) и ДАУ (ТУ 20.59.54-877-05795731-2018). В табл. 1 представлена дополнительная информация о физических свойствах используемых АУ. Кроме того, использовались разные реагенты, такие как Фенол (чда) (ТУ 2632-007-29483781-2008, Химмед, Москва, Россия), Натрий гидроокись (чда, ГОСТ 4328-77, Россия), Соляная кислота (осч 26-4, ГОСТ 14261-77, Россия).

Таблица 1

Технические характеристики используемых активированных углей

АУ Образец	ПАУ	ДАУ
Коммерческое название	ЭКСТРАСОРБ-101	КАУСОРБ 6x12
Сырой материал	Березовый уголь	Кокосовая скорлупа
Физическая форма	Порошок	Неправильная форма (Дробленый)
Размер частиц (мм)	< 0,105	1,68-3,36

2.2. Эксперименты по адсорбции фенола

Эксперименты по адсорбции одного растворенного вещества проводили партиями в стеклянных флаконах объемом 100 мл с учетом различных параметров адсорбции, включая влияние pH (2-11), время контакта (0-360 мин) и начальную концентрацию фенола (5-300 мг./л) при комнатной температуре. Изучение изотермы адсорбции фенола было выполнено с использованием 100 мл растворов с исходной концентрацией фенола от 5 до 300 мг/л и 1 г/л АУ в течение 120 мин времени контакта. Причем кинетику адсорбции проводили с использованием 400 мл раствора 100 мг/л фенола и 1 г/л АУ в интервале времени от 0 до 60 мин. Всем системам позволяли достичь равновесия, и каждый образец фильтровали с использованием фильтровальной бумаги 0,2 мкм для дальнейшего анализа.

2.3. Аналитический метод

Начальные и конечные значения pH образцов растворов измеряли рН-метром / Ионмер ИТАН (Россия). Фильтровальную бумагу толщиной 0,2 мкм использовали для фильтрации образцов, собранных в ходе серийных экспериментов. Начальную и конечную концентрацию фенола анализировали на спектрофотометре UV-Vis 2800 (Unico, США) при длине волны 277 нм. Для каждой серии экспериментов были построены отдельные калибровочные кривые с использованием подготовленных холостых образцов для каждого экспериментального запуска цикла.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Влияние pH

Влияние начального pH на адсорбцию фенола из одного растворенного вещества исследовали при различных значениях pH от 2 до 11. На рис. 1-а показаны соответствующие результаты для адсорбционных систем с исходной концентрацией фенола 100 мг/л и 1 г/л различных образцов АУ при времени равновесного контакта 120 мин. Показано, что изменение pH не влияет на концентрацию фенола в холостых пробах. Возможно, это связано с высоким значением рКа фенола, равным 9,99 [10], что означает, что он появится в недиссоциированной форме при $\text{pH} < 9$ [10]. Стоит отметить, что изменение pH от 2 до 9 не влияет на эффективность обработки введенным АУ. Однако удаление фенола резко снижается при $\text{pH} > 9$ при использовании ДАУ и постепенно уменьшается при использовании ПАУ. Ду и др (2017) [1] наблюдали аналогичные тенденции в своем исследовании удаления фенола с использованием синтезированной иерархически пористой углеродной сети, легированной азотом (NHPC), полученной из костей крупного рогатого скота. Некоторые исследователи связывают стабильность удаления фенола при $\text{pH} < 9$ с его химическим взаимодействием с поверхностными функциональными группами АУ (О-Н и С = О) по механизму электронодонорно-акцепторной реакции [11]. Где функциональные группы

АУ действуют как донор электронов, а фенол – как акцептор электронов. Возможно, этот механизм реакции мог объяснить удаление фенола.

Уменьшение адсорбции фенола могло быть вызвано двумя причинами. Во-первых, отрицательные заряды на поверхности АУ увеличивались с увеличением рН, а фенол переходил из молекулярного состояния в ионное, что делало силу отталкивания между ионами фенола и АУ значительной. Во-вторых, при таком значении рН происходит диссоциация фенола, поскольку рКа фенола составляет 9,98 [10]. Образовавшиеся фенолят-анионы (-ve) были более растворимы в водном растворе, и более сильные связи адсорбат-вода должны быть разорваны, прежде чем может произойти адсорбция [12-14]. Диапазон 5-7, значение рН 5,5 было выбрано как оптимальное для фенола и использовалось для других экспериментов по адсорбции.

3.2. Влияние времени контакта и кинетики адсорбции

Результаты серийных экспериментов, проведенных с 100 мл растворов фенола с концентрацией 100 мг/л и 1 г/л АУ, представлены на рис. 1-б. Для системы ПАУ / фенол наблюдается первоначальное резкое поглощение в первые 5 минут с последующим постепенным поглощением, тогда как для системы ДАУ / фенол наблюдается только постепенное поглощение.

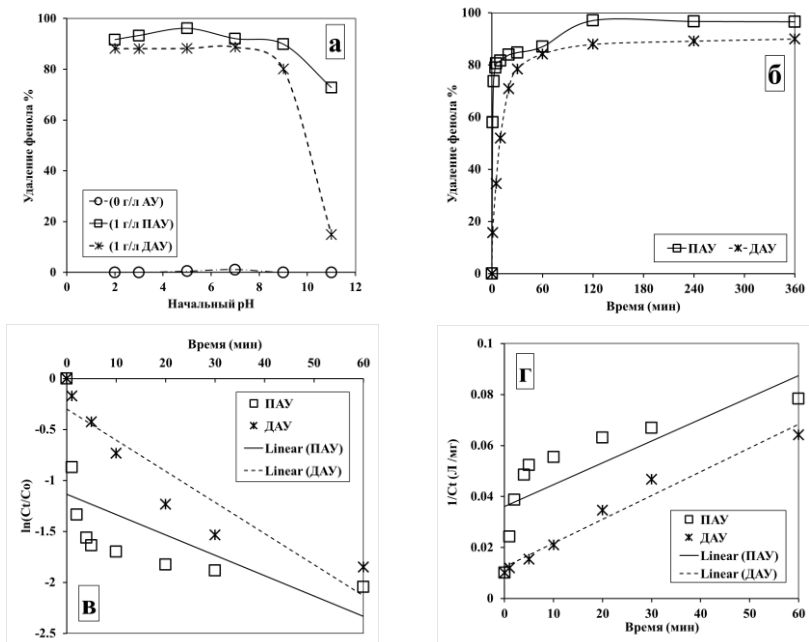


Рис. 1. (а) Влияние изменения рН, (б) Влияние времени контакта на адсорбцию фенол: [100 мг/л фенола, 1 г/л АУ], 120 мин.а, (в) Псевдо первый порядок, (г) псевдо второй порядок кинетики адсорбции: [100 мг/л фенола, 1 г/л АУ, исходный рН 5,5]

В течение 60 минут адсорбция достигает плато/насыщения с небольшим увеличением по мере увеличения времени контакта до 120 минут в случае использования ПАУ. Принимая во внимание этот полученный результат, время равновесия 120 минут было выбрано для всех других экспериментов по адсорбции фенола, чтобы гарантировать, что условия равновесия хорошо установлены. Данные, показанные на рис. 1-б, были подобраны под кинетические модели первого и второго порядка, как показано ниже уравнениями 1 и 2, соответственно [15, 16]. Соответствующие данные кинетики псевдопервого порядка показаны на рис. 1-в, а кинетика псевдо второго порядка представлена на рис. 1-г. Рассчитанные значения коэффициента корреляции (R^2) в табл. 2 показывают, что процесс адсорбции хорошо описывается моделью псевдо второго порядка с гораздо большим R^2 ($R^2 = 0,623$ в случае ПАУ, $R^2 = 0,9669$ в случае ДАУ), чем модель псевдопервого порядка, аналогичная модели адсорбции фенола [1].

$$\ln C_t / C_0 = -K_1 \cdot t \quad (1)$$

$$1/C_t = K_2 \cdot t + 1/C_0 \quad (2)$$

где K_1 – константа скорости кинетики псевдопервого порядка ($ч^{-1}$). K_2 – константа скорости кинетики псевдо второго порядка (л/мг.ч). C_0 – начальная концентрация фенола (мг/л). C_t – концентрация фенола в момент времени t (мг/л).

Таблица 2

Кинетические параметры адсорбции фенола на АУ

АУ Обра- зец	Параметры псевдопервого порядка		Параметры псевдо второго порядка	
	Константа скорости K_1 ($ч^{-1}$)	R^2	Константа скорости K_2 (л/мг.ч)	R^2
ПАУ	1,194	0,3817	0,054	0,623
ДАУ	1,83	0,8603	0,054	0,9669

3.3. Изотерма адсорбции

Изотерма адсорбции, представленная на рис. 2-а, связывает соответствующую адсорбционную емкость (q_e) с равновесной концентрацией фенола (C_e). Соответствующие результаты показывают, что адсорбция фенола на поверхность АУ следует типичной тенденции ленгмюровского типа. Это постепенное увеличение адсорбционной способности q_e , отмеченное с увеличением значения C_e [17].

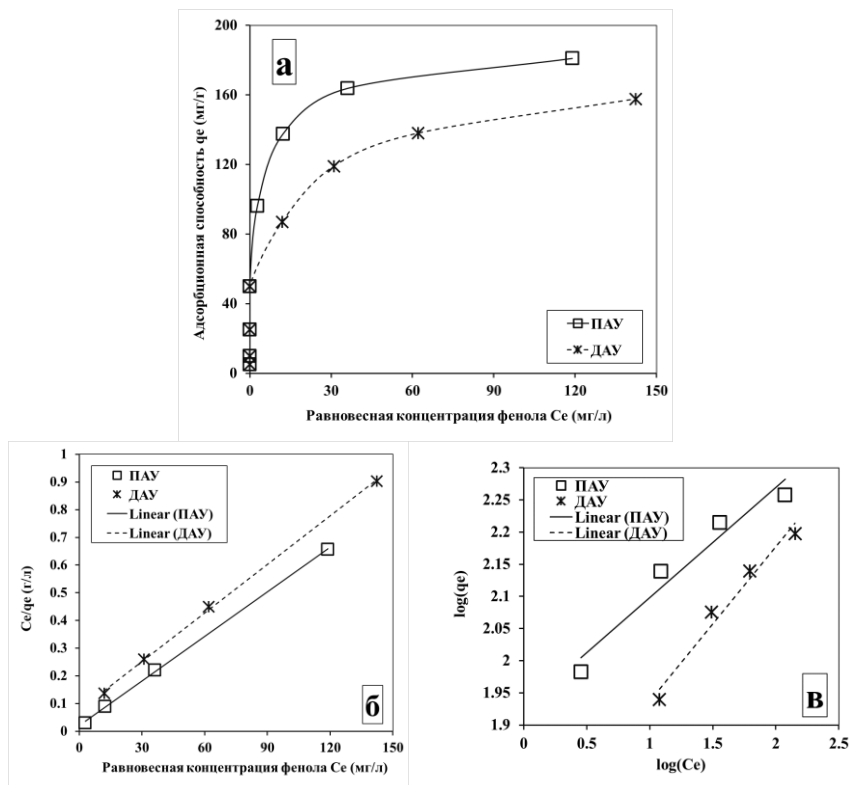


Рис. 2. (а) Изотерма адсорбции удаления фенола, (б) Ленгмюра, (в) изотерма адсорбции Фрейндлиха: [1 г/л АС, рН 5,5, 120 мин]

Первоначально увеличение адсорбции фенола с увеличением его начальной концентрации в воде могло произойти из-за более высокой движущей силы массопереноса ионов фенола от объемной водной фазы к объемной твердой фазе. Тем не менее, когда доступные центры достигают состояния насыщения, чистая адсорбция также стабилизируется из-за равновесия между поверхностью АУ и фенолом [18]. Эти тенденции были впервые смоделированы с использованием изотермы Ленгмюра (рис. 2-б), которая дается уравнением (3) и ее линеаризованная форма в соответствии с уравнением (4) [15, 19]:

$$q_e = \frac{q_e K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L(q_m)} + C_e \left(\frac{1}{q_m} \right) \quad (4)$$

где C_e – это равновесная концентрация фенола (мг/л), q_e – адсорбционная способность (мг/г), q_m – максимальная адсорбционная способность (мг/г), а K_L – постоянная Ленгмюра (л/мг). Данные адсорбции также были подогнаны к изотерме Фрейндлиха (рис. 2-в) в соответствии с моделью изотермы Фрейндлиха (уравнение 5) и ее линеаризованной формой (уравнение 6) [15, 19].

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (5)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log(C_e) \quad (6)$$

где n – интенсивность адсорбции, а K_F – коэффициент емкости Фрейндлиха [(мг/г) (л · мг⁻¹)^{1/n}]. Параметры моделей приведены в табл. 3. Более высокое значение (R^2) указывает на то, что модель Ленгмюра больше подходит для описания процессов адсорбции.

Таблица 3

Константы изотерм адсорбции для изотерм Ленгмюра и Фрейндлиха для адсорбции фенола на поверхности АУ

АУ Об-разец	Параметры изотермы Ленгмюра			Параметры изотермы Фрейндлиха		
	q_m (мг/г)	K_L (л/мг)	R^2	K_F [(мг/г)(л/мг) ^{1/n}]	n	R^2
ПАУ	185,19	0,2584	0,9996	84,528	5,8445	0,9508
ДАУ	172,41	0,0757	0,9993	49,923	4,1754	0,9701

Выводы

Представленные результаты показали, что эффективность АУ может зависеть от используемого сырья и физической формы. ПАУ показал быстрое удаление фенола и более высокую адсорбционную способность, чем ДАУ. Однако ДАУ также ввел приемлемое удаление фенола. Кроме того, не требуется особая фильтрация, как в ПАУ (например, фильтрация). Кроме того, удаление фенола проводили в различных экспериментальных условиях, включая pH, начальную концентрацию фенола и время контакта. Наконец, кинетика адсорбции и моделирование изотермы были исследованы и хорошо описаны. Действительно, коммерческий АУ в России показал большую стабильность для использования для обработки загрязненных фенолом водных потоков при низких и высоких концентрациях.

Библиографический список

1. Du, W. et al. Biomass-derived nitrogen-doped hierarchically porous carbon networks as efficient absorbents for phenol removal from wastewater over a wide pH range. *RSC Adv.* 7, 46629–46635 (2017).
2. Xie, B. et al. Adsorption of Phenol on Commercial Activated Carbons: Modelling and Interpretation. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 1–13 (2020).
3. Исаева, Л.Н., Тамаркина, Ю.В., Бован, Д.В. & Кучеренко, В.А. Адсорбция Фенола Активными Углями, Полученными Термолизом Бурого Угля С Гидроксидом Калия. *Журнал Сибирского Федерального Университета. Химия* 2, 25–32 (2009).
4. Ahmaruzzaman, M. Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review. *Adv. Colloid Interface Sci.* 143, 48–67 (2008).
5. Kahru, A., Põllumaa, L., Blinova, R., Reiman, R., Rätsep, A. Chemical versus toxicological analysis in characterization of phenolic pollution: a test battery approach. (1998).
6. Greminger, D.C., Burns, G.P., Lynn, S., Hanson, D.N. & King, C.J. Solvent Extraction of Phenols from Water. *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* 21, 51–54 (1982).
7. Raza, W. et al. Removal of phenolic compounds from industrial waste water based on membrane-based technologies. *J. Ind. Eng. Chem.* 71, 1–18 (2019).
8. Nickheslat, A., Amin, M.M., Izanloo, H., Fatehizadeh, A. & Mousavi, S.M. Phenol photocatalytic degradation by advanced oxidation process under ultraviolet radiation using titanium dioxide. *J. Environ. Public Health* 2013, (2013).
9. Andriantsiferana, C. et al. Competitive Adsorption of p -Hydroxybenzoic Acid and Phenol on Activated Carbon: Experimental Study and Modeling. *J. Environ. Eng.* 139, 402–409 (2013).
10. Dabrowski, A., Podkościelny, P., Hubicki, Z. & Barczak, M. Adsorption of phenolic compounds by activated carbon - A critical review. *Chemosphere* 58, 1049–1070 (2005).
11. Gundogdu, A. et al. Adsorption of phenol from aqueous solution on a low-cost activated carbon produced from tea industry waste: Equilibrium, kinetic, and thermodynamic study. *J. Chem. Eng. Data* 57, 2733–2743 (2012).
12. Busca, G., Berardinelli, S., Resini, C. & Arrighi, L. Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments. *J. Hazard. Mater.* 160, 265–288 (2008).
13. Lü, G. et al. The adsorption of phenol by lignite activated carbon. *Chinese J. Chem. Eng.* 19, 380–385 (2011).
14. Yang, G., Chen, H., Qin, H. & Feng, Y. Amination of activated carbon for enhancing phenol adsorption: Effect of nitrogen-containing functional groups. *Appl. Surf. Sci.* 293, 299–305 (2014).

15. Clair Sawyer, Perry McCarty, G. P. Chemistry for Environmental Engineering and Science. (Mc Graw Hill, 2003).
16. Qiu, H. et al. Critical review in adsorption kinetic models. *J. Zhejiang Univ. Sci. A* 10, 716–724 (2009).
17. Yener, J., Kopac, T., Dogu, G. & Dogu, T. Dynamic analysis of sorption of Methylene Blue dye on granular and powdered activated carbon. *Chem. Eng. J.* 144, 400–406 (2008).
18. Srivastava, V.C., Swamy, M.M., Mall, I.D., Prasad, B. & Mishra, I.M. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 272, 89–104 (2006).
19. Metcalf & Eddy Inc., George Tchobanoglous, Franklin L Burton, H. D. S. Wastewater engineering: treatment and reuse. (2003).

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В СЛОЖНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В.В. Бирюков, технический директор; **С.А. Панкратов**, заместитель генерального директора по управлению проектами в энергетическом секторе, ООО НКФ «Волга»

Введение

Эффективное и рациональное использование водных ресурсов на промышленных предприятиях и при генерации электрической энергии невозможно без высокоточного учета воды. Внедрение узлов учета потребляемой и сбрасываемой воды позволяет решить три основные задачи: водохозяйственный учет, обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений и оптимизация производственных процессов, направленная на снижение водопотребления при заданных технических характеристиках промышленного объекта. Однако зачастую конструкция имеющихся ГТС, особенно на крупных объектах, таких как транспортные водные магистрали и электростанции, не позволяет использовать обычные расходомеры и стандартные способы их установки. Поэтому вопрос разработки надежных инновационных методов и технологий для решения такого рода задач стоит как никогда остро. Разработки НКФ «Волга», позволяют в течение многих лет непрерывно с высокой точностью измерять расход воды в водоводах большого и среднего размера там, где еще вчера это было практически невозможно.

Описание проблемы

Большинство стандартных существующих методов измерения расхода в водоводах основаны на предположении, что течение в створе измерения является равномерным и установившимся. Это обеспечивается только при наличии достаточно больших длин прямых участков водовода до и после створа измерения при неизменной площади поперечного сечения водовода. Однако реальный конструктив ГТС в большинстве случаев не позволяет обеспечить подобные условия. Это означает, что в измерительном створе течение не установилось, эпюра скорости продолжает изменяться по длине, и в каждой точке потока присутствуют поперечные составляющие вектора осредненной скорости турбулентного потока, которые могут вносить существенную погрешность в измерения. В таких условиях использование стандартных методик измерений невозможно, и для решения измерительных задач необходимо использовать научный и инженерный инструментарий, который позволяет отсечь влияние на результаты измерений компонент вектора скорости, не отвечающих за расход. Таким инструментом являются специальные комплексные гидравлические исследования, как модельные (физические и численные), так и натурные. Данные натурных измерений

используются для валидации результатов, полученных ранее на физической и/или численной модели. Наиболее современным и точным способом непрерывного измерения расхода на водоводах большого и среднего сечения является измерение с использованием акустических (ультразвуковых) многолучевых времяимпульсных расходомеров.

Основы времяимпульсного метода измерения расхода

Времяимпульсный метод измерения расхода (в зарубежной терминологии «Transit-Time») основан на разности времени прохождения акустического сигнала под углом к оси водовода между акустическими преобразователями (АП) в прямом и обратном направлениях.

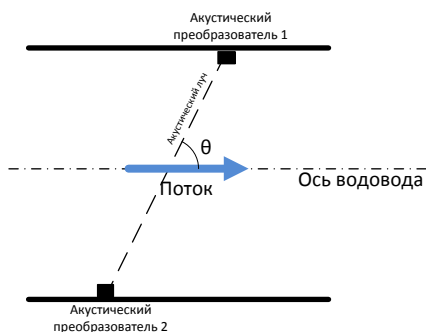


Рис. 1.

$$T_{i \text{ прям}} = \frac{L_i}{c + v_i \cos \theta}$$

$$T_{i \text{ обр}} = \frac{L_i}{c - v_i \cos(\theta)}$$

где $T_{i \text{ прям}}$ – время прохождения акустического сигнала от АП2 до АП1 на i -ом луче; $T_{i \text{ обр}}$ – время прохождения акустического сигнала от АП1 до АП2 на i -ом луче; c – скорость звука в неподвижной воде; v_i – средняя скорость течения вдоль i -го акустического луча; L_i – длина i -го акустического луча (расстояние между АП1 и АП2); θ – угол между акустическим лучом и осью водовода.

$$v_i = \frac{(T_{i \text{ прям}} + T_{i \text{ обр}})}{(T_{i \text{ прям}} * T_{i \text{ обр}})} * \frac{L_i}{2 \cos(\theta)}$$

Объемный расход через створ измерения равен сумме элементарных расходов по всей площади сечения.

$$Q = \sum_{i=1}^N \Delta Q_i = \sum_{i=1}^N v_i * L_i * \Delta z$$

где Q_i – элементарный расход i -ой области; v_i – осредненная продольная скорость через i -й акустический луч; D_z – высота i -го участка; L_i – проекция i -го акустического луча.

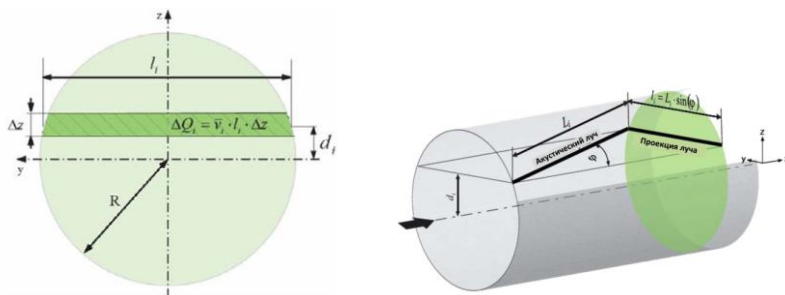


Рис. 2.

Для вычисления объемного расхода применяются различные методы интегрирования, основные из них на сегодня: Гаусса-Якоби для круглого поперечного сечения и Гаусса-Лежандра – для прямоугольного поперечного сечения.

$$Q = \frac{D}{2} \sum_{i=1}^N w_i * v_i * L_{proj i}$$

Таблица 1

Число лучей	Гаусс-Якоби		Гаусс-Лежандр	
	Расположение луча $d_i/(D/2)$	Весовой коэффициент	Расположение луча $d_i/(D/2)$	Весовой коэффициент
2	0,5	0,906900	0,577350	1
4	0,309017	0,597566	0,993981	0,652145
	0,809017	0,369316	0,861136	0,347855

Соответственно выбранному методу интегрирования назначаются весовые коэффициенты для каждого акустического луча расходомера. Однако эти коэффициенты верны только при условии наличия равномерного

установившегося течения. Если это условие не выполнено, появляются поперечные составляющие вектора осредненной скорости, не отвечающие за расход, и весовые коэффициенты каждого луча должны быть скорректированы. Как же определить поправочные коэффициенты?

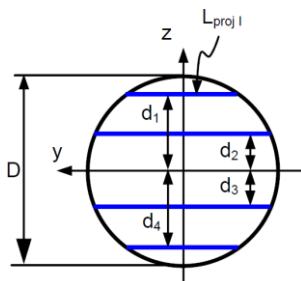


Рис. 3.

Применение времяимпульсных расходомеров для измерения расхода в напорных и безнапорных водоводах со сложными гидравлическими условиями

Современное специальное программное обеспечение для решения задач гидродинамики (CFD) позволяет построить 3D модель водовода, смоделировать течение в нем и определить все три составляющие вектора осредненной скорости турбулентного потока v_x , v_y , v_z в каждой его точке. Установив многолучевой расходомер, можно достоверно определить интегральную величину проекции вектора скорости потока на каждый акустический луч многолучевой системы и проверить численную модель на соответствие реальному физическому явлению. Интегральная проекция скорости на каждом акустическом луче, полученная на модели, и измеренная на натурном объекте, должны соответствовать друг другу. Знание всех трех составляющих осредненной скорости в каждой точке акустического луча позволяет скорректировать весовые коэффициенты таким образом, чтобы исключить «паразитное» влияние на измерения поперечных составляющих скорости потока.

Пример 1. Шульбинская ГЭС

Шульбинская ГЭС на реке Иртыш в республике Казахстан – классическая низконапорная русловая гидроэлектростанция. Турбинный водовод каждого из гидроагрегатов ГЭС разделен на два водовода, представляющих из себя полигональные сужающиеся по вертикали и горизонтали железобетонные каналы, соединяющиеся непосредственно перед спиральной камерой. НКФ «Волга» были установлены акустические расходомеры со створами измерения в каждом из каналов на гидроагрегате № 4. Учитывая отсутствие протяженных прямых участков, было принято решение построить

численную модель течения и использовать данные модели для корректировки весовых коэффициентов. В результате проведенных для различных режимов работы ГЭС исследований было установлено, что «паразитные» составляющие вектора скорости вносят погрешность в суммарный расход более 20%.

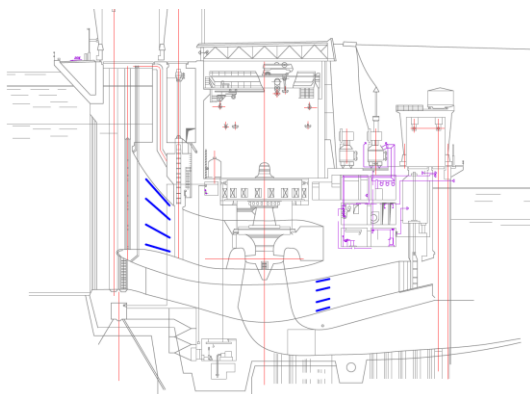


Рис. 4.

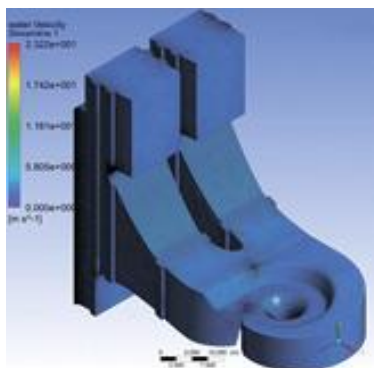


Рис. 5.

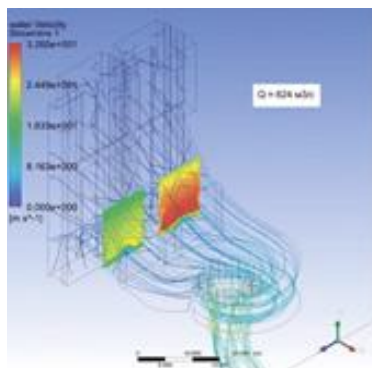


Рис. 6.

Пример 2. Насосная станция № 31 Волго-Донского судоходного канала

Насосная станция имеет три насосных агрегата с отдельными подводными сужающимися по высоте и ширине водоводами. Для обеспечения максимальной точности при проектировании, монтаже и наладке расходомера, а также построения численной модели, специалисты НКФ «Волга» провели сканирование внутренней поверхности всасывающих камер. CFD модель включала в себя также часть подводного канала с длинной, необходимой для учета гидравлического влияния на измерительный створ. Гид-

родинамические исследования для различных режимов работы насосной станции, в том числе при асимметричной работе насосных агрегатов, позволили уточнить положение измерительных створов таким образом, чтобы весовые коэффициенты соответствовали стандартному методу интегрирования Гаусса-Лежандра.

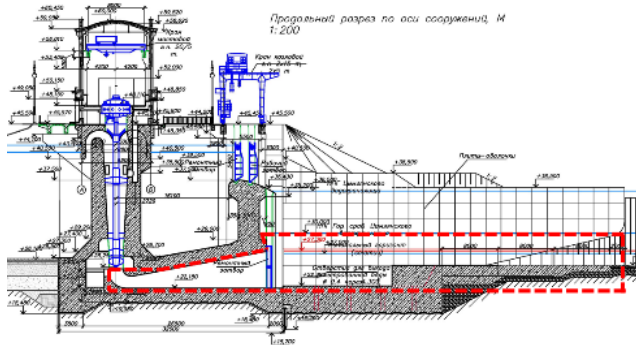


Рис. 7

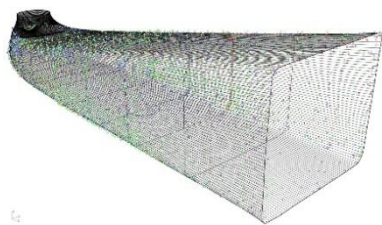


Рис. 8.

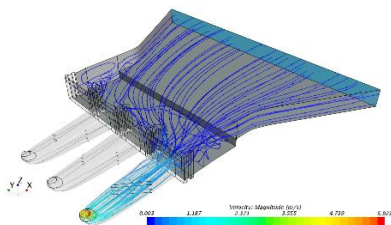


Рис. 9.

Расходомер Волга МЛ

Акустический многолучевой времяимпульсный расходомер Волга МЛ собственной разработки НКФ «Волга» является воплощением опыта и профессиональных знаний в области гидротехники, гидравлики, акустики и приборостроения. При его создании мы опирались на ведущие мировые тренды в расходомерии для средних и крупных ГТС, российские и международные стандарты, а также на собственный многолетний опыт проектирования, установки и наладки расходомеров иностранных и российских производителей. Расходомер Волга МЛ производится в портативном и стационарном исполнении и может применяться как для временных, так и для постоянных измерений, в водоводах с напорным, безнапорным и переменным (напорно-безнапорным течением) в т.ч. в сложных гидравлических условиях.

Основные сферы применения

- Станции водоподготовки, транспортировки и распределения воды.
- Турбинные водоводы высоко-, средне- и низконапорных (в том числе русловых) ГЭС, деривационные каналы и водосбросы.
- Водоводы систем технического водоснабжения ТЭС (КЭС, ТЭЦ и пр.) и АЭС.
- Объекты ЖКХ и транспортной инфраструктуры (очистные сооружения, станции водоподготовки, судоходные и транспортные магистрали, канализационные системы, насосные станции и др.).
- Системы ирригации и мелиорации, естественные русла рек.
- Узлы коммерческого учета для взаиморасчетов между хозяйствующими субъектами.

Преимущества

- Разработан специально для условий многолетней эксплуатации на гидротехнических сооружениях в любой климатической зоне и в сейсмоопасных районах.
- Может быть использован в коротких водоводах сложной изменяющейся по длине формы.
- Гибкая модульная разветвленная архитектура позволяет существенно снизить стоимость системы при большом количестве измерительных створов.
- Интеллектуальная функция натурного измерения гидравлических характеристик течения позволяет получать точные данные измерений даже тогда, когда уровень воды существенно снижается, а акустические лучи (часть или даже все) оказываются над водным потоком.
- Высокая точность измерений.
- Полноцветный сенсорный экран с интуитивно понятным интерфейсом.
- Широкий ряд высоконадежных акустических преобразователей для водоводов различной формы, выполненных из разных конструкционных материалов, как скрытых в скале и грунте, так и открытых.
- Полное соответствие требованиям стандартов МЭК IEC60041, ASME PTC-18, ISO6416, ГОСТ Р 51657.5-2002.
- Возможность имитационной периодической поверки на объекте без демонтажа расходомера.
- Режим самодиагностики.
- Регистрация времени наработки, ведение журналов событий и ошибок.
- Широкие проводные и беспроводные коммуникационные возможности.
- Доступны общепромышленное, компактное, портативное и встраиваемое исполнение вторичного измерительного преобразователя.



Общепромышленное исполнение вторичного измерительного преобразователя



Портативное исполнение вторичного измерительного преобразователя



Врезной



Накладной изнутри



Накладной изнутри



Накладной изнутри



Накладной изнутри

Рис. 8. Типы первичных акустических преобразователей

Таблица 2

Технические и метрологические характеристики

1	2
Максимальный диаметр/ширина напорного водовода, м	15
Максимальная ширина открытого канала или естественного русла, м	100
Диапазон измерения средней скорости потока, м/с	0,05...20
Относительная погрешность измерения объемного расхода при напорном режиме течения, %	до $\pm 0,2^*$
Относительная погрешность измерения объемного расхода при безнапорном режиме течения, %	до $\pm 1,0^{**}$
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерения расстояния до границы раздела сред (глубины и положения дна или твердых наносов), %	$\pm 0,3$
Габаритные размеры вторичного измерительного преобразователя общепромышленного исполнения, мм	500x700x250
Габаритные размеры вторичного измерительного преобразователя портативного исполнения, мм	410x330x210
Максимальная потребляемая мощность, Вт	80
Напряжение электропитания, В	220 \pm 10%
Степень защиты первичных акустических преобразователей	IP68
Степень защиты вторичного измерительного преобразователя в закрытом виде	IP65
Масса вторичного измерительного преобразователя общепромышленного исполнения, кг	30

1	2
Масса вторичного измерительного преобразователя в портативном исполнении, кг	6
Средний срок службы, лет	14

* - в зависимости от скорости течения, схемы измерения и особенностей водовода.

** - в зависимости от скорости течения, схемы измерения, особенностей водовода и погрешности датчика глубины.

Высокая точность измерения объемного расхода была неоднократно подтверждена в испытательных лабораториях ВНИИМ им. Менделеева (г. Санкт-Петербург), ООО «КРОНЕ-Автоматика» (г. Самара)

Заключение

Измерение объемного расхода с достаточной точностью в водоводах со сложными гидравлическими условиями возможно при соблюдении ряда условий, а именно:

- Позиционирование первичных акустических преобразователей расходомеров должно быть выполнено с максимальной точностью с применением высокоточного измерительного оборудования. В отдельных случаях необходимо выполнять сканирование водоводов. Это обусловлено тем, что в настоящее время отсутствует физическая возможность калибровки расходомерных систем на больших водоводах каким бы то ни было методом.
- Выполнение модельных (физических и/или численных) исследований с последующей валидацией натурными измерениями многолучевыми акустическими расходомерами.
- Исполнение первичных преобразователей должно быть максимально надежным, оказывающим минимальное воздействие на структуру течения, имеющее минимально возможное гидравлическое сопротивление.

НКФ «Волга» обладает необходимыми знаниями, многолетним опытом и оборудованием собственной разработки для оказания услуг по внедрению и эффективной эксплуатации систем измерения расхода как на водоводах со нормальными гидравлическими условиями, так и в сложных случаях.

Библиографический список

1. T. Tresch, P. Gruber, T. Staubli. Comparison of integration methods for multipath acoustic discharge measurements, IGHEM 2006, Portland, http://www.ighem.org/Papers_IGHEM/185.pdf.

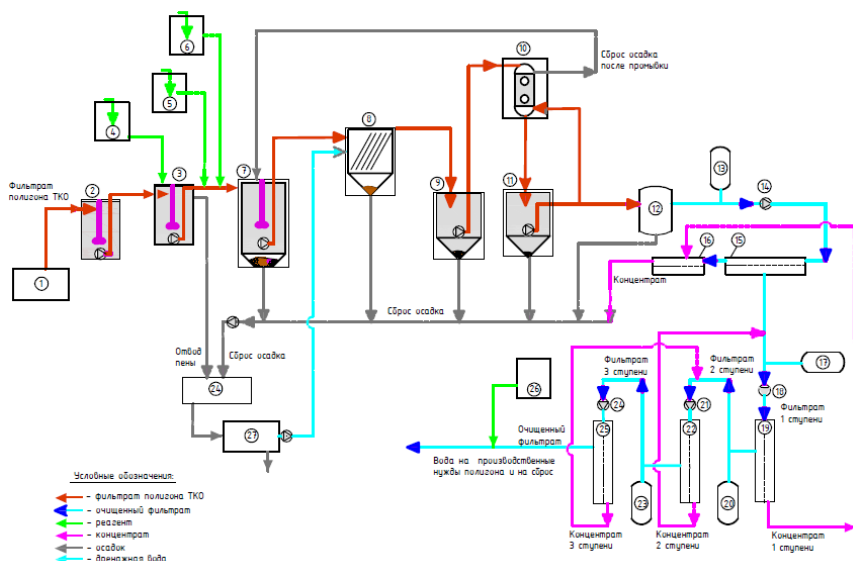
2. S. Marushchenko, P. Gruber, T. Staubli. Approach for Acoustic Transit Time flow measurement in sections of varying shape: Theoretical fundamentals and implementation in practice, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 49, June 2016.
3. IEC 60041: Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, Storage, pumps and pump turbines, IEC 1991.
4. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. Chi Wang, Tao Meng, He-ming Hu, Liang Zhang. Accuracy of the ultrasonic flow meter used in the hydroturbine intake penstock of the Three Gorges Power Station. National Institute of Metrology, Beijing, China, 2012.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ФИЛЬТРАТА ПОЛИГОНОВ

Е.В. Бондарчук, ген. директор, «НПО «Квантовые Технологии»; **А.А. Коныгин**, к.т.н., член-корр. РАЕН, «НПО «Квантовые Технологии»; **А.Г. Первов**, проф., д.т.н., академик РАЕН, НИУ МГСУ; **А.Ф. Селиверстов**, ведущий научный сотрудник ИФХЭ РАН; **Л.С. Скворцов**, д.т.н., академик РАЕН, «НПО «Квантовые Технологии»; **А.В. Шегунов**, зам. ген. директора, «НПО «Квантовые Технологии»

Исследования, проведенные в ИФХЭ им. А.Н.Фрумкина РАН показывают, что до 80% вклада в ХПК фильтрата дают гуминоподобные вещества, образовавшиеся в результате биохимических превращений органических веществ в теле полигона ТКО. По своим химическим свойствам они аналогичны гуминовым кислотам т.е. **дают нерастворимые соли с тяжелыми металлами** (свинец, кадмий, цинк и др.) и **d-элементами** (железо, кобальт, никель и др.).

Для понимания процесса обезвреживания свалочного фильтрата обратимся к технологической схеме.



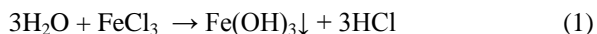
Условные обозначения:
— Фильтрат полигона ТКО
— Очищенный фильтрат
— реагент
— концентрат
— осадок
— дренажная вода

Рис. 1. Технологическая схема обезвреживания фильтрата полигонов ТБО: 1 – КНС; 2 – усреднитель; 3 – емкость; 4 – емкость для кислоты; 5, 6 – емкости для реагентов; 7 – реактор; 8 – отстойник; 9 – промежуточная емкость; 10 – контактный осветлитель; 11 – накопитель; 12 – микрофильтр; 13, 17, 20, 23 – бак-гидроаккумулятор; 14, 18, 21, 24 – насосы; 15 – нанофильтрационная установка; 16 – сборник концентрата; 19, 22, 25 – обратноосмотические установки; 26 – установка обеззараживания; 27 – установка обезвоживания осадка

Фильтрат по дренажной системе сбора с карт полигона ТБО направляется из канализационной насосной станции (1), через усреднитель (2) установки, в емкость (3) для обработки фильтрата кислотой, где осуществляется нейтрализация фильтрата до $pH = 7$.

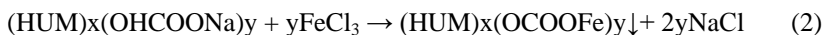
Значительная часть гуминовых кислот имеет высокую молекулярную массу и поэтому легко удаляется коагуляцией с гидроокисями металлов, образующимися в результате гидролиза их солей, в реактор (7) для обработки фильтрата.

Нейтрализуется главным образом гидрокарбонат натрия. При этом, получившееся значение pH фильтрата должно быть таким, чтобы после дозирования хлорида железа и его гидролиза до кислоты при коагуляции:



конечное значение pH в емкости для обработки фильтрата коагулянтном была бы в пределах 5,7-6,0.

В предлагаемой технологии используются все выше описанные свойства. Снижением pH до 5,7-6,0 получается оптимальное значение pH для осаждения гуминовых веществ. Хлорид железа, используемый в качестве коагулянта, помимо коагуляционной эффективности создаёт условия, при которых соли тяжёлых металлов переходят в нерастворимую форму в соединении с гуматами:



Использование данной технологии позволяет до 10 раз и более снизить ХПК очищаемого фильтрата.

Используя в качестве коагулянта хлорид железа, последний гидролизуется в реакции (1) с образованием гидроокиси железа, которая нейтрализует заряд коллоидного гумата и осаждает его. Кроме того, происходит прямое взаимодействие соли железа с карбоксильными группами гумата по формуле (2).

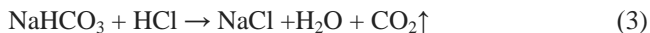
Известно, что гуматы обладают протекторными свойствами (способностью связывать в прочные комплексы ионы металлов [2], в результате чего значительно снижается их миграционная активность [3] и токсичность [4-6]).

Выбор железа в качестве осадителя определялся наличием фульвокислот. В монографии В.Д. Бабенкова [1] отмечалось, что очистка природных окрашенных вод (окраска определяется насыщением воды гуматами и фульвокислотами) коагуляцией лучше всего происходит при применении Fe^{+3} и $pH = 5,7-6,0$. Что и подтвердилось, в том числе, и в наших экспериментах.

Гуматы тяжелых металлов осаждаются вместе с гидроокисью железа. При этом, все свободные гуминовые кислоты будут связаны в прочный комплекс с нерастворимым в воде железом.

Поскольку ни ионы металлов, ни их комплексы не могут перейти в водную фазу, полученный в результате коагуляции осадок **будет малотоксичным**.

Необходимо учесть, что при нейтрализации фильтрата в реакторе будет происходить пенообразование, вызванное выделением углекислоты при нейтрализации гидрокарбоната натрия.



Пена поступает в систему пеногашения, откуда получившийся осадок направляется на утилизацию в резервуар-накопитель осадка (24).

Для обеспечения непрерывной работы технологического потока устанавливаются параллельно два аппарата, в одном из которых происходит корректировка pH и удаление пены, а из второго прошедший эту операцию фильтрат подается в емкость для проведения коагуляции.

Для проведения эффективной коагуляции необходимо быстрое и равномерное смешение фильтрата с реагентом. Поэтому подача коагулянта осуществляется либо через трубку Вентури, встроенную в систему подачи фильтрата, либо в отдельной емкости с высокоскоростной мешалкой.

После того как коагулянт смешается с потоком фильтрата и произойдет гидролиз, в поток через трубку Вентури подается флокулянт (анионный или катионный). Флокулянт ускоряет процесс образования крупных флоккул и их осаждение. Точка ввода в коммуникацию флокулянта зависит от состава раствора и температуры и обычно определяется экспериментально.

После окончания процесса коагуляции (10–15 мин) отделившаяся часть осадка откачивается в резервуар - **накопитель осадка (24)**.

Осветленный фильтрат из реактора (7) подается на **«тонкослойный отстойник» (8)**, из которого осадок также поступает в **накопитель осадка**.

После обезвоживания в шнековой установке (25), осадок с влажностью 70-80% утилизируется. Образовавшийся осадок представляет собой продукт 4-го класса опасности и может использоваться в качестве компонента изолирующего слоя на полигоне, либо подмешиваться к почвогрунту при рекультивации полигона.

Освобожденная от взвеси жидкость направляется в **тонкослойный отстойник (8)** для дальнейшего повторного использования в процессе очистки.

Из накопителя (9) через контактный осветлитель (10) фильтрат подается в накопитель (11).

Для доочистки фильтрата ТБО разработана каскадная мембранная технология производительностью 5 м³ в час. Установка имеет универсальное назначение и включает необходимое количество узлов, позволяющее осуществлять доочистку фильтрата ТБО после применения реагентного осаждения.

На мембранную установку поступает фильтрат, прошедший дополнительную очистку от мелких взвесей, для чего используется микрофильтр (12).

Разработанная каскадная мембранная технология позволяет очистку фильтрата ТБО осуществлять в три или четыре ступени в зависимости от величины общего соледержания, ХПК и концентрации аммония.

Весь процесс глубоко проработан экспериментально: на основе проведенных экспериментов определены типы мембран на каждой ступени, количество ступеней, минимальная достигаемая величина расхода концентрата.

Наиболее «проблемным» загрязнением является ион аммония, концентрация которого в очищенной воде должна отвечать требованиям сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения 0,2 мг/л. При обработке воды с применением современных низконапорных мембран обратного осмоса, снижение одновалентных ионов (натрия, аммония, хлорид-ионов) происходит в 100 раз.

Таким образом, чтобы получить требуемый уровень снижения аммония, нужно применить каскад, состоящий как минимум из трех ступеней, где пермеат первой ступени проходит обработку на второй ступени, пермеат второй ступени обрабатывается на третьей ступени и т.д. На каждой ступени величина «выхода фильтрата» (отношение расхода пермеата к общему расходу подаваемой в аппараты воды) имеет значение равное 0,9.

Предлагаемая схема уменьшения конечной величины концентрата состоит в том, что концентрат направляется в обратную сторону по отношению к пермеату. Соответственно, концентрат следующей ступени направляется на вход в предыдущую ступень, и так доходит до первой ступени откуда существенно сконцентрированные загрязнители направляются для смешения с осадком в накопитель осадка (24)

Проблему при очистке фильтрата ТКО представляет тот факт, что фильтраты ТКО имеют высокое соледержание и высокое значение ХПК. Поэтому достичь требуемой величины выхода фильтрата с применением мембран низкого давления для фильтратов ТКО с величиной соледержания выше 3000 мг/л и ХПК на уровне 4000 мг/л не представляется возможным, так как при увеличении значения выхода концентрата фильтрата наблюдается резкое падение производительности мембран. Именно поэтому в известных «кайзеровских» схемах чтобы добиться требуемой величины используют мембраны для опреснения морской воды, работающие под давлением 6-6,5 МПа.

Эксперименты показали (приведены в таблице ниже), что прошедший химобработку фильтрат ТКО может быть сконцентрирован более, чем в 50 раз, при этом производительность нанофильтрационных мембран падает всего в 1,5 раза при давлении 8-12 бар.

Как показывают эксперименты, нанофильтрационные мембраны лучше задерживают органические вещества, чем одновалентные ионы. Так, селективность нанофильтрационной ступени по ХПК составляет 80%, двухвалентных ионов – 70 %, одновалентных – 55%. После первой ступени обратного осмоса пермеат первой ступени практически представляет собой смесь хлоридов и карбонатов натрия и аммония.

**Технологические показатели комплексной схемы очистки фильтрата полигона
ТБО г. Александра Владимирской области**

Показатели	Исходная вода	После реагентной обработки	После 1-й ступ., мембраны НФ	После 2-й ступ., мембраны BLN	После 3-й ступ., мембраны BLN	После 4-й ступ., мембраны ВЕ
ХПК, мг/л	3987	605	120	35,6	15	2,4
рН	7,7	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8
Кальций, мг/л	190	-	-	-	-	-
Натрий, мг/л	1144	2100	950	300	50	10
Бикарбонаты, мг/л	76,0	13,6	7,6	3,7	2,5	1,2
Аммоний, мг/л	380	202	64	5,4	3,1	0,2
Нитраты, мг/л	0,3	-	-	-	-	-
Нитриты мг/л	1,2	-	-	-	-	-
Хлориды, мг/л	980	3500	1200	400	75,0	4,0
Сульфаты, мг/л	627,0	508,0	86,0	15,2	6,8	1,2
Железо, мг/л	36,0	5,6	0,8	0,6	0,5	0,1
Взвешенные в-ва, мг/л	329,0	20,0	-	-	-	-
БПК, мг/л	2690	391	-	-	-	-
Общее содержание, мг/л	3580	8130	2900	780	97,1	8,3

Примечание: Поскольку на всех полигонах и свалках качество фильтрата не одинаково, необходимо будет, используя хлорид железа в качестве коагулянта, индивидуально подбирать флокулянт на основе короткого лабораторного эксперимента. В этом случае работа установки обратного осмоса станет дешевле и эффективнее в эксплуатации.

Библиографический список

1. Бабенков В.Д. Очистка воды коагулянтами» – М.: Наука, 1977. 356 с.
2. Орлов Д.С. Гуминовые вещества в биосфере. – М.: Наука, 1993. 237 с.
3. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Кошечева И.Я. Геохимическая роль гумусовых кислот в миграции элементов. В сб. «Гуминовые вещества в биосфере». М.: Наука, 1993.
4. Frimmel F.H., Christman R.F. Humic Substances and their Role in the Environment // John Wiley&Sons, 1988.
5. Stevenson F.J. Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. // John. Wiley&Sons, New York, 1982, 443 p.
6. Варшал Г.М., Кошечева И.Я., Хушвахтова С.Д. и др. Комплексообразование ртути с гумусовыми кислотами как важнейший этап цикла ртути в биосфере // Геохимия. 1999. № 3. С.269-276.

ПЕРЕРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ПОЧВОГРУНТ

Е.В. Бондарчук, ген. директор, «НПО «Квантовые Технологии»; **А.Б. Толмачёв**, руководитель проектного офиса «Экология», «НПО «Квантовые Технологии»; **А.В. Шептунов**, зам. ген директора, «НПО «Квантовые Технологии»

В настоящее время проблема утилизации осадка сточных вод (ОСВ) стоит не менее остро, чем проблема утилизации твёрдых коммунальных отходов (ТКО) и является одной из актуальных проблем современности.

Ежегодно на очистных сооружениях Российской Федерации образуется около 100 миллионов тонн осадков сточных вод.

Бактериальная загрязнённость осадка огромна, что способствует заражению верхних слоёв почвы и грунтовых вод яйцами гельминтов, палочкой Коха, холерными вибрионами, вирусом тифа, паратифа, крымской лихорадки, сибирской язвы, чумы и др.

Попадая в благоприятные условия, яйца гельминтов проходят инвазионную стадию развития и становятся способными заражать людей и животных. В связи с высоким содержанием органических веществ осадок способен быстро гнить, распространяя фекальный запах.

Размещение осадков сточных вод на иловых картах сопровождается выделением токсичных газов, таких как: Метилмеркаптан (CH_3SH), Сероводород (H_2S), Аммиак (NH_3). Данные газы распространяются ветром на расстояния, превышающие санитарно-защитную зону.

Попадая в организм человека, они вызывают острое отравление, сопровождаемое головными болями, отдышкой, болью в горле, раздражением слизистых, химическими ожогами, отёками лёгких. Постоянный контакт человека с вышеперечисленными токсичными газами приводит к хроническому отравлению организма, или летальному исходу (в случае высокой концентрации газов).

Наряду с образованием газов в осадках сточных вод может содержаться большое количество солей тяжёлых металлов (Ртуту (Hg), Мышьяка (As), Кадмия (Cd), Свинца (Pb) и т.д.). При больших концентрациях солей тяжёлых металлов в организме человека происходит поражение центральной нервной системы, опорно-двигательного аппарата, поражается желудочно-кишечный тракт. Граждане, проживающие в непосредственной близости от очистных сооружений сильнее других подвержены различного рода заболеваниям, в том числе онкологическим.

9 августа 2019 г. вышел приказ Роспотребнадзора № 629 «О совершенствовании эпидемиологического надзора за паразитозами в Российской Федерации». П. 2.2.2. настоящего приказа запрещает «использование иловых площадок и длительного хранения осадка как самостоятельных дезинвазионных методов».

ОСВ является опасным отходом, который подлежит обеззараживанию и утилизации.

В настоящее время в Российской Федерации отсутствует унифицированный подход к утилизации ОСВ:

- В национальном проекте «Экология», нацеленном на обеспечение экологической безопасности Российской Федерации, в части ликвидации объектов накопленного вреда и формирования комплексной системы обращения с отходами, *не уделяется внимание утилизации накопленного осадка сточных вод.*

- Не налажен механизм взаимодействия между эксплуатирующими организациями водопроводно-канализационного хозяйства и органами власти, ответственными за реализацию территориальных схем обращения с отходами. Как следствие, *отсутствует понимание о включении мероприятий по утилизации накопленного осадка сточных вод в территориальные схемы обращения с отходами.*

Существуют методы, позволяющие утилизировать данный отход, такие как:

- *сжигание* (самый дорогой метод, себестоимость составляет от 3 до 7 тысяч рублей за 1 м³, также происходят выбросы вредных веществ в атмосферу),
- *термическая сушка* с выдерживанием при температуре более 200 градусов не менее 2х с половиной часов (себестоимость составляет более 2х с половиной тысяч рублей),

Вышеуказанные методы являются крайне дорогостоящими и оказывают негативное влияние на окружающую среду.

НПО «Квантовые технологии» предлагает решение данной проблемы – переработка ОСВ в почвогрунт при помощи препарата «Полиаминол».

Препарат «Полиаминол» состоит из аминокислот, полисахаридов, комплекса цинка и меди и обладает следующими подтвержденными свойствами:

- *Овицидность* – устраняет яйца гельминтов (письмо ВНИИП – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН №08-13 от 24.08.2020);
- *Дезинфицирующим свойством* – устраняет патогенную микрофлору (протокол ФБУН НИИДефектологии Роспотребнадзора №02-1.Н/19 от 25.11.2019 г.);
- *Седиментационной способностью* – отделение связанной воды от илового осадка (собственные феноменологические наблюдения);
- *Детоксикацией* – связывание ионов тяжёлых металлов в нетоксичные комплексы, легко усваиваемые растениями (письмо ИФПБ РАН №191-ИФПБ РАН-01-2/2115 от 24.12.2019);
- *Дезодорацией* – устранение фекального запаха осадка (органолептический метод).

Обработанный препаратом «Полиаминол» осадок является сырьём для производства почвогрунта, соответствующего ГОСТам для почвогрунтов, которые могут применяться: для рекультивации нарушенных земель, рекультивации полигонов ТКО, повышения плодородия почв, создания лесопитомников (ГОСТ Р 54534-2011, ГОСТ Р 54535-2011, ГОСТ Р 54651-2011).

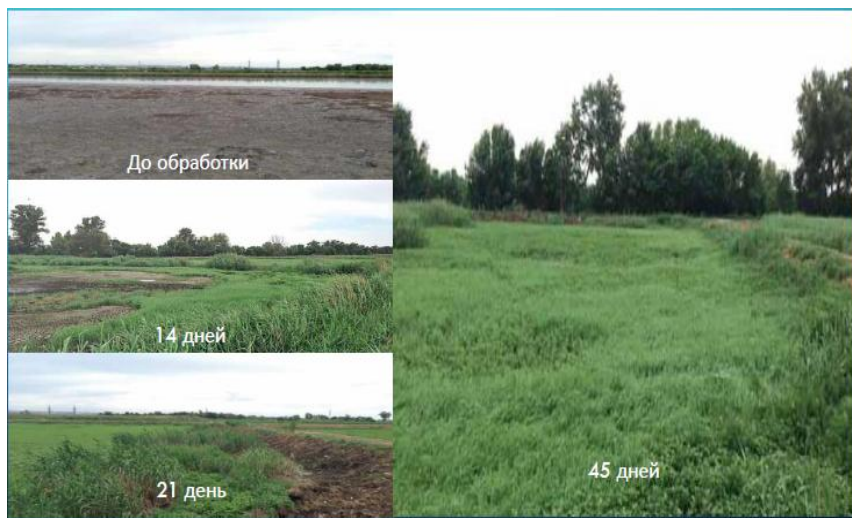


Рис. 1. Результат применения технологии на иловых картах

НПО «Квантовые технологии» является индустриальным партнёром Федерального Исследовательского Центра (Пущино) Российской Академии Наук. На основании проведённых нами исследований было установлено, что, спустя 20 дней после выгрузки на поля, полученный из ОСВ после обработки препаратом «Полиаминол» почвогрунт эффективно заселяется почвенными микроорганизмами и дождевыми червями, так как содержит большое количество органических питательных веществ и микроэлементов, что способствует повышению плодородия почв.

Применение ОСВ в качестве органического удобрения и грунта для технической рекультивации является общемировой практикой. Так, в странах Европы количество осадка, применяемого в качестве почвогрунта составляет до 50%, в соответствии с Директивами Совета Европейского Союза №86/278/ЕЕС (регламентирует применение обработанного ОСВ в качестве удобрения) и №99/31/ЕС (регламентирует применение обработанного ОСВ в качестве грунта для рекультивации полигонов ТКО).

Данная технология успешно применяется на водоканалах Московской области (г. Домодедово, г. Наро-Фоминск, г. Щёлково), а также в г. Армавире, г. Астрахани и ближнего зарубежья (г. Кишинёв).

Таким образом, переработка ОСВ в почвогрунт препаратом «Полиаминол» является комплексным решением, которое позволит решить проблему утилизации ОСВ, обеспечить безотходность цикла водоочистки и создать систему вторичной переработки и вовлечения в хозяйственный оборот сырья для изготовления новой продукции климатически нейтральным способом, что повлечёт за собой долгосрочный экономический и экологический эффект.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЕТА SBR РЕАКТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Т.Б. Брюхачева, студентка 3 курса; **Э.З. Мифтахова**, студентка 4 курса; **А.М. Непогодин**, старший преподаватель; **М.Ю. Дягелев**, доц., к.т.н.; **А.А. Абрамова**, доц., к.т.н.; **В.Г. Исаков**, проф., д.т.н., ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

В последние десятилетия для биологической очистки коммунальных и промышленных сточных вод с высокой концентрацией азота в мировой практике широкое распространение получили биологические реакторы циклического типа наполнения (англ. SBR – SequencingBatchReactor) [1-3]. Биореактор SBR – это биореактор последовательного действия, где процесс очистки сточных вод осуществляется в одном реакторе, с последовательным протеканием процессов денитрификации (аноксидная и анаэробная зона), нитрификации (аэробная зона) и отстаивания.

Биореактор SBR имеет цилиндрическую форму, в высоту составляет чаще всего не более 8 м. Он бывает открытого и закрытого исполнения и зависит от температуры наружного воздуха в зимние месяцы.

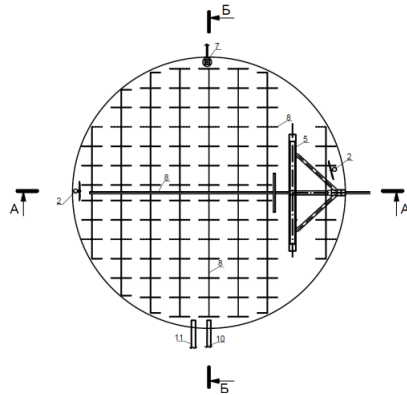
Конструкция реактора SBR [1, 4-6]. Через трубопровод 10 (рис. 1), сточные воды поступают в биореактор. Для протекания процессов очистки для стадии денитрификации, обязательным условием является наличие погружных мешалок 2, чтобы предотвратить осаждение активного ила. Их применение позволит значительно улучшить качество перемешивания. Вращающиеся лопасти направляют жидкость, при этом поток захватывает слои жидкости, находящиеся рядом. Соответственно, создается сложное вихревое течение жидкости. Благодаря подъемному устройству 1 можно изменять глубину погружения и положение мешалки.

Для протекания фазы нитрификации обязательным является наличие системы мелкопузырчатой аэрации 8, которая крепится к дну резервуара.

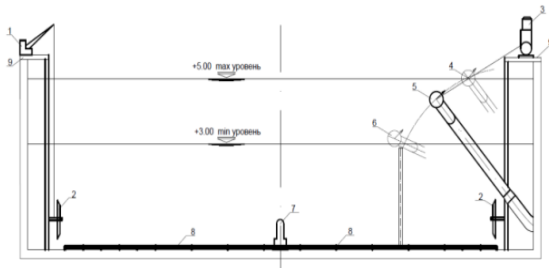
Важное значение имеет сливное устройство – декантер, через которое удаляется осветленная вода. Оно должно быть адаптировано к изменяемому уровню воды, для этого могут использоваться различные контрольно-измерительные приборы или поплавков. Сливное устройство должно обеспечивать удаление всего объема осветленной воды и предотвратить попадание в нее ила. Одним из хорошо зарекомендовавшим себя механизмом является передвижное управляемое устройство 5. Благодаря подъемному устройству 3 оно перемещается в вертикальном направлении в зависимости от уровня воды, обеспечивает полное удаление осветленной воды, и препятствует попаданию ила.

Удаление избыточного ила происходит при помощи погружного насоса 2, который устанавливается на дне резервуара. Для предотвращения случаев переполнения резервуара существует аварийный перелив 1, который в аварийной ситуации отводит сточные воды в приемный резервуар.

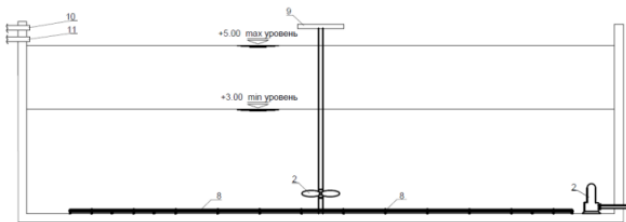
Конструкция SBR позволяет выпускать реакторы в виде стандартных модулей, что позволяет расширить очистные сооружения без существенных вложений.



а)



б)



в)

Рис. 1. Конструкция реактора SBR:

а – план, *б* – разрез А-А, *в* – разрез Б-Б; 1 – подъемное устройство мешалки, 2 – погружная мешалка, 3 – подъемное устройство декантера, 4 – верхнее положение декантера (фаза отстаивания), 5 – рабочее положение декантера (фаза декантрирования), 6 – нижнее положение декантера (конец фазы отстаивания), 7 – насос для удаления избыточного ила, 8 – система аэрации, 9 – площадка обслуживания, 10 – трубопровод для подачи сточных вод, 11 – аварийный перелив

В статье приводятся результаты расчета SBR реактора при следующих исходных данных:

$t_{\text{дек}} = 2$ ч – продолжительность удаления избыточного ила и осветленной воды;

$t_{\text{от}} = 1$ ч – время отстаивания;

$t_{\text{р}} = 6$ ч – время протекание реакций денитрификации/нитрификации;

$t_{\text{ц}} = 8$ ч – продолжительность полного цикла очистки;

$Q_{\text{сут}} = 43090$ м³/сут – суточный расход сточных вод;

$Q_{\text{ср,ч}} = 1795,42$ м³/ч – средний расход сточных вод в час;

$Q_{\text{макс,ч}} = 2693,7$ м³/ч – максимальный расход сточных вод в час;

$N = 181000$ чел – численность населения;

$C_{N-NH_4, \text{вх}} = 44,1$ мг/дм³ – концентрация аммонийного азота в сточных водах поступающих на очистку;

$T = 12^{\circ}\text{C}$ – температура сточных вод, поступающих на очистку;

$C_{\text{БПК}_5, \text{вх}} = 339,5$ мг/дм³ – концентрация БПК₅ в сточных водах поступающих на очистку;

$C_{\text{ВВ, вх}} = 297,4$ мг/дм³ – концентрация взвешенных веществ в сточных водах поступающих на очистные сооружения.

Расчет выполнен по методике, представленной в иностранных источниках [7-10]. Концентрация азота удаляемого в процессе нитрификации, мг/дм³:

$$K_{NO_3, \text{д}} = C_{\text{Nооб, вх}} - K_{NH_4, \text{вх}} - K_{NO_3, \text{вх}} - X_{\text{оргN, БМ}} - K_{\text{оргN, вх}} = 30,01 \text{ мг/дм}^3$$

где $C_{\text{Nооб, вх}}$ – концентрация азота по Кьельдалю в сточных водах поступающих на очистные сооружения, мг/дм³:

$$C_{\text{Nообщ, вх}} = 1,07 \cdot C_{N-NH_4, \text{вх}} = 47,19 \text{ мг/дм}^3$$

$$X_{\text{оргN, БМ}} = 0,03 \cdot C_{\text{БПК}_5} = 10,18 \text{ мг/дм}^3$$

Денитрификационная способность $V_{\text{д}}/V_{\text{ВВ}}$

$$K_{NO_3, \text{д}}/C_{\text{БПК}_5, \text{вх}} = 30,01/339,5 = 0,09$$

Денитрификационную способность в расчетах принимаем равной 0,2

Возраст активного ила, сут:

$$\theta = SF \frac{1,6}{0,135 \cdot \mu_{\text{max}} \cdot 1,103^{(T-15)}} \cdot \frac{1}{1 - (V_{\text{д}}/V_{\text{ВВ}})} = 9 \text{ сут}$$

Количество избыточного ила, образовавшегося от разрушения соединений фосфора, кг ВВ/кг БПК₅:

$$A_{\text{сут,Р}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot 3 \cdot X_{\text{Р-ВіоР}} + 6,8 \cdot X_{\text{Р,Fe}} + 5,3 \cdot X_{\text{Р,Al}}}{1000} = 438,87 \text{ кгВВ/кгБПК}_5$$

$$X_{\text{Р-ВіоР}} = 0,01 \cdot C_{\text{БПК}_5, \text{ВХ}} = 3,395 \text{ кг ВВ/кг БПК}_5$$

Количество избыточного ила, образовавшегося от разрушения соединений углерода, кг ВВ/кг БПК₅:

$$A_{\text{сут,С}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot C_{\text{БПК}_5, \text{ВХ}} \cdot A_{\text{С,БПК}_5}}{1000} = 14014,63 \text{ кгВВ/кгБПК}_5$$

$$C_{\text{ВВ,ВХ}} / C_{\text{БПК}_5, \text{ВХ}} = 297,4/339,5 = 0,88$$

$$A_{\text{С,БПК}_5} = 0,958 \text{ кг ВВ/кг БПК}_5$$

Количество кислорода для разрушения углерода, кгО₂/сут:

$$OV_{\text{С, БПК}_5} = 1,045$$

$$OV_{\text{сут,С}} = \frac{a_{\text{БПК}_5} \cdot N \cdot OV_{\text{С,БПК}_5}}{1000} = 11348,7 \text{ кгО}_2/\text{сут}$$

Количество кислорода для разрушения углерода при денитрификации:

$$OV_{\text{сут,Д}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot 2,9 \cdot K_{\text{NO}_3, \text{Д}}}{1000} = 3750,1 \text{ кгО}_2/\text{сут}$$

Расход кислорода для удаления азота:

$$OV_{\text{сут,Н}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot 4,3 \cdot (K_{\text{NO}_3, \text{Д}} + K_{\text{NO}_3, \text{ВХ}} - K_{\text{NO}_3, \text{ВЫХ}})}{1000} = 6301,6 \text{ кгО}_2/\text{сут}$$

Максимальный часовой расход кислорода, кгО₂/ч:

Согласно справочной таблице коэффициенты максимального часового расхода кислорода принимаем равными $f_c = 1,2$; $f_N = 1,9$ [7, 11].

$$OV_{\text{ч}} = \frac{f_c \cdot OV_{\text{сут,С}} - OV_{\text{сут,Д}} + f_N \cdot OV_{\text{сут,Н}}}{24} = 878,8 \text{ кгО}_2$$

Суточный расход кислорода кгО₂/сут:

$$OV_{\text{сут}} = OV_{\text{сут,С}} - OV_{\text{сут,Д}} + OV_{\text{сут,Н}} = 13900,2$$

Определение массы активного ила, кг ВВ:

$$M_{\text{ВВ}} = \theta \cdot (A_{\text{сут,Р}} + A_{\text{сут,С}}) = 130081,5$$

Определение объема реактора последовательного действия, м³:

Относительно параметров активного ила:

$$V_{P,A} = \frac{M_{BB}}{C_{ак}} \cdot \frac{t_{ц}}{t_p} \cdot \frac{1}{n} = 4129,6$$

Относительно гидравлических характеристик

$$V_{P,\Gamma} = \frac{Q_{ср.ч.} \cdot t_{ц}}{f_a \cdot n} = 2992,4$$

Повторный расчет нагрузки на активный ил:

$$C_{ак,КОРР} = 3,5 \cdot \frac{C_{ак}}{V_{P,A}/V_{P,\Gamma}} = 4,83 \text{ кг/м}^3$$

$$f_{A,КОРР} = \frac{Q_{ср.ч.} \cdot t_p}{V_{P,\Gamma} \cdot n} = 0,3$$

Общий объем осветлённой воды и избыточного ила удаляемых из реактора в каждом цикле, м³:

$$\Delta V = Q_{ср.ч.} \cdot t_{ц}/n = 1196,95$$

Диаметр биологического резервуара, м:

$$D = 2 \cdot \frac{V_{P,\Gamma}}{H_{B,MAX} \cdot 3,14} = 28$$

После определения диаметра SBR необходим перерасчет объема реактора, м³:

$$V_P = \frac{3,14 \cdot D^2 \cdot H_{B,MAX}}{4} = 3077,2 \text{ м}^3$$

Уровень иловой смеси после фазы, м:

$$H_{B,MIN} = H_{B,MAX} \cdot 1 - f_{A,КОРР} = 3,5 \text{ м}$$

Скорость оседания ила, м/ч:

$$V_{ил} = \frac{725}{C_{ак,кор} \cdot I - 100} = 1,51 \text{ м/ч}$$

Коэффициент изменения уровня активного ила:

$$a = \frac{V_{\text{ил}}}{(1 - h_{\text{ил}}) \cdot H_{B, \text{МАХ}}} = 0,71$$

$$h_{\text{ил}} = C_{\text{ак, кор}} \cdot I / 1000 = 0,5796$$

Уровень активного ила после отстаивания, м:

$$H_{\text{ил, 1ч}} = H_{B, \text{МАХ}} \cdot (h_{\text{ил}} + (1 - h_{\text{ил}}) \cdot e^{-a \cdot t_{\text{ом}}}) = 3,78 \text{ м}$$

Уровень очищенной воды после отстаивания, м:

$$H_{\text{ОВ}} = H_{B, \text{МАХ}} - H_{\text{ил, 1ч}} = 1,22 \text{ м}$$

Уровень активного ила после декантрирования, м:

$$H_{\text{ил, 2ч}} = H_{B, \text{МАХ}} \cdot (h_{\text{ил}} + (1 - h_{\text{ил}}) \cdot e^{-a \cdot t_{\text{дек}}}) = 3,27 \text{ м}$$

Производительность декантрирования, м³/ч:

$$Q_A = Q_{\text{ср.ч.}} \cdot t_{\text{ц}} / n = 1196,95 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Концентрации азота в очищенной воде, мг/дм³:

$$K_{\text{неоргN, вх}} = \frac{(C_{\text{Nоо, вх}} - 0,05 \cdot C_{\text{БПК5}} - C_{\text{оргN, вх}}) \cdot \Delta V}{V_P \cdot Z} = 3,66 \text{ мг/дм}^3$$

Продолжительность денитрификации, ч:

$$t_{\text{д}} = t_p \cdot V_{\text{д}} / V_{\text{общ}} = 1,2 \text{ ч}$$

Продолжительность нитрификации, ч:

$$t_{\text{N}} = t_p - t_{\text{д}} = 4,8 \text{ ч}$$

Часовое потребление кислорода, кг O₂/ч:

$$OV_{\text{ч, SBR}} = OV_{\text{ч}} \cdot t_p / t_{\text{N}} \cdot t_{\text{ц}} / t_p = 1464,67 \text{ кг O}_2/\text{ч}$$

Концентрация избыточного ила, кг/м³:

$$A_{\text{изб}} = \frac{V_P \cdot C_{\text{ак, кор}}}{V_P - \Delta V} = 7,9 \text{ кг/м}^3$$

Расход избыточного ила во время фазы декантрирования, м³/ч:

$$Q_{\text{изб}} = \frac{A_{\text{сут}}}{A_{\text{изб}} \cdot t_{\text{изб}} \cdot n \cdot m_z} = 101,64 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_z = \frac{24}{t_{\text{ц}}} = 3$$

Объем приемного резервуара, определяется по формуле, м³:

$$V = \frac{Q_{\text{ч,max}} \cdot t_{\text{ц}}}{n} = 1795,8 \text{ м}^3$$

Вывод: выполненный расчет SBR реактора показал, что при численности населения 181 000 человек для очистки городских сточных вод подойдет биореактор с параметрами: объем приемного резервуара 1795 м³, расход избыточного ила во время фазы декантрирования 101,64 м³/ч.

Библиографический список

1. Tang C., Tian Yu, He Z.-W., Zuo W., Zhang J. Performance and mechanism of a novel algal-bacterial symbiosis system based on sequencing batch suspended biofilm reactor treating domestic wastewater // *Bioresource Technology*. №265. 2018. С 422-431 (Дата обращения: 30.09.2019, Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.033>).

2. Fajardo C., Mosquera-Corral A., Campos J.L., Méndez R. Autotrophic denitrification with sulphide in a sequencing batch reactor // *Journal of Environmental Management*. №113. 2012. С. 552-556 (Дата обращения: 28.09.2019, Режим доступа: <https://doi:10.1016/j.jenvman.2012.03.018>).

3. Непогодин А.М., Пластинина Е.В., Дягелев М.Ю. Обзор современных технологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод // В сборнике: Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 2 томах. 2015. С. 206-211.

4. Пластинина Е.В., Дягелев М.Ю., Непогодин А.М. Варианты реконструкции биологической ступени очистки сточных вод на существующих очистных сооружениях канализации. // *Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе – Ижевск, 2016.* – С. 177-180.

5. Лапин А.П., Дягелев М.Ю. Модернизация городских очистных сооружений канализации, с применением SBR реактора. // *Экология и безопасность техносфере: современные проблемы и пути решения.* – Томск, 2017. С. 155-158.

6. Исаков В.Г., Свалова М.В., Абрамова А.А., Непогодин А.М. Тепловой баланс и энергоэффективность биореактора в условиях сурового климата // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т.16. № 4. С. 154-162.
7. Aufstaubelebanungsanlagen, Ptof. Dr.-Ing. Artur Mennerich, 2011.
8. Abwassertechnik, Hosang/Bischof, B.G. Teubner Stuttgart Leipzig, 1988.
9. SBR-Anlage –Funktion und Betrieb, Dr.-Ing. Dieter schreff.
10. Kommunales Abwasser Verfahren und Anlage der Abwasserbehandlung, Bauhaus-Univesität Weimar, 2004.
11. Siedlungwasserwirtschaft Abwasserreinigung, Vorlesung, Pamela Meyer, 2006.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

М.Н. Васюткина, студентка 3-го курса бакалавриата «Теплогазоснабжение и вентиляция»; **М.В. Таскаев**, студент 3-го курса бакалавриата «Водоснабжение и водоотведение»; **Е.М. Микрюкова**, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова»

Проблема очистки сточных вод от нефтепродуктов как никогда актуальна на сегодняшний день. Количество машин на дорогах городов увеличивается с каждым годом в геометрической прогрессии, нефтепродукты, которые смываются с дорог ливневыми и талыми водами, поступают в канализацию, а затем попадают в окружающую среду [6]. В России многие водоемы могли бы стать источником пресной воды не только для людей, но и для многих живых организмов. Этот ресурс должен быть защищен. На сегодняшний день существует несколько способов определения концентрации нефтепродуктов в сточных водах, их обезвреживания и обеззараживания. Выбор конкретного метода зависит от масштаба и основного источника загрязнения, объема нефтяных выбросов. Основными методами очистки сточных вод от нефти и ее производных являются:

- механический;
- физико-химический;
- биологический;
- химический.

Механическая очистка

Первый и самый дешевый метод – механическая очистка сточных вод от нефтепродуктов. Этот метод особенно эффективен, когда необходимо удалить мелкие вязкие частицы масла. Он подразделяется на следующие подметоды: отстаивание в статических и динамических отстойниках, центрифугирование или удаление нефтепродуктов с помощью гидроциклонов и механическая фильтрация с использованием специальных сит. Рассмотрим каждый из них подробнее.

При отстаивании органические частицы под действием силы тяжести опускаются на дно емкости, это частицы с плотностью большей, чем плотность воды. А органические частицы меньшей плотности поднимаются на поверхность емкости. Данный принцип работы используется в песколовках, маслоуловителях и бензолуловителях.

Структурно выделяются бассейны седиментации статического и динамического типов. В статических отстойниках процесс очистки осуществляется путем выдерживания сточных вод в спокойном состоянии от 6 до 24 часов. В этом случае весь нефтешлам всплывает, а осадок удаляется с помощью перфорированных труб. Именно этот тип отстойников чаще всего используется на нефтеперерабатывающих заводах [3].

В отстойниках динамического типа вода очищается от твердых частиц нефтепродуктов при их непрерывном движении. Осадок в этом случае откачивается насосными агрегатами. На практике используются динамические горизонтальные и вертикальные отстойники.

Основным преимуществом этого метода является невысокая стоимость конструкции резервуара, а основным недостатком – необходимость пропускания воды через дополнительные системы очистки нефтепродуктов.

Помимо этого метода часто используется так называемое центрифугирование или удаление нефтепродуктов с помощью гидроциклонов. Этот способ применяется только с нестабильными эмульсиями и расходует большое количество энергии для создания высокоскоростных центробежных ускорений, превышающих свободное падение. При данном методе взвешенные частицы падают на дно в виде плотного осадка, а очищенная вода удаляется через дренажную трубу. Размер оборудования влияет на качество уборки – мельчайшие загрязнения удаляются в небольшом гидроциклоне. Основным недостатком этого процесса является то, что наличие механических примесей в рабочей жидкости замедляет поток и, как следствие, снижает производительность установки до 70% [2].

Существует еще третий метод – механическая фильтрация с помощью специальных сеток. Данный принцип, основан на свойстве пористых материалов, задерживать частицы органического углеводородного материала жидкой консистенции. Этот метод эффективен для удаления мелких вязких частиц нефтепродуктов. Его суть заключается в том, что внутри фильтра закрепляются материалы пористой гранулезной структуры или так называемые фильтры, а также тканевые мембраны. В этом случае первые избавляются от крупных частиц, а мембраны очищаются на молекулярном уровне.

Доступны следующие типы фильтров: микрофильтры, рамочные фильтры и эластичные фильтры. Первые два варианта характеризуются скоплением грязи внутри, поэтому после заливки их необходимо заменить или очистить. Третий вариант фильтра считается наиболее экономичным. Поскольку даже после полного заполнения фильтра масло не растворяется в воде, а собирается на поверхности в виде капель, которые удаляются специальными подручными средствами. Очистка осуществляется пенополиуретаном, который обладает высокой прочностью и гидрофобностью, необходимой пористостью и устойчивостью к повреждениям.

Такой вид очистки – один из основных методов ликвидации разлива нефти, наиболее эффективен в первые часы после аварии. Недостатком этого метода является сложность сбора нефти с большой площади разлива.

Физико-химическая очистка

В сочетании с этими методами или самостоятельно может применяться физико-химическая очистка сточных вод от нефтепродуктов. Это эффективный метод, основанный на физико-химических свойствах нефтяных ве-

ществ, которые позволяют им переходить в условия, способствующие их извлечению из сточных вод. Наиболее популярными подметодами являются: коагуляция, флотация и сорбция. Рассмотрим каждый из них отдельно.

Коагуляция воды относится к процессу увеличения коллоидных и дисперсных частиц, происходящему в результате их адгезии под действием сил молекулярного притяжения. Активные коагулянты начинают влиять на мелкие примеси в нефтепродуктах, попадая в сточные воды. Кроме того, мелкие частицы органических примесей слипаются в большие скопления флокулянтов, так называемые флокулы. После этого крупные сгустки нефтепродуктов удаляются с помощью методов механической очистки – фильтрации или отстаивания. Весь этот процесс осуществляется с помощью добавления в сточные воды специального химического реагента – коагулянта. На крупных очистных сооружениях в качестве коагулянтов часто используются различные соли железа и алюминия.

Флотация – не менее популярный физико-химический метод очистки сточных вод от нефтепродуктов. Флотация заключается в адгезии взвешенных коллоидных частиц нефтепродуктов к искусственно созданным пузырькам воздуха с последующим их всплыванием и удалением с поверхности. Флотационные пузыри создаются разными методами: вакуумом, давлением, электрофлотацией. Вредные химические вещества удаляются электрофлотацией намного быстрее, чем отстаиванием или давлением, при этом значительно увеличивается эффект удаления загрязнений.

Из перечисленных выше физико-химических методов очистки наиболее эффективным считается сорбция. Сорбция – это абсорбция растворенных в сточных водах нефтяных соединений через поверхность сорбента, помещенного в фильтр. Наиболее эффективными сорбентами для извлечения органических веществ из водных растворов являются активированные угли разного качества. Пористость углей составляет от 60 до 75%, а удельная поверхность от 400 до 900 м²/г. В качестве сорбентов также используются зола, торф и глина. Работа сорбционных фильтров основана на удержании загрязняющих молекул на поверхности твердого тела и их последующем поглощении.

Преимущество метода заключается в ускорении разрушения нефти, а самое главное снижает токсическое воздействие нефти на окружающую среду. Основным недостатком данного способа является утилизация порошка, что наносит вред экосистеме.

Биологическая очистка

Этот способ необходим, если вышеперечисленные способы очистки сточных вод не дали ожидаемого результата. Основная проблема заключается в том, что многие опасные микроорганизмы питаются органическими микроэлементами. В случае если они работают в сооружении с искусственными условиями или в биопруду, воздух необходимо прокачивать через канализацию с помощью компрессора. Анаэробные бактерии, не использующие кислород, не так дороги, но и не так продуктивны. Биоочистка –

перспективный метод. После прохождения этого этапа вредные примеси превращаются в соединения, не наносящие вреда окружающей среде [1].

Из выше перечисленных методов биоочистка играет важнейшую роль. Микроорганизмы проникают в слои нефти, питаются ею, и восстанавливают доступ воздуха. Специальные бактерии хорошо работают не только в пресной, но и в соленой воде. Единственное, что люди не до конца понимают, как в будущем микроорганизмы могут повлиять на окружающую среду.

Химическая очистка

Способ основан на использовании химикатов, приводящих к возникновению одного из следующих процессов:

Нейтрализация: метод предназначен для нейтрализации кислот и щелочей путем преобразования их в безвредные вещества. Эти загрязнители необходимо обрабатывать во время очистки промышленных стоков. Если есть кислые и щелочные стоки, то их можно нейтрализовать простым перемешиванием. Для нейтрализации кислой воды используются щелочные отходы, каустическая сода, сода, мел и известняк. Для реализации метода на производстве компании устанавливают фильтры и различные устройства.

Окисление: окислению подвержены типы загрязняющих веществ, которые невозможно нейтрализовать другими способами. В качестве окислителей используются кислород, дихромат и перманганат калия, гипохлорит натрия и кальция, отбеливатель и другие реагенты.

Восстановление: с помощью этого метода можно нейтрализовать соединения хрома, ртути, мышьяка и некоторых других легко восстанавливаемых элементов. В качестве реагентов используют диоксид серы, гидросульфит натрия, водород и сульфат железа. Этот метод основан на добавлении специального реагента, вызывающего окислительную реакцию. При этом примеси выпадают на дно в виде осадка [4].

При химическом методе степень очистки воды от нефти может достигать 98%. Недостатком способа является возможность очистки ограниченного количества воды.

Применение процесса коалесценции для очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов.

Процессы коалесценции эмульгированных масляных продуктов и жиров на фильтрующем материале основаны на процессах адгезии и смачивания, которые в некоторой степени также влияют на обычные процессы фильтрации [7].

Коалесценция – это увеличение частиц дисперсной фазы за счет их слияния. Есть несколько типов слияния. Для деэмульгирования масляных эмульсий используются воздействие внешнего электрического поля и коалесцирующие фильтры.

Посредством коалесценции, эмульсии и дисперсии разделяются за счет межфазного натяжения между углеводородной и водной фазами. В процес-

се коалесценции две капли одинаковой фазы и идентичного состава контактируют друг с другом, образуя большую каплю и, следовательно, уменьшая свою удельную поверхность (площадь поверхности на единицу объема) [5]. В фильтрующем оборудовании явление коалесценции используется для создания условий, которые способствуют расширению капель масла и более эффективному удалению. Коалесцирующие фильтры обычно устанавливаются на входе воды в маслоуловитель (рис. 1).



Рис. 1. Процесс коалесценции

Достоинством процесса является, что независимо от значительных расходов сточных вод и колебаниях концентрации нефтепродуктов, технологический процесс остается стабильным. Данная технология проста в изготовлении, эксплуатации и автоматизации. Недостатками являются отсутствие очистки воды от твердых механических частиц, органических загрязнителей; отсутствие модуля доочистки; необходимость периодической регенерации или замены коалесцирующих элементов, что существенно усложняет процесс очистки и приводит к его удорожанию.

Существование человеческого общества невозможно без пресной воды надлежащего качества. В последние годы вопрос качества воды поднимается на многих мировых форумах и конференциях. Ни для кого не секрет, что проблема возникла в связи с огромными масштабами использования воды в промышленном, сельскохозяйственном и муниципальном секторах. Учитывая полидисперсность нефтесодержащих стоков, невозможно использовать один метод очистки для получения воды требуемого качества. По этой причине рекомендуется очищать нефтесодержащие сточные воды в несколько этапов, сначала путем удаления крупных эмульгированных частиц, и только после этого переходить к работе с мелкоэмульгированными частицами.

Библиографический список

1. Гудков, А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод / А.Г. Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2002. 127 с.

2. Гудков, А.Г. Механическая очистка городских сточных вод / А.Г. Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2003. 152 с.
3. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: монография / Ю. В. Воронов. – Москва : АСВ, 2009. 560 с.
4. Благоразумова, А.М. Обработка и обезвреживание осадков городских сточных вод. / А.М. Благоразумова. – Москва: Лань, 2017. 208 с.
5. Маннанова, Г.В. Методы очистки промышленных сточных вод / Г.В. Маннанова. – Москва: Машиностроение, 2017. 742 с.
6. Соковнина О.В., Микрюкова Е.М. Разработка локальных очистных сооружений поверхностного стока в г. Ижевске Первомайского района. В сборнике: Инновационные технологии в системах водоснабжения и водоотведения. Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет И.Н. Ульянова». 2019. С. 105-110.
7. Микрюкова Е.М., Суворова Е.В. Преодоление проблем с очисткой сточных вод от плотных эмульсий в нефтеперерабатывающей промышленности. В сборнике: Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Материалы V Международной (XI Всероссийской) конференции. Чебоксары, 2020. С. 415-422.

РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА В ПИТЬЕВОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ

В.А. Головесов, аспирант, НИУ МГСУ

Выбор способа очистки подземных вод для целей питьевого водоснабжения небольших поселков, предприятий и отдельных домов часто представляет достаточно серьезную задачу. Артезианские воды Подмоскovie могут содержать большое количество растворенного железа, солей жесткости, сероводорода. Кроме того, скважинная вода Подмоскovie, может содержать повышенное количество фторид-ионов, ионов аммония, нитрат-ионов, стронция, лития, мышьяка и даже бора [1].

Традиционно используемые методы очистки воды в виде аэрации, обезжелезивания и ионообменного умягчения часто не справляются с вышперечисленным спектром загрязнений. К тому же, традиционные системы водоподготовки имеют ряд эксплуатационных недостатков: высокоминерализованные стоки при использовании ионообменного метода умягчения, а метод упрощенной аэрации может оказаться неэффективным с изменением величины окислительно-восстановительного потенциала воды [2–5].

С появлением и широким внедрением метода обратного осмоса для опреснения воды, подготовки воды в промышленных целях, стала очевидна его эффективность для улучшения качества подземных вод, используемых для целей питьевого водоснабжения [6, 7]. Метод обратного осмоса позволяет «универсально» задерживать из воды любые загрязнения в ионной форме: фториды, стронций, литий, аммоний. Поэтому в последнее время установки обратного осмоса начинают применяться для очистки грунтовых воды с повышенной минерализацией (величиной общего соледержания выше 1000 мг/л), а также с высоким содержанием солей жесткости, стронция, фтора и др. загрязнений. Опыт эксплуатации первых установок обратного осмоса водоканалами Московской области показал, что сотрудники водоканалов столкнулись с двумя основными трудностями: выбором ингибиторов осадкообразования и их дозирок, а также с большими затратами на сброс концентратов в систему городской канализации [1, 7, 8]. Поэтому для успешного решения вопросов водоснабжения Подмоскovie городов следует в первую очередь решить эти две задачи.

Ингибиторы осадкообразования дозируются перед установками обратного осмоса с расходом от 4 до 7 г/м³. Чаще всего ингибиторы поставляются в виде водных растворов содержащих от 15 до 35% активного вещества и их стоимость может варьироваться от 200 до 400 рублей за кг товарного реагента. Трудности с выбором ингибиторов создало то обстоятельство, что они часто схожи по своему составу и дозировкам, и то, что они поставляются рядом производителей, как отечественными, так и зарубежными, под разными торговыми марками [1, 9].

Второй основной проблемой, с которой столкнулись водоподготовительные станции, использующие метод обратного осмоса в качестве очистки – это необходимость сброса большого количества концентрата в канализацию, а еще необходимость реминерализации пермеата. Для поддержания оптимального солевого состава воды, подаваемой к потребителю, используют схему водоподготовки с частичным подмесом исходной воды (рис. 1).

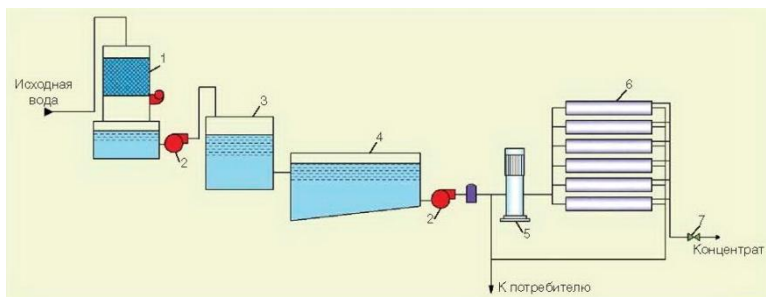


Рис. 1. Технологическая схема применения установок обратного осмоса, применяемая для очистки подземных вод:

1 – аэратор; 2 – насос; 3 – механический фильтр; 4 – резервуар обезжелезенной воды; 5 – рабочий насос высокого давления; 6 – установка обратного осмоса; 7 – регулирующий вентиль

Исходная вода проходит стадию аэрации с последующим обезжелезиванием, накапливается в резервуаре обезжелезенной воды, после чего подается на установку обратного осмоса. После очистки воды на мембранной установке, часть пермеата смешивается с обезжелезенной водой в соотношении 1:1 и подается к потребителю.

В качестве примера рассмотрим составы воды г. Видное, где используется схема водоподготовки представленная на рис. 1. В табл. 1 представлены примеры составов исходной, обезжелезенной и смешанной воды.

В связи с высоким содержанием осадкообразующих ионов, значения величины «выхода пермеата» установок обратного осмоса (отношение расхода пермеата к расходу обрабатываемой воды), при обработке подземных вод не превышает 0,65–0,75. Это значит, что 25-35% расхода воды от установок обратного осмоса необходимо сбрасывать в канализацию и оплачивать по тарифу. Увеличение выхода фильтрата ведет к повышению переосаждения по карбонату кальция в концентрате и повышению скорости осадкообразования [7].

Как уже было показано в результате исследований и опыта эксплуатации [10, 11], наиболее эффективно и рационально применять нанофильтрационные мембраны, которые специально были разработаны для целей питьевого водоснабжения. Нанофильтрационные мембраны меньше склонны к образованию кристаллических осадков, работают при меньших величинах рабочего давления, и как следствие потребляют меньше электроэнергии [1].

Состав воды из скважины г. Видное и качество пермеата

Показатели	Исходная вода / Вода после обезжелезивания	Пермеат ОО	После смешения пермеат ОО: исходная вода		Норматив СанПиН 2.1.4.1074.01
			1:1	1:2	
Ж _{общ.} , мг-экв/л	10,5	0,5	5,5	7,0	1,5 – 7,0
Ca ²⁺ , мг-экв/л	7,0	0,35	3,6	4,7	не нормируется
Mg ²⁺ , мг-экв/л	3,5	0,18	1,9	2,3	не нормируется
Na ⁺ +K ⁺ , мг /л	25	0,2	1,35	2,0	не нормируется
Cl ⁻ , мг/л	250	0,3	1,1	2,1	350 мг/л
SO ₄ ²⁻ , мг/л	300	0,05	1,52	2,45	500 мг/л
HCO ₃ ⁻ , мг-экв/л	7,5	0,35	3,92	5,7	не нормируется
Fe ²⁺ , мг/л	1,4 / 0,1	0,01	0,05	0,01	0,3
F ⁻ , мг/л	1,6	0,1	0,85	1,24	1,5
Солесодержание, мг/л	740	53	399	520	1000

Поэтому в настоящей работе предпринят шаг еще раз продемонстрировать экспериментально преимущество нанофильтрационных мембран в снижении опасности осадкообразования, и полученные в результате экспериментов данные для определения эксплуатационных затрат в случае применения обратноосмотических и нанофильтрационных мембран [1]. На рис. 2 показана разработанная авторами схема обработки подземных вод с применением нанофильтрационных мембран, позволяющая радикально сократить расходы концентрата [1]. Для определения работоспособности предложенной модели (рис. 2.) были проведены серии экспериментов по сравнению эффективности двух наиболее распространенных в отечественной практике ингибиторов: отечественного ингибитора «АМИНАТ™ К» (Траверс, Москва) и импортного ингибитора “PermaTreat PC-191” (Nalco, USA).

Испытания проводились при обработке воды с применением обратноосмотических и нанофильтрационных мембран, с различными дозами ингибиторов, которые составляли 5, 3 и 1 мг/л по товарному реагенту. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

Исходная вода в количестве 5 литров помещалась в бак исходной воды 1, откуда насосом 2 подавалась в мембранный аппарат 3. В мембранном аппарате вода разделялась на фильтрат и концентрат. Концентрат возвращался обратно в бак 1, а пермеат (очищенная вода, фильтрат мембранного аппарата) собирался в баке сбора фильтрата 4. По мере накопления очищенной воды в баке 4, объем исходной воды в баке 1 постоянно уменьшался.

ся, а значения концентраций растворенных в исходной воде солей постоянно увеличивались. Количество осадка карбоната кальция M , которое образовалось в мембранном аппарате в процессе эксперимента, определялось на основе массового баланса [1, 12]:

$$M = V_u \times [Ca]_u - V_\phi \times [Ca]_\phi,$$

где $[Ca]_u$ и $[Ca]_\phi$ – концентрации кальция соответственно в исходной воде и пермеате.

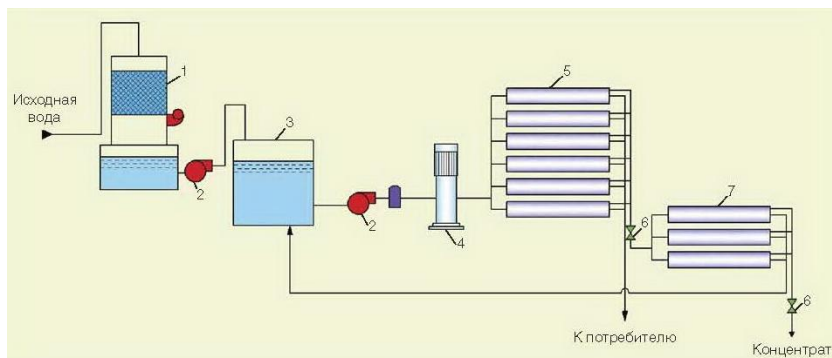


Рис. 2. Технологическая схема очистки подземных вод с применением метода нанофильтрации с блоком для сокращения расхода концентрата:

1 – аэратор; 2 – насос; 3 – механический фильтр; 4 – рабочий насос высокого давления; 5 – установка нанофильтрации; 6 – регулирующий вентиль; 7 – мембранный блок сокращения расхода концентрата

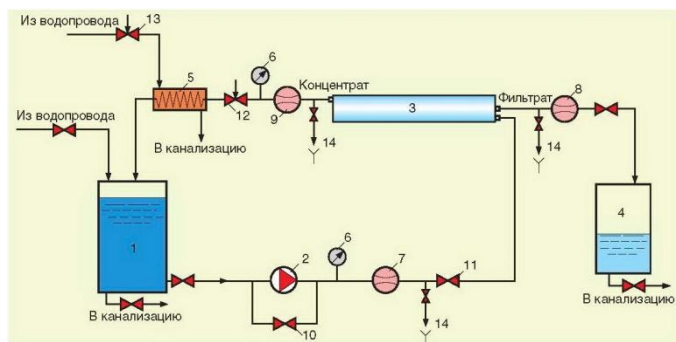


Рис. 3. Схема экспериментальной установки очистки воды с нанофильтрационными и обратнoосмотическими мембранами:

1 – бак исходной воды; 2 – рабочий насос; 3 – рулонный мембранный элемент в корпусе; 4 – бак сбора фильтрата; 5 – теплообменник; 6 – манометр; 7 – ротаметр исходной воды; 8 – ротаметр фильтрата; 9 – ротаметр концентрата; 10 – регулирующий вентиль на байпасе насоса; 11 – регулирующий вентиль на линии исходной воды; 12 – регулирующий вентиль на линии концентрата; 13 – регулирующий вентиль на линии охлаждающей воды; 14 – проботоотборники

Поскольку селективность нанофильтрационных мембран по иону кальция ниже, чем обратноосмотических мембран, количество накапливаемых на нанофильтрационных мембранах (рис. 4, б) в процессе эксперимента, значительно больше, чем на обратноосмотических мембранах (рис.5, б). Для определения скоростей роста осадка карбоната кальция на мембранах построены зависимости количества осадка от времени эксперимента (рис. 4 и 5, в).

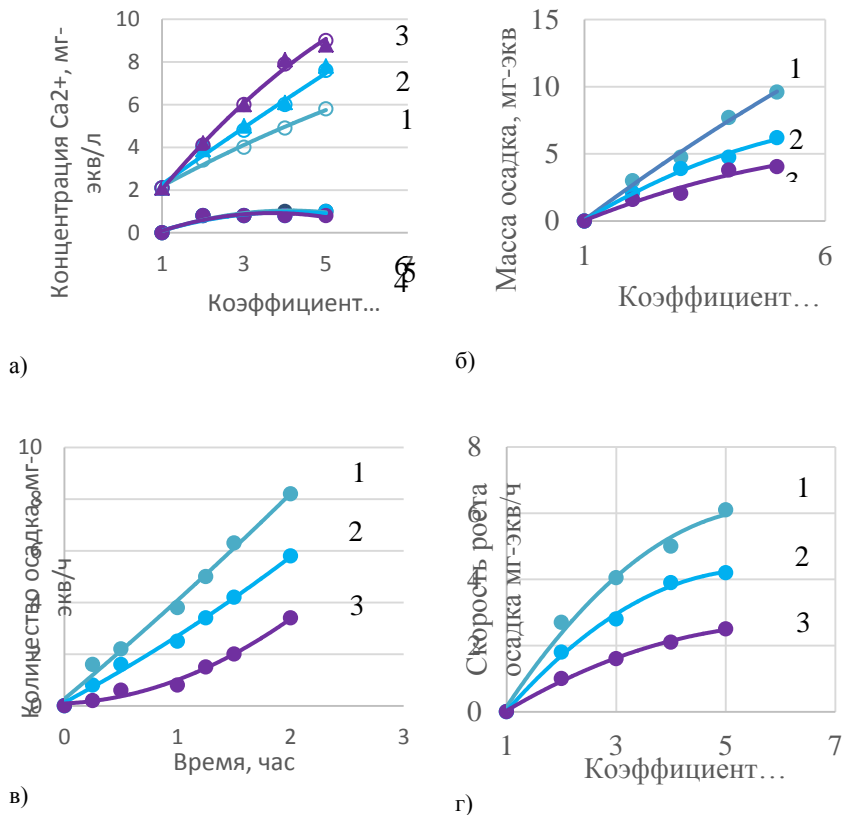


Рис. 4. Сравнение эффективностей действия ингибиторов АМИНАТ™ К и PermaTreat PC-191 при обработке воды с применением нанофильтрационных мембран:

1 – без добавления ингибиторов; 2 – дозы ингибиторов 1 мг/л; 3 – дозы ингибиторов 5 мг/л;

а) зависимость концентраций кальция в исходной воде и пермеате от величины К; б) зависимость количества образовавшегося осадка М от величины К; в) зависимость количества образовавшегося осадка М от времени эксперимента Т; г) зависимость скорости роста осадка от величины К

Определение скоростей роста осадка на мембранах производится в соответствии с разработанной авторами методикой [12] и состоит в расчете значений тангенсов углов наклонов кривых зависимостей количества осадка M от времени T в различных точках (рис. 4 и 5, г).

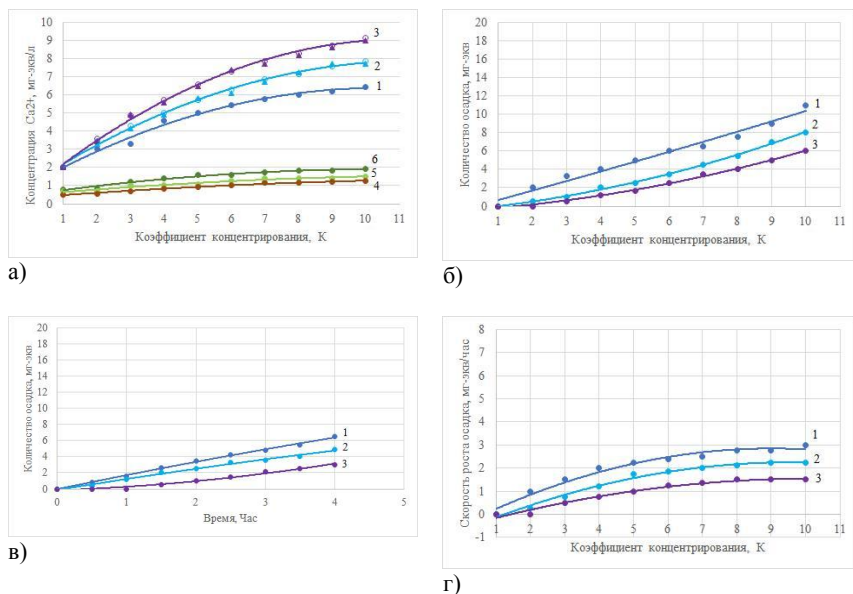


Рис. 5. Сравнение эффективностей действия ингибиторов АМИНАТ™ К и PermaTreat PC-191 при обработке воды с применением низконапорных обратноосмотических мембран: 1 – без добавления ингибитора; 2 – доза ингибитора – 1 мг/л; 3 – доза ингибитора 5 мг/л; а) зависимость концентраций кальция в исходной воде и пермеате от величины K ; б) зависимость количества образовавшегося осадка M от величины K ; в) зависимость количества образовавшегося осадка M от времени эксперимента T ; г) зависимость скорости роста осадка от величины K

На рис. 4 представлены результаты экспериментов и обработки экспериментальных данных при сравнении эффективностей снижения скоростей роста осадка карбоната кальция при обработке воды с применением мембран BLN. Как видно, ингибитор АМИНАТ™ К ни в чем не уступает PermaTreat PC-191. Серьезное преимущество дает использование нанофильтрационных мембран. При этом уменьшается скорость осадкообразования и можно уменьшить дозы ингибиторов.

На рис. 5 показаны скорости роста осадка карбоната кальция при использовании мембран 70NE при дозах ингибитора АМИНАТ™ К 5,3 и 1 мг/л. Как видно, скорости образования осадка меняются незначительно. При этом эффективность снижения осадков та же, что и при использовании ингибитора PermaTreat PC-191.

Применение нанофильтрационных мембран позволяет значительно снизить интенсивность осадкообразования на мембранах и благодаря этому сократить расходы на ингибиторы и моющие растворы. Доза ингибитора в случае использования нанофильтрационных мембран выбрана 1 г/м^3 исходной воды, а частота проведения химических промывок снижена в 3 раза по сравнению с применением обратноосмотических мембран. Как видно из результатов испытаний, затраты на электроэнергию и реагенты значительно ниже при использовании нанофильтрационных мембран, т.к. нанофильтрационные мембраны работают при давлении 0,16 МПа, а обратноосмотические мембраны работают при давлении 0,98 МПа.

Установки нанофильтрации позволяют достичь более высоких значений выхода фильтрата и коэффициента K (рис. 3-5) за счет низкой скорости осадкообразования. Как было показано (рис. 2), для достижения высоких значений величин K используется дополнительная мембранная ступень обработки и сокращения расхода концентрата.

В случае, если расходы на сброс концентрата в городскую канализацию учитываются в затратах, увеличение количества мембран оказывается экономически обоснованным, так как годовые затраты на сброс концентрата значительно превышают затраты на приобретение и замену дополнительного количества мембранных элементов [18].

ВЫВОДЫ

1. Применение нанофильтрационных мембран позволяет уменьшить интенсивность осадкообразования (предотвращение осадкообразования и снизить расход концентрата без опасности осадкообразования).
2. Благодаря использованию нанофильтрационных мембран можно снизить дозу ингибитора и соответственно затраты.
3. Даже при двукратном увеличении количества мембран экономия за счет концентрата, промывок и электроэнергии.

Благодарности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90078.

Библиографический список

1. Val S. Frenkel, Alexey G. Pervov, Alexey P. Andrianov, Vladimir A. Golovesov. Investigation of antiscalant dosing influence on scaling process in reverse osmosis facilities and membrane surface adsorption // Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering. Volume 14. pp. 610-621. Issue 6. 2019. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.
2. MWH, J.C.Crittende, et al. Water Treatment: Principles ad design. 2-nd ed. John Wiley and Sons, New Jersey, USA.

3. William B. Suratt, Douglas R. Adrews, Victor J.Pujals, S.April Richards. Design considerations for major membrane treatment facility for groundwater // Proceedings of the Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production. Volume 1. pp. 61-70.
4. Bargeman G., Vollebreek J.M., Straatsma J., Schroen C.G.P.H., Boom R.M. Nanofiltration of multi-component feeds. Interactions between neutral and charged. components and their effect on retention // J.of Membr. Sci., 2005. № 247. pp. 11-20.
5. D.E. Potts, R.E. Ahlert and S. Wang. A critical review of fouling of reverse osmosis membranes // Desalination 1981. V.36. pp. 235-264.
6. Goh P. S., Lau W. J., Othman M. H. D., Ismail A. F. Membrane fouling in desalination and its mitigation strategies // Desalination. 2018. v. 425. pp. 130–155.
7. Jiang S., Li Y., Ladewig B. P. A review of reverse osmosis membrane fouling and control strategies // Science Total Environ. 2017. v. 595. pp. 567–583.
8. Jamaly S., Darwish N. N., Ahmed I., Hasan S. W. A short review on reverse osmosis pretreatment technologies // Desalination. 2014. v. 354. pp. 30–38.
9. Chaussemier M., Pourmohtasham E., Gelus D., Pecoul N., Perrot H., Hubert L., Ledion J., Cheap-Charpentier H., Horner O. State of art of natural inhibitors of calcium carbonate scaling: A review article // Desalination. 2015. v. 356. pp. 47–55.
10. Shahid M. K., Choi Y.-G. The comparative study for scale inhibition on surface of RO membranes in wastewater reclamation: CO₂ purging versus three different antiscalants // Journal of Membrane Science. 2018. v. 546. pp. 61–69.
11. Li C., et al. Membrane fouling mitigation by coupling applied electric field in membrane system: Configuration, mechanism and performance // Electrochimica Acta. 2018. v. 287. pp. 124–134.
12. Pervov A., Andrianov A., Rudakova G., Popov K. A comparative study of some novel «green» and traditional antiscalants efficiency for the reverse osmotic Black Sea water desalination // Desalination and Water Treatment. 2017. v. 73. pp. 11–21.
13. A. Subramani, J.G. Jacangelo, Treatment technologies for reverse osmosis concentrate volume minimization: a review // Sep. Purif. Technol. 2014. V. 122. pp. 472–489.

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ГЛИЦИНА НА СВОЙСТВА СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

О.Н. Горелая, ст.препод., БелГУТ; С.В. Красковский, доц., к.т.н., УО «БГТУ»

Современные направления концепции устойчивого развития предполагают вовлечение в хозяйственный оборот отходов от различных производственных процессов предприятий и организаций, на что обращают внимание как отечественные, так и зарубежные ученые [1–5].

Одним из перспективных направлений является получение сорбционных материалов из железосодержащих осадков промывных вод станций обезжелезивания. Что характерно для данного вида отходов – он практически не используется в дальнейшем и складывается в значительных объемах в местах образования. Ранее были получены порошковые сорбенты [6, 7] для очистки водных сред от нефтепродуктов. При этом отмечалось, что наличие железа в составе данного вида отходов позволит обеспечить возможность более легкого их удаления.

Основным показателем использования синтезированных сорбентов в водных средах, загрязненных нефтепродуктами, является поглощающая способность данным сорбентом обозначенного загрязнителя – нефтеемкость (НЕ). Результаты исследований показали хорошие результаты: НЕ сорбентов около 8 мг/дм³.

При определении свойств сорбента, синтезированного методом экзотермического горения в растворах, было принято решение провести исследования с изменением дозы восстановителя (в качестве восстановителя в первой серии опытов использовался глицин). При этом температурный диапазон инициации экзотермической реакции синтеза было решено не менять и провести с тем же шагом 100 °С. Методика подробно описана в [6].

Полная статическая обменная емкость (ПСОЕ) образцов сорбента варьируется от температуры синтеза и имеет достаточно стабильные показатели и отражены на рис. 1. Исследуемые образцы характеризуются достаточно высокими значениями обменной емкости: от 3,1 до 4,1 мг/г – ПСОЕ превышает для ряда природных и синтетических материалов (например, ПСОЕ сорбента из железистого шлама в зависимости от способа приготовления образцов варьируется от 0,9 до 5,7 мг/г [8]). Минимальные значения ПСОЕ наблюдаются в образцах, синтезированных при температуре 300 °С, где в качестве восстановителя использовался глицин f1. Это может объясняться тем, что при более низких температурах органическая часть недостаточно выгорает и поглощение вещества имеет более низкие показатели.

При сравнении данных ПСОЕ полученных при мольном соотношении «окислитель-восстановитель» равным 1 (f1) и 3 (f3) наблюдаются у разных образцов различные изменения характеристик, что наглядно видно на рис. 1, но при этом очевидно, что избыток восстановителя не дает более высоких показателей полной статической обменной емкости.

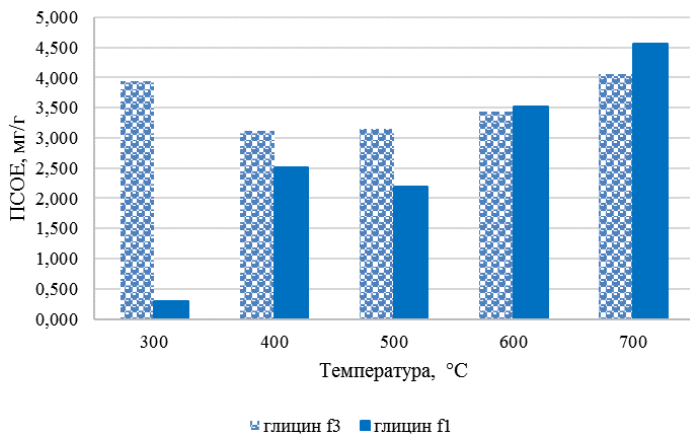


Рис. 1. Зависимость полной статической обменной емкости от температуры синтеза железосодержащих образцов сорбента

Так же, как и ранее [6, 7, 9] принимаем, что сорбция МГ на поверхности полученных образцов осуществляется в один молекулярный слой, можно рассчитать удельную поверхность. Данный способ широко применяется для сравнительного анализа образцов [10]. На рис. 2 представлены результаты изучения влияния температуры обработки образцов сорбентов на величину их удельной поверхности.

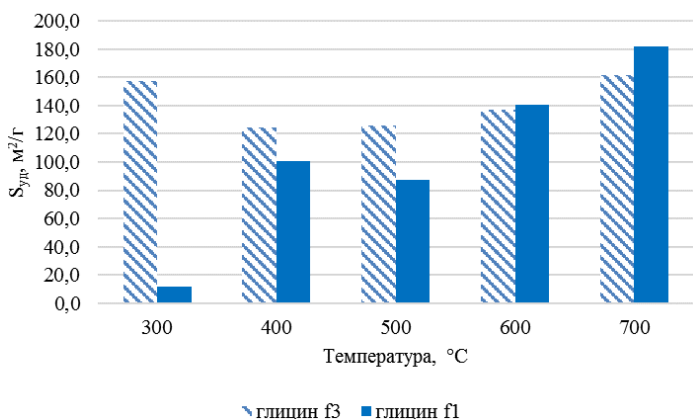


Рис. 2. Зависимость удельной поверхности от температуры синтеза железосодержащих образцов сорбента

Эмпирическим путем показано, что наилучшие значения удельной поверхности достигаются при температуре 700 °C независимо от мольного соотношения «окислитель-восстановитель», но при этом максимум наблю-

дается при f1. Следовательно, избыток глицина нецелесообразен для использования по сравнению результатов удельной поверхности для данного восстановителя.

При проведении сравнительного анализа нефтеемкости образцов, синтезированных с мольным соотношением «окислитель-восстановитель» равным 1 и равным 3, можно сделать вывод, что все образцы имеют значительно более низкие показатели при избытке восстановителя f3 (рис. 3). Показатели нефтеемкости магнитных образцов сорбента, полученного с использованием в качестве восстановителя глицина, при мольном соотношении «окислитель-восстановитель» равном 1, увеличиваются с увеличением температуры синтеза до 500 °С, затем кривая НЕ выходит на плато и можно говорить о высокостабильных показателях нефтеемкости полученных образцов сорбентов.

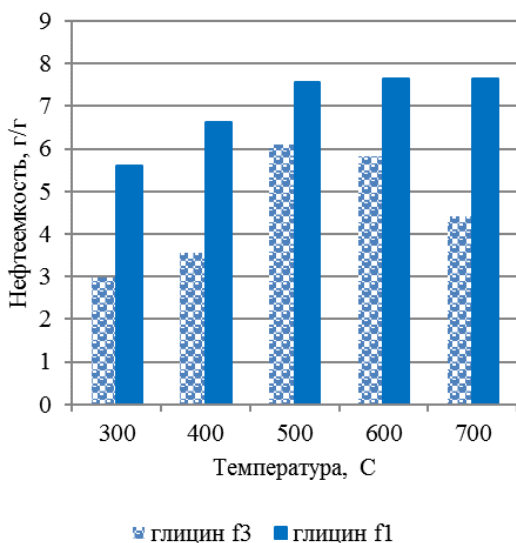


Рис. 3. Зависимость нефтеемкости от температуры синтеза железосодержащих образцов сорбента

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наилучшие значения ПСОЕ, удельной поверхности и нефтеёмкости получены для образцов, где для синтеза использовалось стехиометрическое количество восстановителя (f1) в сравнении с результатами для образцов, где количество восстановителя было в 3 раза больше стехиометрического (f3). В данном эксперименте в качестве восстановителя использовался глицин. Дальнейшие исследования удельной поверхности, фазового состава, элементного анализа и наличия остаточных функциональных групп на поверхности частиц позволят дать более точную картину свойств и обосновать полученные зависимости.

Библиографический список

1. Romanovski V. Agricultural Waste Based-Nanomaterials: Green Technology for Water Purifications // Aquananotechnology. Elsevier. 2020. P. 567–585.
2. Романовский В.И., Грузинова В.Л. Отходы синтетических материалов для очистки нефтесодержащих сточных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. №1. С. 24–29.
3. Romanovski V. New approach for inert filtering media modification by using precipitates of deironing filters for underground water treatment. Environmental Science and Pollution Research. 2020. 27. P. 31706–31714.
4. Романовский В.И., Куличик Д.М., Пилипенко М.В., Романовская Е.В. Железосодержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2019. С. 24–28.
5. Романовский В.И., Куличик Д.М., Пилипенко М.В. Железо-цинк-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания // Водоочистка. 2019. №4(178). С. 71–77.
6. Горелая О.Н., Романовский В.И. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. 2020. – № 2. С. 61–64.
7. Горелая О.Н., Романовский В.И. Сорбент для очистки нефтесодержащих сточных вод на основе отходов станций обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 10, С. 48–54.
8. Лукашевич О. Д., Усова Н. Т. Сорбент из железистого шлама для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 1. С. 148–159.
9. Горелая О.Н., Будейко Н.Л., Романовский В.И. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для удаления нефтепродуктов из водных сред // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные наука 2020. № 16. С. 52–57.
10. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 268 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ НА ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫЕ НУЖДЫ ПОТРЕБИТЕЛЯМ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Л.Г. Дерюшев, к.т.н., доц.; Н.Л. Дерюшева, к.т.н., МГРИ–РГГРУ

В соответствии с Федеральным законом от 27.12.2002 г., № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [1] в России активно ведутся работы по актуализации и совершенствованию отечественных нормативных документов во взаимосвязи с международными и Европейскими стандартами. В частности, актуализируются строительные правила проектирования и строительства систем внутреннего водоснабжения и канализации зданий СНИП 2.04.01-85** [3], которые именуются в настоящее время сводом правил СП [4-6]. С 1996 года было опубликовано три варианта СП [4, 5, 6], но работы в данном направлении продолжают активно не только по причине формирования новых направлений в области актуализации нормирования, но и наличия нерешенных вопросов по оценке расходов воды потребителями. В частности, не определены причины возникновения различий между параметрами расходов воды при составлении балансов водопотребления и водоотведения объектов, которые предоставляются абонентами при заключении договоров с организациями водопроводно-канализационного хозяйства по использованию централизованных систем холодного водоснабжения и водоотведения [2]. Оценки указанных параметров, выполненные с учетом требований СП [6] и СП [7], не редко различаются в 1,2-1,5 раза. Сотрудники технических отделов Водоканалов, как наиболее опытные специалисты по контролю расходов воды абонентами, лояльно подходят к диапазонам сравниваемых оценок, понимая их количественные расхождения. С теоретической точки зрения оценки однозначных параметров, выполненные с учетом нормативных требований СП [6] и СП [7], должны строго совпадать, поскольку системы внутреннего водоснабжения являются элементами систем наружного водоснабжения, то и их энергетические параметры должны быть подобны или количественно пропорциональны на основании законов сохранения материи и энергии. Во всяком случае, в нашей стране и за рубежом соблюдение единства теоретических подходов к гидравлическому расчету систем водоснабжения их элементов не отвергалось, а требования нормативных документов формировались в строгой взаимосвязи. Если и выявлялись частичные расхождения между ними на начальной стадии разработки документов, то в дальнейшем выявленные несоответствия планомерно редактировались. В настоящее время подобное совершенствование нормативных документов выполняется в рамках правил их "актуализации", в частности актуализируются требования по оценке расчетных расходов воды потребителями в жилых домах.

Прежде чем переходить к анализу методов оценки расходов воды на расчетных участках трубопроводов зданий и сооружений, базируясь на единых теоретических положениях в области водоснабжения и водоотведения, необходимо разобраться в терминологии, которая применяется в инженерной практике при обосновании проектных или строительных решений. В последние годы терминология в области водоснабжения и водоотведения существенно изменилась, появление новых терминов хотя и расширили представления в данной области, но и внесли ряд противоречий.

Например, в последнем издании СП 30.13330 [6] приводится терминология по водоснабжению и водоотведению со ссылкой на нормативные документы, заведомо формально, без учета их содержания. Указание п. 3.1.5 [6] на обоснование термина "водоснабжение" по ГОСТ 19185 [20] констатирует определение: "**водоснабжение**" – "водоподготовка, транспортировка и подача питьевой или технической воды абонентам с использованием *централизованных или нецентрализованных систем холодного водоснабжения* (холодное водоснабжение) или приготовление, транспортировка и подача горячей воды абонентам с *использованием централизованных или нецентрализованных систем горячего водоснабжения (горячее водоснабжение)*". Приведенное в п. 3.1.5 [6] уточнение уводит не только от установившейся за столетие терминологии, но и теоретических представлений в области водоснабжения и водоотведения.

Принятое ранее искажение термина в одном из нормативных документов привело к противоречиям в области оценки отбора воды потребителями из трубопроводных систем водоснабжения, с использованием арматуры санитарных приборов, перечень которых будет рассматриваться ниже. Предварительно уточним терминологию в области водоснабжения и водоотведения, которая базируется на теоретических "предложениях и рекомендациях" Абрамова Н.Н., Яковлева С.В. Карелина Я.А., Жукова А.И. [17, 18, 19].

Водоснабжение – совокупность мероприятий по обеспечению водой различных потребителей (населения, промышленных предприятий, транспорта, сельского хозяйства) в необходимых количествах и требуемого качества.

Система водоснабжения (водопровод) – комплекс инженерных сооружений и устройств для получения воды из природных источников, ее очистки, транспортирования к различным потребителям в необходимом количестве и требуемого качества.

Из последнего перечня определений следует, что термин "водоснабжение" (или "водоотведение") подразумевает "мероприятие", а понятие "система водоснабжения" – "совокупность элементов" (сооружений, устройств), обеспечивающих выполнение заданных ей функций. Задания по выполнению функций "системой" назначаются с учетом требований потребителей объекта, которые могут находиться в жилой местности, на промышленном предприятии, общественных или административных зданиях.

В зависимости от степени объединения потребителей на объекте формируются требования водоснабжения для наружных трубопроводных сетей и сооружений [7], либо для внутренних трубопроводных сетей, устройств [8, 9, 22]. Требования по подаче воды назначаются с учетом единой нормы удельного водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды (см. таб. 1 п. 5.1 [7]), которая включает расход не только холодной, но и горячей воды. Если нормируются требования по выполнению функций системой, то учитываются все потребители, независимо от того, где они будут находиться в здании, в больнице, на производстве, все потребители нуждаются в холодной и горячей воде. Когда рассматривается часть объекта (здание или промышленное сооружение), то она рассматривается как элемент общей системы водоснабжения без отрыва от задач (Заданий), которые назначаются для всей совокупности элементов. Не понятно, какая *"централизованная система горячего водоснабжения для целей питьевого водоснабжения"* нормируется правилами [3-6]?

Система водоснабжения – единая, она может иметь отдельные подсистемы, как, например, система подачи и распределения воды для города, система подачи и распределения воды для отдельных зданий и сооружений [7]. У каждой подсистемы свои трубопроводы, оборудование, устройства, но все они нацелены на выполнение единой задачи по обеспечению требований потребителей. Если у отдельных потребителей отдельной подсистемы водоснабжения имеются дополнительные требования по подаче и качеству воды, то в ней предусматриваются дополнительные устройства и оборудование (насосы, предохранительные устройства, фильтрующие устройства, устройства и оборудование для подогрева воды), которые обеспечивают дополнительные заданные функции. Качество питьевой воды одинаково соблюдается как для холодной, так и для горячей воды, а общее их количество не отличается от единых нормируемых пределов. Целесообразно соблюдать единый или системный подход к нормированию правил проектирования водоснабжения объектов: городов, жилых и общественных зданий, промышленных предприятий. Например, "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения", "Водоснабжение. Внутренние сети и устройства жилых зданий", "Водоснабжение. Внутренние сети и устройства общественных зданий"; по аналогии – "Канализация. Внутренние сети и устройства жилых зданий". Во всяком случае, подобный подход к нормированию требований функционирования объектов водоснабжения соответствует правилам оценки надежности любых технических объектов, в том числе и систем водоснабжения [13, 17, 18]. Деление системы на элементы обуславливается необходимостью поэтапного рассмотрения объекта, но цель решения задачи остается неизменной, единой. Нарушение принципа системного рассмотрения объекта и единства правил нормирования требований по выполнению поставленных задач неизбежно приводит к искажению проектных решений и оценок. Данный вывод подтверждается и результатами анализа требований по оценке расходов воды на расчетных трубопроводных участках [3-6], которые приводятся ниже.

Например, расчетный расход воды q_o на тупиковом участке сети по требованиям [3-6], оценивается по формуле:

$$q_o = \frac{\sum_1^m N_i P_i q_{oi}}{\sum_1^m N_i P_i}, \quad (1)$$

где N_i – количество санитарно-технических приборов, $i = 1 \div m$; m – количество групп водопотребителей; q_{oi} – расход воды санитарно-техническим прибором i , л/с; P_i – вероятность действия санитарно-технических приборов, определяемая для каждой группы водопотребителей,

– при одинаковых водопотребителях:

$$P_i = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{3600 \cdot q_o \cdot N}, \quad (1"а")$$

где U – число водопотребителей; $q_{hr,u}$ – норма расхода воды в час наибольшего водопотребления, л/ч.

– при разных водопотребителях:

$$P = \frac{\sum_1^m N_i P_i}{\sum_1^m N_i}, \quad (1"б")$$

Выше отмечалось, что параметры расходов воды для зданий и сооружений, рассчитанные с учетом оценок по формулам [6], существенно рознятся от параметров, рассчитанных по формулам требований [7]. Однозначно сформулировать причину этих расхождений на данном этапе исследований задача не ставится, но некоторые из вопросов целесообразно рассмотреть.

Если придерживаться теоретического определения вероятности случайного события $P(A)$ [13], то

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (2)$$

где m – число случаев, благоприятных событию A ; n – общее число случаев.

Закономерность или устойчивость проявления исследуемого случайного события A оценивается методами математической статистики с ис-

пользованием математических законов распределения случайных величин [13], которые подразделяют на дискретные и непрерывные.

Непрерывные случайные величины в отличие от дискретных величин могут принимать любые значения в границах известного интервала. Событие, связанное с включением или отключением санитарного прибора, относится к дискретным случайным величинам, а расход воды потребителя или санитарного прибора – к непрерывным. Очевидно, существует принципиальное различие в методах оценки рассматриваемых величин. Распределения дискретных величин характеризуются: биномиальным законом, гипергеометрическим законом, законом Пуассона, а непрерывные величины законами: нормальным распределением, χ^2 – распределением, равномерной плотности. Для любого однородного потока случайных событий обусловлены правила оценки его параметров, в том числе и вероятности возникновения событий.

При анализе формулы (1"а") по оценке вероятности действия санитарно-технических приборов P , при расчете расхода воды для различных приборов q_o на участке тупиковой сети по формуле (1) одновременно рассматриваются дискретные величины (N – приборов, U – потребителей) и непрерывные (расходы q_{oi} – приборами, расходы $q_{hr,u}$ – потребителями).

Заметим, санитарно-технические приборы системы водоснабжения, потребители воды и их расходы неоднородны, они различаются и по величине и условиям формирования потоков случайных событий. Кроме того, частота включений санитарно-технических приборов и режим потребления воды людьми в жилых домах, общественных зданиях, на промышленных предприятиях – также специфичны, в каждом случае формируются по своим законам (законам теории вероятности). Очевидно, что в перерывах спектаклей в театрах, клубах, люди используют санитарные приборы в одних режимах, а в жилых домах – с другой частотой и режимами открытия и закрытия водоразборных кранов. Особенности режимов водопотребления людьми на промышленных предприятиях, в общественных и жилых помещениях ранее учитывалось, поскольку нормативные документы и их требования для внутренних систем водоснабжения соответственно подразделялись, в зависимости от назначения проектируемых объектов [8, 9]. В настоящее время подобное логическое нормирование требований по обеспечению потребителей водой, различающихся по виду деятельности, условиям санитарного обслуживания сохранились только в нормативных документах правил проектирования наружных систем водоснабжения [7].

На этапе формирования отечественных нормативных требований по проектированию систем водоснабжения жилых, общественных и производственных зданий все применяемые для этих целей санитарно-технические приборы сводились к единому эквиваленту (за 1 принимался кран раковины с расходом $q = 0,2$ л/с). В настоящее время эти особенности учитываются требованиями СанПиН и некоторых СНиП [10, 11], по количеству и виду санитарных приборов в помещениях, режимам их одновременного действия и т.д., как это приводится ниже в табл. 1 и 2.

**Данные по нормированию санитарных приборов и мебели
в гардеробных на одного человека**

Группа производственных процессов	Санитарная характеристика производственных процессов	Расчетное число человек		Тип гардеробных, число отделений шкафа на 1 человека	Специальные бытовые помещения и устройства
		на одну душевую сетку	на один кран		
1	Процессы, вызывающие загрязнение веществами 3-го и 4-го классов опасности:				–
1 а	только рук	25	7	Общие, одно отделение	–
1 б	тела и спецодежды	15	10	Общие, два отделения	–
1 в	тела и спецодежды, удаляемое с применением специальных моющих средств	5	20	Раздельные, по одному отделению	Химчистка или стирка спецодежды

Таблица 2

Проценты одновременного действия санитарных приборов в производственных зданиях бытовых помещениях промышленных предприятий

На именование санитарных приборов	Количество установленных санитарных приборов									
	1	2	3	10	20	40	60	100	200	
Умывальники	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Душевые сетки	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Писсуары с автоматическими смывными бачками	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Унитазы со смывными кранами	100	30	25	20	15	10	10	10	5	
Унитазы со смывными бачками	100	75	65	60	50	45	40	40	40	

Приведенные в таблицах примеры нормирования количества одновременного действия санитарных приборов на объектах не совершенны, но сам подход к нормированию показателей обеспечения требований потребителей водой единый, что для систем подачи и распределения воды по наружным трубопроводным сетям, так и внутренним. Можно допустить,

что отказ от классического методологического подхода анализа и оценки параметров систем водоснабжения затрудняет выполнение требований Правительства [1, 22, 23] по совершенствованию расчетов подачи воды потребителям. Точность оценки вероятности действия санитарных приборов, расчетных расходов воды в жилых, общественных, производственных и прочих зданиях, в зависимости от удельных норм расхода воды потребителями в перечисленных зданиях по формулам (1, 1 "а", 1"б") весьма неубедительна по выше перечисленным причинам и ряду сложившихся убеждений.

Например, наибольшее количество воды потребители расходуют при принятии ванны или уборке помещения, но это не значит, что отмеченные события будут наблюдаться в установленное время (в максимальный час), на заданном участке сети. Большее время за сутки потребители воды могут проводить в других зданиях, с другими санитарно-техническими приборами и там расходовать основной нормируемый расход воды (часовой расход воды в зданиях и сооружениях в настоящее время не исследован). По условию, которое отражает формула (1 "а"), все m групп водопотребителей

$U = \sum_{i=1}^m U_i$ принимают участие в потреблении воды, а вероятности их при-

сутствия на объекте не принимаются во внимание. И наоборот, участок сети может быть перегружен при одновременном включении одним потребителем мойки, стиральной машины, смесителя для ванны, а расчетный расход воды объекта q_{hr} , может оцениваться меньше предельной величины $q_{hr} < Q_{max}/24$ {см. [3÷6], формулы (3 ÷ 8)} из-за упомянутых выше причин (вероятности присутствия потребителя на объекте $P \neq 1$).

До 1985 г в нашей стране использовались методы расчета внутренних систем водоснабжения и водоотведения зданий и сооружений сравнительно схожими с методами, применяемыми в США и Европейских странах. Упомянутые методы не могут однозначно относиться к образцовым, но отдельные положения, которые приводятся в них, очевидно можно использовать при совершенствовании отечественных правил расчета внутренних систем водоснабжения зданий.

В стандарте BMS65 США, для определения расчетных расходов в сетях внутренних водопроводов принимаются следующие предпосылки [15, 16]:

1) Вероятность одновременного действия количества m санитарных приборов из числа n , установленного на расчетном участке, вычисляется на основании функции биномиального распределения:

$$P(n, m) = \frac{m!}{m(n-m)!} \left(\frac{t}{T}\right)^m \left(\frac{T-t}{T}\right)^{n-m}, \quad (5)$$

где $\frac{t}{T}$ – вероятность работы отдельных, санитарных приборов того или иного типа; t – продолжительность работы водоразборной арматуры; T – продолжительность пользования санитарным прибором.

2) Вероятность нарушения расчетного режима принимается 0,01, т.е. в течение максимального водоразбора вероятность включения в работу $m+1$ водоразборных точек не превышает $F \leq 0,01$, где $F = 1-P$.

Учитывая, что внутренний водопровод объединяет санитарные приборы различного назначения, было введено понятие "веса" того или иного санитарного прибора в системе, т.е. понятие эквивалента санитарно-технического оборудования, как это принималось ранее в нашей отечественной практике [8]. Для вычисления расчетных расходов на участках сети пользуются эмпирической формулой:

$$q = 1,5N^{0,561}, \quad (6)$$

где q – расчётный расход, галлон/мин ($3,79$ л/мин = $0,063$ л/с); N – количество санитарных приборов, выраженных в эквивалентах;

За эквивалентный расход принимается подача воды смывным краном унитаза. Соотношение по расходам горячей и холодной воды принимается равным: $0,25/0,75$ (для сравнения, в наших нормативах [4-6]: $q^h = q^c$, $0,2 = 0,2$ л/с; при температуре воды $\Delta t^\circ = (75^\circ + 10^\circ)/2 = 42,5^\circ$ (можно и ошпариться, поскольку для детских учреждений даже кратковременная подача горячей воды $t^\circ_{\text{гор}} \leq 37^\circ$ недопустима [6, 12]). В этом случае расходы в каждой сети вычисляются исходя из величины общей расчётной нагрузки, выраженной в эквивалентах, и умножаются на снижающий коэффициент, учитывающий одновременность работы холодного и горячего водопровода.

По мнению американских инженеров, рекомендованный метод определения расчетных расходов в большей мере отвечает требованиям эксплуатации систем водоснабжения в общественных зданиях. Расчетные расходы воды в жилых зданиях, оснащенных большим количеством санитарно-технического оборудования, являются завышенными. Поэтому при гидравлическом расчете производится их корректировка. При гидравлическом расчете внутренних водопроводов, рекомендуется потери напора оценивать до «центра тяжести нагрузки стояка». Одновременно с этим необходимо выполнять поверочный расчет, выявляющий достаточность напора (без учета потерь в трубопроводах) для нормальной работы, наиболее удаленной и высокорасположенной водоразборной арматуры. То обстоятельство, что понижающий коэффициент все же вводится в расчет, служит объяснением неполноценности основного метода вычисления расходов в сетях внутреннего водопровода и не отражает существа работы внутреннего водопровода, кроме того не гарантирует бесперебойность его действия при использовании не только методики США, но и отечественных рекомендаций [4-6].

В справедливости отмеченных рекомендаций можно убедиться (см. табл. 3), если выполнить даже элементарные замеры расходов воды, которые наблюдаются при заполнении мерных сосудов в квартире из водоразборной арматуры (крана, вентиля).

Согласно примечанию, п. 5.2.2.1 СП [4-6], общий расход воды (холодной и горячей), отбираемый из системы с помощью санитарно-технического прибора, по которому отсутствуют сведения, допускается принимать: $q_o^{tot} = 0,3 \text{ л/с}$, $q_o^h = q_o^c = 0,2 \text{ л/с}$, где q_o^h , q_o^c – расходы горячей и холодной воды, соответственно, л/с.

Таблица 3

**Данные замеров расходов воды,
забираемой через водоразборный кран раковины со смесителем**

№	Диаметр струи, d , мм	Время заполнения емкости $W=1$ л, t , с	Расход воды q_0^Σ , л/с	Площадь поперечного сечения струи, $\omega \cdot 10^{-3}$, м ²	Примечание: степень открытия крана
1	5	27	0,037	0,0196	частичное
2	6	22	0,045	0,0282	-«-
3	7	17	0,059	0,0384	-«-
4	8	11	0,09	0,0480	-«-
5	9	9	0,11	0,0635	-«-
6	10	6	0,16	0,0785	-«-
7	11	4,5	0,22	0,0949	-«-
8	12	3,3	0,30	0,113	полное

Следует отметить, что для нормального отбора воды, с учетом минимального образования брызг и экономии воды (при наличии водомеров в квартире и здравомыслия), достаточно струи диаметром $d=7 \div 8$ мм, т.е. $q_0^\Sigma = 0,059 \div 0,09 \approx 0,06$ л/с, что в 5 раз меньше нормируемого расхода вода: $q_o^{tot} / q_0^\Sigma \approx 0,3 / 0,06 = 5$.

Для сравнения можно привести данные расчетных расходов воды, которые принимались в нашей стране до 90-х годов, когда норма расхода воды на человека достигала 500 л/сут, а давление на отметке наиболее низко-расположенного санитарно-технического прибора составляла 0,6 МПа > 0,45 МПа [3, 8, 9].

В настоящее время можно допустить, что все водоразборные краны (умывальников, душевых, моек) оборудованы смесителями, а потому оценка расхода воды, забираемой из водоразборного крана, $q_0^\Sigma = 0,06$ л/с – не отвергается, поскольку вероятность среднего значения расхода воды потребителем имеет наибольшее значение, по мнению специалистов многих стран.

В Англии, как и в США, строгих ограничений в использовании методов оценки расходов и гидравлического расчета трубопроводов не предусматривается. Однако специальными указаниями, разработанными Re-

search Station in England для расчета внутренних сетей холодного и горячего водоснабжения, рекомендуется метод, основанный на применении теории вероятностей и математической статистики [13, 14].

Таблица 4

Расчетные (максимальные расходы воды, эквиваленты санитарных приборов

Приборы	Диаметр под- водки, мм	Расчетный расход воды, л/с	Эквивалент
Водоразборный кран с аэратором	10-15	0,2	1
Туалетный кран для умывальника	10-15	0,07	0,33
Смеситель для умывальника	10-15	0,1	0,5
Смеситель для душевых	10-15	0,1-0,14	0,5-0,7
Поплавковый клапан смывного клозетного бачка	10-15	0,1	0,5

Указанный метод вычисления коэффициента одновременности действия водоразборной арматуры аналогичен методу, применяемому в США и ранее применяемому в РФ [8, 9]. Однако сложность вычисления значений вероятности $P = m/n$, имеющая место при биномиальном распределении, затрудняла практическое применение этого метода. В нормативных документах, учебных и справочных пособиях для удобства расчета внутренних, водопроводов (холодного и горячего) приводятся таблицы расчетных расходов, составленные применительно к типовому комплексу санитарно-технического оборудования жилых зданий. В связи с тем, что табличные значения расчетных расходов, вычисленные для типового решения, не могут быть рекомендованы для всех случаев жизни, понятие санитарно-технического эквивалента не устанавливается, а в качестве исходных данных принимается сумма нормативных расходов из всех водоразборных точек, установленных на расчетном участке. Наряду с таблицами для определения расчетных расходов, используются различные графики для определения расчетных расходов воды в сети внутреннего водопровода.

В тех случаях, когда пользоваться таблицами или графиками практически неудобно, рекомендуется определять расчетные расходы в сетях горячего и холодного водопровода по эмпирической формуле:

$$q = 1,5\sqrt{Q}, \quad (7)$$

где q – расчетный расход в. фут³/мин. ($0,3048 \text{ м}^3/\text{мин} = 5 \text{ л/с}$); Q – общий расход воды в фут³/мин, при одновременной работе всех санитарных приборов.

Результаты вычислений по этой формуле согласуются с требованиями установленных стандартов. При этом никаких поправочных коэффициентов, учитывающих одновременность действия обеих сетей, не вводится.

Во Франции и Италии расчет и проектирование внутренних водопроводов выполняется аналогично [14]. Основные расчетные параметры, характеризующие гидравлический режим работы арматуры, приводятся в таблицах нормативных документов. Расчетные расходы воды на участке сети вычисляются по формуле:

$$q_p = K \sum_{i=1}^m q_i n_i, \quad (9)$$

где q_p – расчетный расход в л/сек; q_i – нормативный расход воды санитарным прибором данного типа в л/сек; n_i – количество санитарно-технических приборов одного наименования; K – коэффициент одновременности действия санитарных приборов на расчетном участке, принимаемый в зависимости от n .

Для вычисления коэффициента одновременности действия санитарных приборов используется эмпирическая формула

$$K = \frac{1}{\sqrt{n-1}}, \quad (10)$$

либо графики зависимости $K = f(n)$ построенные с учетом упомянутой формулы, для зданий с различным уровнем благоустройства.

Анализируя рассмотренные выше методы расчета расходов воды в зданиях в целях разработки предложений по их совершенствованию, необходимо остановиться на следующих теоретических положениях, которые лежат в основе проектирования систем водоснабжения.

Во-первых, любой внутренний водопровод здания является элементом системы водоснабжения конкретного объекта (города, населенного пункта, промышленного предприятия). Если формируется теория расчета расходов воды, то она должна быть единой, что для системы, то и для ее элемента. Следовательно, и нормативные документы, которые регламентируют правила оценки расходов воды для них, должны быть взаимосвязаны, а не противоречить друг – другу. В настоящее время в действующих нормативных документах [3-6] такие противоречия существуют.

В СП п. 5.2 [7] регламентируется, что расчетными расходами воды проектируемой системы водоснабжения являются максимальные и минимальные часовые расходы в максимальные и минимальные сутки. В СП п.5.2.1.2 [6] почему-то рекомендуется, что расчетный расход воды во внутренних водопроводах холодной и горячей воды следует определять в зависимости от: а) секундного, л/с, или б) часового расхода, м³/ч, воды. Спрашивается, где логика? Характерные и номинальные характеристики водомерных приборов, по которым контролируется потребление воды, измеря-

ются в м³/ч. В этих же единицах, а не в л/с, составляется отчетная документация о расходах воды потребителями. Десятилетиями в учебной и справочной литературе обосновывается, что в течение часа расход воды потребителями принимается равномерным [7, 16-19]. Неравномерность водопотребления на годовом и суточном интервалах оценивалась и назначается коэффициентами неравномерности $K_{\text{сут.max}} \cdot K_{\text{сут.min}}$. В правилах [3-6] это условие упоминается, только используется неверно. Экстремальные расчетные расходы воды назначаются не с учетом упомянутых коэффициентов неравномерности, а наоборот последние определяются по расчетным расходам воды $K_{\text{max}} = \frac{q_{hr}}{q_T}$ [3-6], где q_{hr} – максимальный часовой расход воды (общий q_{hr}^{tot} , горячей q_{hr}^h , или холодной q_{hr}^c) м³/ч; q_T – средний часовой расход воды (общий q_T^{tot} , горячей q_T^h , или холодной q_T^c) м³/ч. Все это, при желании, пересмотреть не сложно.

Во-вторых, следует исключить из текста [3-6] ряд неточностей по нормированию надежности, долговечности и ремонтпригодности внутренних систем водоснабжения и водоотведения. Они настолько очевидны, что их нет необходимости упоминать.

Режим водопотребления относится к случайным процессам, у которых важнейшим из числовых характеристик является мода или наиболее вероятное значение x_i величины q , обозначаемое символом $M_o q$. В нашем случае в качестве моды можно рассматривать величину расхода воды из крана со смесителем $q_0^{\Sigma} = 0,06-0,07$ л/с, плотность вероятности $f(q)$ которой имеет наибольшее значение.

Необходимо отметить, что не логично назначать одинаковые расходы горячей и холодной воды при наличии не только отмеченной ранее разницы температур $\Delta t^o = 42,5^o \text{ C}^o$, но и условия, что: $q_o^h = q_o^c = 0,2 \text{ л/с}$; $q_o^{\text{tot}} = 0,3 \text{ л/с}$. Не может часть воды исчезать, если в смеситель подается, как утверждается [3-6], $q_o^{\text{tot}} = (0,2 + 0,2) = 0,3 \text{ л/с}$. Целесообразно обратиться к методике расчета расходов воды, как это рекомендовалось ранее в нашей стране [8, 9] и за рубежом [14, 15], но с частичной доработкой. В первую очередь целесообразно доработать методику оценки вероятности действия санитарно-технических приборов на объектах с различными потребителями воды, а при назначении соотношения подачи холодной q_x и горячей $q_{\text{гор}}$ воды через водоразборный санитарный прибор основываться на теплотехнических расчетах изменения температуры $t^o_{x+\text{гор}}$ общей массы жидкой среды $Q_{(x+\text{гор})} f(t^o_{x+\text{гор}}) = q_x f(t^o_x) + q_{\text{гор}} f(t^o_{\text{гор}})$, при $t^o_{\text{гор}} \leq 75^o \text{ C}^o$, согласно п. 2.4 СанПиН 2.1.4.2496 [11].

Как показали экспериментальные исследования и теплотехнические расчеты, при подаче воды $Q_{(x+\text{гор})} = 0,3 \text{ л/с}$, температурой $t^o_{(x+\text{гор})} = 37,5^o \text{ C}^o$ через смеситель водоразборной арматуры соотношение между холодной и

горячей воды находится в пределах $q_x/q_{гор} = 0,56/0,44$, при $q_x = 0,17$ л/с, $t_x^o \approx 10^o C^o$, $q_{гор} = 0,13$ л/с, $t_{гор}^o \approx 65^o C^o$. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях. Расходы воды измерялись емкостным способом, а температура воды градусником – с делениями от 0^o до $100^o C^o$. Объем выборки испытаний принимался в пределах 5.

Теплотехнические расчеты воды базировались на законах термодинамики. Допускалось, что холодная и горячая вода в смесителе водоразборной арматуры перемешиваются. Холодная и горячая вода как любое тело обладают теплоемкостью. При нагревании тела единичной массы m от температуры t^o до температуры $t^o = t^o + \Delta t^o$ ему сообщается количество тепла ΔQ . Количество тепла ΔQ , полученное телом массы m при увеличении его температуры на Δt^o , равно [24]

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t^o, \text{ Дж} \quad (11)$$

где c – удельная теплоемкость, для воды, кДж/кг·К; K – кельвин, $t^o C^o = 273,15$ К:

теплоемкость воды при $t^o = 10^o C^o$ - $c = 4,192$ кДж/ кг ·К;

теплоемкость воды при $t^o = 65^o C^o$ - $c = 4,186$ кДж/ кг ·К;

При тепловом взаимодействии холодной и горячей воды, количество тепловой энергии от горячей воды передается холодной. Количество теплоты, переданное слоем вещества толщины $\Delta \delta$ площадью F при поддержании на его плоскостях разности температур Δt^o за время T , определяется по формуле [24]:

$$\Delta Q = \lambda \frac{\Delta t^o}{\Delta \delta} FT, \quad (12)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, для воды при $t^o = 65^o C^o$. $\lambda = 0,667$ (Вт/м ·К).

Время взаимодействия потоков воды в смесителе принималось в пределах $T = 1$ с, толщина слоя струйного потока $\Delta \delta = 1$ мм. Если через смеситель подается холодной и горячей воды $0,3 = 0,17 + 0,13$ л/с, то количество тепла, которое сообщается холодной воде массой $m = 0,17$ л при изменении температуры $\Delta t^o = c$ 10^o до $32,5^o$, составит $\Delta Q = 214$ Дж. Принимая во внимание, что: 1) струя горячего потока воды внутри смесителя отдает тепло не с одной, а с двух сторон; 2) объем этой воды равен - $W = F \cdot \Delta \delta = 0,13$ л = $= 0,00013$ м³; 3) с учетом закона сохранения энергии тепло отдается в том же количестве, что и принимается $\Delta Q_{отдается} = \Delta Q_{принимается}$ (отдается потоку холодной воды, трубе и окружающей среде) тогда:

$$F \cdot \Delta \delta = W \approx \frac{\Delta Q}{2 \cdot 1,25 \cdot \lambda \cdot \Delta t^o \cdot T}, \quad (13)$$

где 1,25 коэффициент, для учета отдачи тепла арматуре и в окружающую среду.

Сопоставление результатов теплотехнического расчета по формуле (13) и лабораторных данных по замерам $\Delta Q_{\text{холодной}} = c_{\text{холодной}} \cdot m_{\text{холодной}} \cdot \Delta t^{\circ} \cong \Delta Q_{\text{горячей}} = c_{\text{горячей}} \cdot m_{\text{горячей}} \cdot \Delta t^{\circ}$, позволило сделать вывод о соответствии выдвинутой гипотезы о соотношении расходов горячей и холодной воды ($q_{\text{х}}/q_{\text{гор}} \approx 0,56/0,44$), при отборе воды из смесителя для умывальника.

Выводы

1 Анализ методов расчета расходов воды при проектировании внутренних систем водоснабжения, которые ранее использовались в нашей стране и за рубежом, позволяет сделать вывод о их подобии;

2. В целях совершенствования методов расчета расходов воды необходимо провести дополнительные исследования по уточнению параметров вероятности действия санитарно-технических приборов;

3. Обоснована гипотеза о пропорциональном соотношении расходов горячей и холодной воды, поступающие из смесителя для умывальника на санитарные нужды потребителей жилищно-коммунального хозяйства: $q_{\text{х}}/q_{\text{гор}} \approx 0,56/0,44$;

4. В сложившихся условиях актуализации нормативных документов в Российской Федерации предлагается: требования по водоснабжению и водоотведению нормировать по системному принципу анализа и оценки технических объектов, с целью соблюдения их взаимосвязи и единства требований обеспечения подачи и качества воды потребителям

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ "О техническом регулировании".

2. Постановления Правительства РФ от 03.11.2016 № 1134 "Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации"

3. СНиП 2.04.01. -85*. "Внутренний водопровод и канализация зданий".1996.

4. СП 30.13330-2016. "Внутренний водопровод и канализация зданий". 2017.

5. СП 30.13330-2016. "Внутренний водопровод и канализация зданий". 2019.

6. СП 30.13330-2020. "Внутренний водопровод и канализация зданий". 2020.

7. СП 31. 1330-2012. "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения". 2019.

8. СНиП I-Г. 1-62. Внутренний водопровод жилых и общественных зданий. Нормы проектирования. М., 1962.

9. СНиП I-Г. 2-62. Внутренний водопровод производственных и вспомогательных зданий. Нормы проектирования. М., 1962.
10. СП 44.13330.2010. Административные и бытовые здания. М., 2010.
11. СанПиН 2.1.2.2645-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях. М., 2010.
12. СанПиН 2.1.4.2496. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. М., 2009.
13. Дунин-Барковский И.В. и Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). // Техничко-теоретической литературы. 1955. С.17-80.
14. Шопенский Л.А. Методы расчёта внутренних водопроводов в США, Англии, Франции и Германии // Информационно-издательский сектор, 1964. С. 3-48.
15. Репин Н.Н., Шопенский Л.А. Санитарно-технические устройства и газоснабжение зданий. // Стройиздат. 1975. С. 75.
16. Конюшков А.М. Водопотребление и состояние водоснабжения в зарубежных странах. // ЦИНИС, 1958. С. 2-35.
17. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. // Стройиздат. 1974.С. 6.
18. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. //Стройиздат. 1979.С.5-232.
19. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация. // Стройиздат. 1976.С. 6-632.
20. ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. 1973.
21. СНиП 1-2. Строительная терминология. Общие положения.1980.
22. Федеральный закон "О водоснабжении и водоотведении" № 416-ФЗ от 7.12.2011.
23. Постановление Правительства Российской Федерации "О схемах водоснабжения и водоотведения" № 782 от 5.09.2013.
24. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике // Издательство "Наука". 1976. С. 60.

СИСТЕМА КОНТРОЛИРУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

О.Н. Дьячкова, доц., к.т.н., СПбГАСУ

Актуальность исследования сформулирована на основе изучения статистических данных [3] и научных источников [1, 2, 4-9]. Водные ресурсы подвержены природному и техногенному загрязнению. Антропогенное влияние увеличивается на урбанизированных территориях. Загрязняющие вещества обладают способностью мигрировать в природных средах. Наземные и водные экосистемы депонируют поллютанты. Региональное качество почвы, воды и воздуха по тем или иным параметрам не всегда соответствует действующим нормативам. Загрязнённые токсикантами природные компоненты могут представлять опасность для здоровья населения. В сфере водоснабжения и водоотведения вопрос нормативно-правовой базы на федеральном уровне решен, однако на региональном уровне требуется его дальнейшая глубокая проработка. Имеющиеся и выделяемые по госпрограммам финансовые ресурсы используются недостаточно эффективно [1-9].

В 2019 г. качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения обеспечено 85,5 % всего населения Российской Федерации, следовательно, целевой показатель года (87,5 %) в целом по стране не достигнут. Качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения обеспечено 93,2 % городского населения Российской Федерации, что ниже установленного годового целевого уровня (94,5 %) [3]. Региональное распределение достигнутых показателей в СЗФО в 2019 г. представлено в табл. 1.

Таблица 1

Обеспеченность жителей СЗФО качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения [3]

Субъект РФ	Доля населения субъекта РФ, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, %	Доля городского населения субъекта РФ, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, %
1	2	3
г. Санкт-Петербург	100,0	100,0
Мурманская обл.	99,4	99,7
Республика Коми	89,8	98,0
Калининградская обл.	88,9	95,0
Ленинградская обл.	80,3	91,1

1	2	3
Псковская обл.	76,7	91,8
Новгородская обл.	73,4	81,0
Республика Карелия	66,7	73,6
Архангельская обл.	62,2	75,0
Ненецкий АО	53,6	67,3
Вологодская обл.	51,6	62,6

На состояние воды источников водоснабжения и воды водных объектов в местах водопользования населения, а также питьевой воды систем централизованного водоснабжения оказывают влияние: паводки; размножение сине-зеленых водорослей в водоисточниках; сброс в водные объекты недостаточно очищенных сточных вод; поступление загрязненных вод из технологических прудов; трансграничный перенос загрязняющих веществ; отсутствие схем водоснабжения; применение устаревших технологий водоочистки; изношенность водоочистных сооружений; ненадлежащее содержание колодцев и незащищённость подземных водоносных горизонтов от загрязнения с поверхности; вторичное загрязнение воды в сетях водоснабжения; отсутствие эффективных экономических механизмов, стимулирующих хозяйствующих субъектов к внедрению прогрессивных водосберегающих технологий производства, систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, сокращению непроизводительных потерь воды. [3]

Ладожское озеро является безальтернативным источником водоснабжения Санкт-Петербурга. Однако само озеро и его водосборный бассейн, характеризующиеся высоким уровнем хозяйственного освоения, расположены на территориях других субъектов Российской Федерации в частности СЗФО, включая Ленинградскую, Новгородскую, Псковскую, Вологодскую, Архангельскую области, Республику Карелия, а также сопредельных государств – Финляндии и Белоруссии. Крупнейшая пресноводная озёрно-речная система Европы замыкается на Невскую губу Финского залива. [6] Природно-техническую систему «Ладожское озеро – р. Нева – Невская губа Финского залива» с позиции рационального использования водных ресурсов целесообразно изучать комплексно, учитывая степень влияния всех водопользователей (рис. 1).

Рассмотрим статистическую информацию о состоянии питьевой воды и воды водоёмов, используемых для водоснабжения населения и рекреационных целей в СЗФО в 2019 г., представленную в [3].

Поверхностные и подземные источники централизованного питьевого водоснабжения соответствовали всем санитарно-эпидемиологическим требованиям в Санкт-Петербурге, 1,47 % водоисточников не отвечали требованиям законодательства в Мурманской области, неблагоприятное санитарное состояние источников отмечено в Республике Карелия (82,9 %). Ос-

новой причиной несоответствия источников централизованного питьевого водоснабжения населения санитарно-эпидемиологическим требованиям является отсутствие зон санитарной охраны. [3]

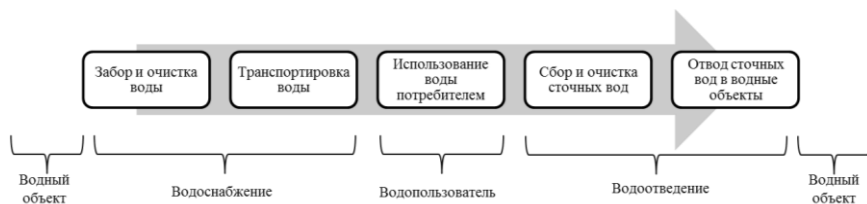


Рис. 1. Схема использования водных ресурсов

Водопроводы не соответствовали требованиям санитарного законодательства в Мурманской области (58,0 %), Ненецком АО (57,1 %) и Республике Карелия (56,6 %). Низкий уровень качества питьевой воды водопроводов по санитарно-химическим показателям отмечен на территории Ненецкого АО (47,7 %). Санитарно-эпидемиологическим требованиям по микробиологическим показателям соответствовали все пробы воды водопроводов, эксплуатируемых на территории Санкт-Петербурга. [3]

Доля проб питьевой воды в распределительной сети централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарным требованиям по санитарно-химическим показателям, наиболее низкая на территории Санкт-Петербурга (1,89 %), наиболее высокая – на территории республики Карелия (43,12 %). [3] Превышение гигиенических нормативов по содержанию химических веществ в пробах воды систем централизованного питьевого водоснабжения СЗФО в 2019 г. по приоритетным субъектам Российской Федерации см. в табл. 2.

В пробах питьевой воды нецентрализованного водоснабжения превышения гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям отсутствовали на территории Санкт-Петербурга, наибольшие - на территории Республики Коми (67,24 %). С качеством питьевой воды нецентрализованного водоснабжения по микробиологическим показателям наиболее благополучная ситуация сложилась в Санкт-Петербурге. [3]

В пробах воды из водоёмов I категории, используемых в качестве источников питьевого и хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности, превышения гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям, отсутствовали на территории Псковской области, наибольшие – на территориях Ненецкого АО (80,9 %) и Новгородской области (77,86 %). Доля проб воды из водоёмов I категории, несоответствующих требованиям по микробиологическим показателям, наиболее высокая в Санкт-Петербурге (95,92 %) [3].

В пробах воды из водоёмов II категории, используемых для рекреационных целей, превышений гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям в Мурманской области не зафиксировано, более

50 % проб воды не соответствовали требованиям в Санкт-Петербурге (78,71 %) и Ненецком АО (59,52 %). Наиболее высокий уровень по микробиологическим показателям зафиксирован в Санкт-Петербурге (79,38 %) и Ненецком АО (47,27 %) [3].

Таблица 2

Превышение гигиенических нормативов по содержанию химических веществ в системах централизованного питьевого водоснабжения СЗФО по приоритетным субъектам [3]

Загрязняющие вещества	Субъект РФ	Ранг	Доля проб с превышением ПДК, %		
			от 1,1 до 2,0 раз	от 2,1 до 5,0 раз	более 5,0 раз
Все вещества	РФ		2,77	1,25	0,25
	Псковская обл.	2	12,37	7,99	2,96
Железо (по Fe)	РФ		7,14	4,39	1,94
	Ненецкий АО	1	43,33	25,56	13,33
	Новгородская обл.	2	25,96	20,61	8,89
Марганец	РФ		5,85	2,97	0,61
	Ненецкий АО	1	25,58	37,21	0,00
Хлороформ	РФ		4,97	4,26	0,11
	Псковская обл.	1	16,67	66,67	16,67
	Республика Карелия	3	24,02	19,69	1,97

В пробах воды из морей требования гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям превышены в Санкт-Петербурге (100 %) и в Ленинградской области (25,84 %); по микробиологическим показателям превышены в Санкт-Петербурге (68,9 %), соответствуют в Калининградской области; по паразитологическим показателям Санкт-Петербург (3,95 % проб воды из морей) относится к наименее благополучным территориям [3].

На безопасность и качество питьевой воды оказывают влияние соответствие исходного состояния источников централизованного водоснабжения населения санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим, микробиологическим и паразитологическим показателям, используемые технологии очистки и водоподготовки, обеззараживания, доведения воды до заданных параметров качества, состояние водопроводных и распределительных сетей [3].

Математическая модель представляет собой формализованное знание о закономерностях и особенностях развития природно-технических систем и отдельных процессов в математических выражениях. Учитывая схему использования водных ресурсов, компоновку параметров, контролирующих их состояние, целесообразно провести для входящих в состав системы «водопотребления» подсистем: «водные объекты», «водоснабжение», «водопользователи» и «водоотведение» (рис. 2).



Рис. 2. Диаграмма параметров, контролирующих использование водных ресурсов

Комплекс, размещённых в открытых источниках, показателей, с помощью которых контролируются водные ресурсы включает.

Подсистема I «водный объект»:

– изъятие природного ресурса:

1) забор воды из природных водных объектов (расчёт на основе данных формы № 2-тп (водхоз));

– возврат ресурса в природу:

2) объём сброса сточных вод (расчёт на основе данных формы № 2-тп (водхоз));

– загрязнение природных объектов:

3) число случаев аварийного загрязнения водных объектов (Росгидромет, расчёт);

4) число случаев высокого загрязнения водных объектов (Росгидромет, расчёт);

5) число случаев экстремально высокого загрязнения водных объектов (Росгидромет, расчёт);

– охранные мероприятия:

6) протяжённость очищенной прибрежной полосы водных объектов (Минприроды РФ, расчёт);

7) выполнение водоохраных работ в натуральном выражении по перечню видов работ (расчёт);

8) выполнение водохозяйственных и водоохраных работ в натуральном выражении с 2012 г. (расчёт);

9) затраты на проведение водохозяйственных и водоохраных работ в отчётном году с 2012 г. (расчёт);

10) общие затраты на выполнение водоохраных работ (расчёт).

Подсистема II «водоснабжение»:

– технические характеристики системы водоснабжения:

11) установленная производственная мощность очистных сооружений (форма № 1-водопровод);

12) протяжённость водопроводных сетей (форма № 1-водопровод);

13) протяжённость водопроводных сетей в сельской местности, в том числе нуждающихся в замене (форма № 1-водопровод);

- 14) установленная производственная мощность водопровода (форма № 1-водопровод);
– эффективность системы водоснабжения:
- 15) число населённых пунктов, имеющих водопровод (форма № 1-водопровод);
- 16) число населённых пунктов, имеющих водопровод, в процентах от их общего числа (расчёт);
- 17) пропущено воды через очистные сооружения (форма № 1-водопровод);
- 18) подано воды в сеть (форма № 1-водопровод);
- 19) отпущено воды всем потребителям (форма № 1-водопровод);
- 20) утечка и неучтённый расход воды (форма № 1-водопровод);
- 21) потери воды при транспортировке (расчёт на основе данных формы № 2-тп (водхоз));
- 22) число аварий в системе водопровода (форма № 1-водопровод);
– совершенствование системы водоснабжения:
- 23) доля уличной водопроводной сети, нуждающейся в замене, в общей протяжённости уличной водопроводной сети (расчёт);
- 24) экономия от работ по модернизации в организациях коммунального комплекса, отпускающих воду населению и бюджетофинансируемым организациям (форма № 1-водопровод);
– энергоэффективность системы водоснабжения:
- 25) расход электроэнергии на весь объём произведённых ресурсов в организациях коммунального комплекса, отпускающих воду населению и бюджетофинансируемым организациям (форма № 1-водопровод);
- 26) затраты на мероприятия по энергосбережению в организациях коммунального комплекса, отпускающих воду населению и бюджетофинансируемым организациям (форма № 1-водопровод);
- 27) экономия от проведённых мероприятий по энергосбережению в организациях коммунального комплекса, отпускающих воду населению и бюджетофинансируемым организациям (форма № 1-водопровод).
- Подсистема III «водопользователь»:
- потребность в природном ресурсе:
- 28) использование воды (расчёт на основе данных формы № 2-тп (водхоз));
- 29) объём оборотного и повторно-последовательного водоснабжения (расчёт на основе данных формы № 2-тп (водхоз));
- 30) доля населения, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения (Роспотребнадзор);
- Подсистема IV «водоотведение»:
- технические характеристики системы водоотведения:
- 31) протяжённость канализационных сетей (форма № 1-канализация);
- 32) число канализаций и отдельных канализационных сетей (форма № 1-канализация);
- 33) число отдельных канализационных сетей (форма № 1-канализация);

34) установленная мощность канализационных насосных станций (форма № 1-канализация);

35) установленная пропускная способность очистных сооружений (форма № 1-канализация);

36) мощность сооружений по обработке осадка (форма № 1-канализация);

– эффективность системы водоотведения:

37) число населённых пунктов, имеющих канализацию (форма № 1-канализация);

38) число населённых пунктов, имеющих канализацию, в процентах от их общего числа (расчёт);

39) пропущено сточных вод (форма № 1-канализация);

40) пропущено сточных вод через очистные сооружения (форма № 1-канализация);

41) доля сточных вод, очищенных до нормативных значений, в общем объёме сточных вод, пропущенных через очистные сооружения (расчёт);

42) доля нормативно очищенных сточных вод в общем объёме сточных вод (расчёт на основе данных формы № 2-тп (водхоз));

43) число аварий в системе канализации (форма № 1-канализация);

44) число аварий на канализационных сетях (форма № 1-канализация);

– совершенствование системы водоотведения:

45) доля уличной канализационной сети, нуждающейся в замене, в общей протяжённости уличной канализационной сети (расчёт);

46) экономия от работ по модернизации в организациях коммунального комплекса, осуществляющих централизованный отвод сточных вод от населения и бюджетофинансируемых организаций (форма № 1-канализация);

– энергоэффективность системы водоотведения:

47) расход электроэнергии на весь объём произведённых ресурсов в организациях коммунального комплекса, осуществляющих централизованный отвод сточных вод от населения и бюджетофинансируемых организаций (форма № 1-канализация);

48) затраты на мероприятия по энергосбережению в организациях коммунального комплекса, осуществляющих централизованный отвод сточных вод от населения и бюджетофинансируемых организаций (форма № 1-канализация);

49) экономия от проведённых мероприятий по энергосбережению в организациях коммунального комплекса, осуществляющих централизованный отвод сточных вод от населения и бюджетофинансируемых организаций (форма № 1-канализация).

Выводы. Достигнутый уровень глубины исследования показывает, что для субъектов Российской Федерации, на примере Санкт-Петербурга, функционирование системы «водопотребления» контролируется на осно-

вании 49 индикаторов, с помощью которых зафиксировано: 1) на прибрежных территориях и акваториях СЗФО сохраняются повышенные уровни антропогенного загрязнения, обусловленные поступлением поллютантов в природную среду при обращении с отходами производства и потребления, от объектов промышленности, сельского хозяйства, энергетики, строительства, ЖКХ, транспорта и пр.; 2) ограниченные ресурсы субъектов хозяйствования в регионах сдерживают перевод объектов на работу по НДТ, включая внедрение современных пыле-, газо- и водоочистных сооружений, установок, оборудования; 3) эффективный экономический механизм, стимулирующий региональные субъекты хозяйствования сокращать поступление токсикантов в окружающую среду, отсутствует.

Библиографический список

1. Дьячкова О.Н. Влияние загрязнения почвы на экологическую опасность городской среды Санкт-Петербурга // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 1. С. 67-71.

2. Дьячкова О.Н. Влияние состояния природных компонентов городской среды на здоровье населения // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования [Электронный ресурс]: сборник докладов Первой Национальной конференции – М.: МИСИ-МГСУ. 2020. С. 449-554. - Режим доступа: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>.

3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад - М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2020. 299 с.

4. Павлинова И.И. Основы нормативно-правового обеспечения в сфере водоснабжения и водоотведения // Яковлевские чтения [Электронный ресурс]: сборник докладов XV МНТК - М.: МИСИ-МГСУ. 2020. С. 94-98. - Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskayadeyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>.

5. Пупырев Е.И. Сбор и очистка хозяйственно-бытовых сточных вод: критический обзор достигнутых результатов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 11. С. 1365-1407.

6. Румянцев В.А. Ладожское озеро: экологические проблемы, причины, пути решения // Региональная экология. 2012. № 1-2 (33). С. 7-13.

7. Синянский И.А., Шипков О.И., Орлов Е.В., Цой В.Е. К вопросу о необходимости строительства городов и населённых пунктов в зонах высокой водообеспеченности // Яковлевские чтения [Электронный ресурс]: сборник докладов XV МНТК - М.: МИСИ-МГСУ. 2020. С. 140-142. Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskayadeyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>.

8. Теличенко В.И., Курочкина А.А. Методология оценки техногенного загрязнения водных объектов урбанизированных территорий // Вестник МГСУ. 2016. № 6. С. 80-89.

9. Фисенко В.Н. Инвестиционная доходность и риск проектов в сфере водоснабжения и водоотведения // Сборник докладов МНТК, посвященной 90-летию со дня образования факультета водоснабжения и водоотведения МИСИ-МГСУ [Электронный ресурс]: сборник докладов – М.: МИСИ-МГСУ. 2019. С. 145-151. – Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/>.

ГЛОБАЛЬНАЯ ВЫСШАЯ ШКОЛА В ОБЛАСТИ САНИТАРИИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ООН 6.2 И 6.3

Н.Б. Еремина, начальник международного научного отдела, Томский государственный архитектурно-строительный университет; **Н.В. Кахаева**, эксперт международного научного отдела, Томский государственный архитектурно-строительный университет; **А.Н. Эпов**, главный технический специалист TWW Treatment Waste Water ООО «Домконстрой»

Сегодня около 60 миллионов людей ежегодно мигрируют в города, что стало одной из ключевых причин мирового кризиса в сфере санитарии. Такой рост городского населения значительно превышает возможности существующих санитарных систем в обеспечении надлежащего обращения с жидкими бытовыми отходами (ЖБО), из которых лишь 37% проходят нужный уровень обработки [1].

Понятие инклюзивной общегородской санитарии подразумевает обеспечение доступа к необходимым санитарным услугам для каждого жителя городских и пригородных территорий на основе применения подходов централизованного канализования и децентрализованных систем обращения с ЖБО. Такая концепция включает в себя не только безопасную переработку отходов человеческой жизнедеятельности, но и восстановление ресурсов, а также их вторичное использование.

Цели устойчивого развития ООН, принятые в 2015 г., направили внимание профессионального сообщества на важность локальной переработки ЖБО без использования центральных систем канализации и неравенство в доступе к услугам по обеспечению санитарии [2]. В мире 55 % населения (4,2 млрд чел.) не имеют доступа к услугам безопасного обращения с ЖБО. Большая часть – население развивающихся стран, где подходы, основанные на использовании центральной канализации, не осуществимы, не практичны или слишком дорогие в реализации [3].

В России 39% населения не имеют доступа к услугам водоотведения [4]. Поэтому вопрос адекватного обращения с ЖБО является не таким болезненным, как в странах с высокой плотностью населения, но не менее актуальным. Авторы спецпроекта «#поуши» [5] иллюстративно и доступно раскрыли разные аспекты обращения с ЖБО в России сегодня.

Проектирование решений по обращению с жидкими бытовыми отходами в развивающихся странах на основе адаптации подходов, применимых в центральных канализациях, привели к множеству неудачных кейсов. Предположения о том, что характеристики санитарных потоков ЖБО схожи с теми, что образуются в центральных сетях или городских сточных водах, оказались неверны [2]. Это дало импульс для развития специализированных лабораторий для исследований в области переработки урины, фекалий (фекального шлама). А в 2021 г. в свет вышла новая монография «Методы анализа жидких бытовых отходов», подготовленная международным профессиональным сообществом в составе 55 специалистов совместно с издательством IWA Publishing.

В 2011 году Фонд Билла и Мелинды Гейтс объявил вызов «Reinvent the Toilet» для научных групп по всему миру с целью разработки решений по обеспечению безопасных и доступных услуг санитарии в развивающихся странах и странах третьего мира [6]. Вызов включал четыре ключевых условия при создании инноваций: отсутствие доступа к воде, центральной канализации, и электричеству, и стоимость для пользователя не более 5 центов в день.

За последние десять лет междисциплинарные научно-исследовательские группы в разных точках мира разработали инновации в области децентрализованных систем для устойчивого обращения с ЖБО. Ниже приведены примеры ряда технологий, разработанных международной группой из Института Делфта по образованию в области водных ресурсов (IHE Delft, Нидерланды) совместно с партнерами. Примеры технологических инноваций демонстрируют актуальный сегодня подход и мышление при проектировании решений в области санитарии.

Инновация Shit Killer[®] разработана совместно IHE Delft и словенской инженерной компанией Tehnobiuro d.o.o. Технология основана на концепции стерилизации и обезвоживания экскрементов, для этого в специально разработанную установку встроены микроволновые генераторы [7]. Shit Killer[®] перерабатывает продукты человеческой жизнедеятельности в чистую воду и высушенное удобрение. Установка успешно протестирована в Нидерландах и Кении.

Система eSOS[®] (emergency Sanitation Operation System) [8] представляет собой санитарную систему для быстрого реагирования в случае чрезвычайных ситуаций. Система eSOS включает в себя такие элементы, как “умные” туалеты, система контроля сбора отходов и движения ассенизаторов, децентрализованная станция по переработке экскрементов, координационный центр по обеспечению санитарии в условиях ЧС, а также интегрированная система коммуникаций и управления eSOS (рис. 1).

В системе eSOS непосредственно «умный» туалет имеет легкую и устойчивую конструкцию, оснащен функцией дистанционного мониторинга, источником питания, датчиками наполнения контейнеров, а также системой коммуникации для быстрого мониторинга. Сбор и анализ данных выполняется в специализированном программном обеспечении eSOS Monitor (рис. 2). Тестирование прототипа выполнено в 2014 г. в Кении в условиях трущоб, была установлена пригодность переработанных отходов для использования в виде компоста [9].

MEDiLOO[®] – революционная интегрированная система для ранней диагностики и предотвращения распространения болезней, мониторинга состояния здоровья жителей и выявления очагов эпидемий [10]. Прототип туалета представлен на рис. 3. Технология объединяет три компонента: система неинвазивного контроля здоровья, программное обеспечение для передачи и обработки данных и инновационный туалет. Для мониторинга широкого спектра инфекционных заболеваний применяются такие технологии, как «лаборатория на чипе», различные датчики, оптические и гипер-

спектральные камеры, а также анализ мочи. Анализ данных происходит немедленно во время использования туалета. При выявлении инфекционного заболевания туалет автоматически блокируется для остальных посетителей и сообщает о необходимости соответствующей обработки. Данные об анализе могут получить зарегистрированные пользователи.

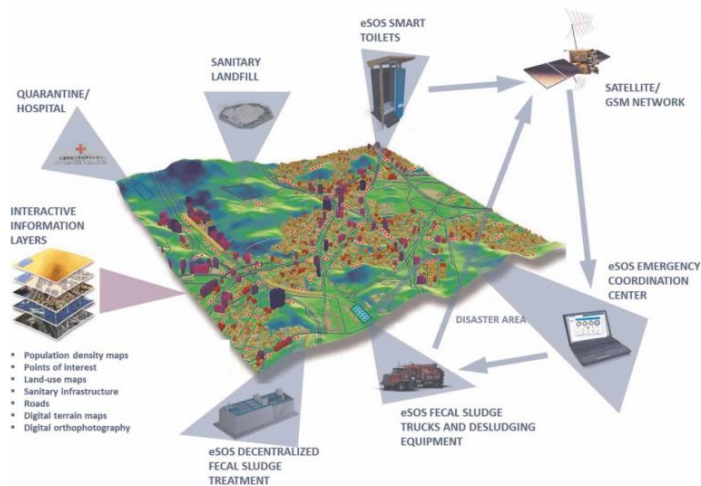


Рис. 1. Компоненты системы eSOS [8]:

(слева направо по кругу) зона карантина/больница, санитарная свалка, «умные» туалеты eSOS, спутник/сеть GSM, координационный центр по ЧС eSOS, район катастрофы, ассенизаторы eSOS и оборудование для откачки ЖБО, децентрализованная станция переработки ЖБО eSOS, интерактивные информационные слои (карты плотности населения, территории и объекты особого внимания, землеустроительный план, санитарная инфраструктура (централизованная и децентрализованная), дороги, цифровая карта местности, цифровой ортофотоплан)



Рис. 2. eSOS Smart Toilet®:

а – конструкция «умного» туалета; б – интерфейс ПО eSOS Monitor



Рис. 3. Прототип инновационного туалета MEDiLOO®

Концепция DEMOS® (Digital Epidemic Observatory and Management System) – цифровая система наблюдения и контроля эпидемий, разработанная в 2020 г. В период распространения коронавирусной инфекции было установлено, что РНК вируса можно выявить в отходах человека, и система DEMOS направлена на обнаружение таких очагов в централизованных и локальных санитарных системах на основе сбора и анализа большого количества данных [11]. Технология является комплексной и включает в себя (полу-)автоматическое оборудование для отбора проб из канализационных сетей, открытых дренажных систем, станций откачки фекального шлама, станций очистки сточных вод и шлама; инновационный туалет MEDiLOO®, набор клинических и эпидемиологических данных; социо-экономические данные о наблюдаемой группе населения, социальные сети и др. (рис.4). Основной целью системы DEMOS является комбинация и анализ различных типов данных и построение на их основе моделей для скоординированных действий по урегулированию эпидемий.

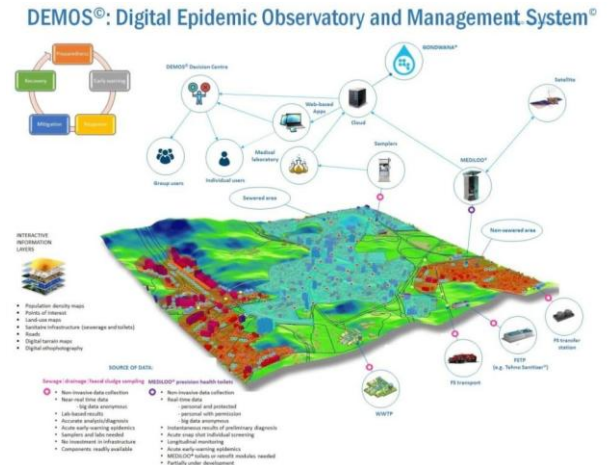


Рис. 4. Концепция DEMOS® [11]

Сегодня в мире разрабатываются новые технологии, соответствующие ISO 30500 и ISO 31800, в частности новые технологии откачки отходов из выгребных ям и децентрализованные решения обращения с ЖБО для восстановления ресурсов [2]. Несмотря на технологические инновации и распространение знаний в области децентрализованных систем, ключевой остается потребность в человеческом капитале. Без критической массы междисциплинарных специалистов, подготовленных к международному контексту и глобальной повестке, достижение Целей устойчивого развития ООН в области сохранения и рационального использования водных ресурсов и обеспечения санитарии для всех к 2030 г. не представляется возможным.

Отвечая на вызовы по подготовке специалистов по всему миру, по инициативе IHE Delft в лице профессора Дамира Брджановича в 2018 г. была создана Глобальная высшая школа в области санитарии (Global Sanitation Graduate School (GSGS) (далее – Глобальная школа) [12]. Глобальная школа – это платформа для содействия развитию и расширению возможностей по распространению знаний о санитарии с помощью новых образовательных программ второй и третьей ступеней обучения: магистратура, онлайн-курсы (под руководством инструкторов и для самостоятельного обучения), программы повышения квалификации и профессиональной переподготовки.

Содержание образовательных программ и курсов разработаны Институтом Делфта по образованию в области водных ресурсов с привлечением ведущих организаций и экспертов со всего мира при поддержке Фонда Билла и Мелинды Гейтс. Реализуются программы на базе 50 университетов из 20 стран. Фактическое зачисление на курсы и программы осуществляется в университеты из сети Глобальной школы.

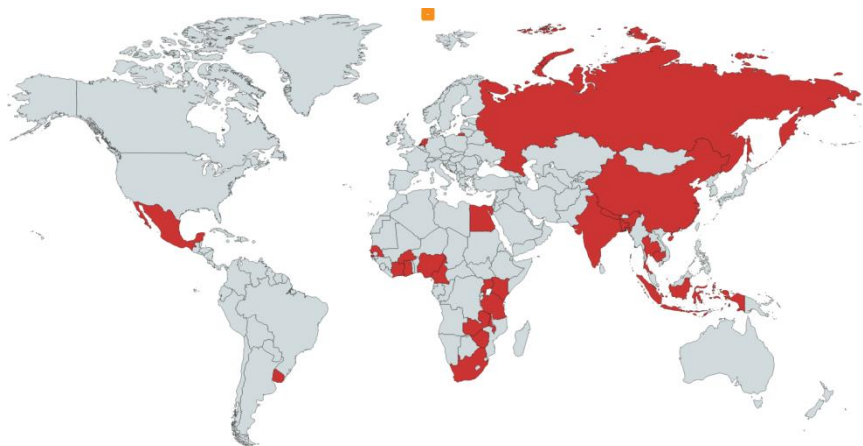


Рис. 5. География университетов-участников Глобальной школы

Образовательные программы разработаны для достижения Целей устойчивого развития ООН 6.2 и 6.3. Программы являются уникальными в своей предметной области, рассматривают децентрализованные подходы обращения с ЖБО в городском контексте на примере развивающихся стран. Программы формируют междисциплинарные компетенции, такие как управление проектами в области санитарии, составление международных и национальных схем финансирования, государственное управление, изменение поведения пользователей, лидерство и командная работа.

Содержание программ доступно университетам на безвозмездной основе, трансфер и адаптацию под локальный контекст вузы осуществляют самостоятельно при консультационной поддержке основной команды разработчиков. Университеты в ключевых регионах Юго-Восточной Азии и Африки также получают гранты на период трансфера программ. Университеты из 12 стран, включая Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ) из России, присоединились к Глобальной школе по собственной инициативе в качестве партнеров по расширению глобальной сети.

В системе основных образовательных программ высшего образования в России программы Глобальной школы расширяют существующее образовательное предложение по водоотведению знаниями в сфере локальных санитарных систем и обращения с ЖБО «на местах» в контексте урбанизации и развития инклюзивной общегородской санитарии.

Набор международных образовательных программ, выбранных для трансфера в Россию, приведен в табл. 1. Ключевой является магистерская программа «Городская санитария» [13]. Реализуются программы в очной форме с применением дистанционных методов обучения, основным языком является английский.

Таблица 1

Международные образовательные программы Глобальной школы в России

Уровень	Название программы на русском и английском языках	Объем (час), год запуска в России
Магистратура	Магистерская программа «Городская санитария» / «Citywide Inclusive Sanitation»	1932 ч 2021 г.
Профессиональная переподготовка	Профессиональная переподготовка «Технологии водоподготовки и очистки сточных вод» / «Water and Wastewater Treatment Technology»	560 ч 2022 г.
Повышение квалификации	Онлайн-курс «Переработка жидких бытовых отходов» / «Faecal Sludge Management»	140 ч 2018 г.

Образовательные программы Глобальной школы в России реализуются по сетевым моделям с привлечением преподавателей и практикующих специалистов из организаций в различных городах.

Глобальная школа также формирует благоприятную среду для развития международного профессионального сообщества и повышает заметность доступных специалистов по всему миру. Профиль каждого выпускника образовательного курса или программы, освоенных на базе университета из сети членов Глобальной школы, становится доступен в международной базе специалистов на сайте sanitationeducation.org.

Амбиция создателей Глобальной школы – совместными усилиями достигнуть 10 000 выпускников по всему миру к 2030 г. На сегодня 981 человек (не менее 50% женщины) уже обучаются по программ Глобальной школы. В России набор на международную магистерскую программу открыт с 2021 г. на базе ТГАСУ.

Глобальная высшая школа в области санитарии является примером инновации образовательных моделей на основе сетевых принципов. Разработка содержания уникальных образовательных программ является столь же важной, что и разработка способов их реализации. Цифровые технологии и глобальная интеграция среди профессионального сообщества открывают возможности обучать и переобучать специалистов по всему миру по программам, разработанным ведущими учеными и профессионалами, и адаптированным местными университетами к локальным условиям в рамках единых целей по решению глобального кризиса санитарии.

Библиографический список

1. Сайт инициативы «Инклюзивная общегородская санитария» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://citywideinclusivesanitation.com/>, свободный.
2. Methods for Faecal Sludge Analysis / Konstantina Velkushanova, Linda Strande, Mariska Ronteltap, Thammarat Koottatet, Damir Brdjanovic. – IWA Publishing, 2021. – 395 p.
3. Сайт Целей устойчивого развития ООН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/water-and-sanitation/>, свободный.
4. Проект стратегии развития ЖКХ РФ на период до 2035 года. Российская ассоциация водоснабжения и водоотведения (РАВВ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://raww.ru/assets/modckeditor/moddocument/1154/strategiya-zhkh-2035-v-chasti-viv.pdf>, свободный.
5. Сайт спецпроекта #поуши. Новая газета. Артемьева А., Хачатуров А., Жалин Ю., 2020 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sortiry.novayagazeta.ru/36/>, свободный.
6. Сайт Фонда Билла и Мелинды Гейтс. Пресс-релиз об объявлении вызова “Reinvent the Toilet” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gatesfoundation.org/Media-Center/Press-Releases/2011/07/Gates-Foundation-Launches-Effort-to-Reinvent-the-Toilet>, свободный.

7. Sanitation Innovations / Damir Brdjanovic. – IHE Delft, 2018. – 90 p.
8. eSOS® – emergency Sanitation Operation System / Brdjanovic D., Zakaria F., Mawioo P. M., Garcia H. A., Hooijmans C. M., Thye Y. P. and Setiadi T. – Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, January 2015, IWA Publishing.
9. Сайт проектов организации VIA WATER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aquaforall.org/viawater/projects/esos-smart-toilet-kenya.html>, свободный.
10. Сайт с описанием технологической разработки MEDiLOO® [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mediloo.org/>, свободный.
11. Сайт Научно-исследовательского института воды (Гронинген, Нидерланды), публикация от 14 мая 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kwrwater.nl/actueel/demos-digital-epidemic-observatory-and-management-system/>, свободный.
12. Сайт Глобальной высшей школы в области санитарии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sanitationeducation.org/>.
13. Сайт Томского государственного архитектурно-строительного университета. Магистерская программа «Городская санитария» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tsuab.ru/educational-programs/citywide-sanitation>, свободный.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЗДУХА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И САНАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

А.А. Ерхов, к.т.н., МГРИ; Е.А. Королёва, к.т.н., НИУ МГСУ

Возникновение проблемной ситуации, единый путь её решения

Сточные воды образуются при использовании природной водопроводной воды водопотребителями коммунальной сферы и обеспечении технологических процессов промышленных производств, – к сточным также относят атмосферные осадки – дождевые и талые воды, и подземные воды шахт; при этом её сток канализуется и идёт по герметичным трубам, что обеспечивает комфортные условия труда и отдыха в соответствии с санитарными нормами. Действительно, в канализации свободно развиваются вирусы, бактерии, грибы, что представляет определённый риск при их выходе с водой или воздухом из герметичных пространств систем отведения, – эксцесс становится очевидным по запаху (рис. 1). Неприятный запах канализации не является безопасным – с ним попутно от источника передаются болезнетворных микроорганизмы, и вдыхаемый воздух несёт опасность заражения/отравления, уровень которой определяется временем, концентрацией и составом вдыхаемого газа, – симптомы миазматических проявлений – головные боли, тошнота и головокружение, наблюдается повышение температуры и расстройство функций ЖКТ.

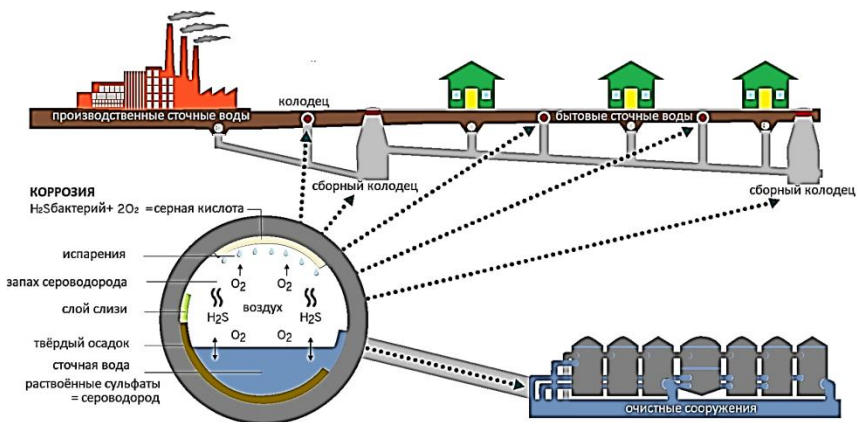


Рис. 1. Возникновение и места выхода запахов

Но, кроме состояния сетей, сами здания могут превратиться в носителя агента инфицирования – стать питательной средой жизнедеятельности микробов; факторы их благополучия, хотя и требующие особых, дополнительных, более важных условий – температурных, кислотно-основных, питательных и прочих – представлены ниже:

- трещины и микротрещины в стенах зданий, когда применены некачественные материалы;
- капиллярное поднятие по стенам от увлажнённых фундаментов, что бывает в старых зданиях без гидроизоляции конструкций;
- повышенные потери тепла в углах и торцах зданий большой площади наружных стен;
- подветренная сторона здания – тогда разница температур внутри/снаружи даст конденсат внутри стен и промерзание;
- затопление помещений с крыш и в результате аварий внутренних инженерных систем;
- наружный или внутренний текущий водосток, при этом, как правило, проблема видна лишь снаружи по потёкам по фасаду стен;
- конденсат на трубах;
- повышенная влажность в помещении и низкая кратность воздухообмена, обусловленные плохой системой вентиляции;
- засорение фильтров кондиционеров и очистителей воздуха.

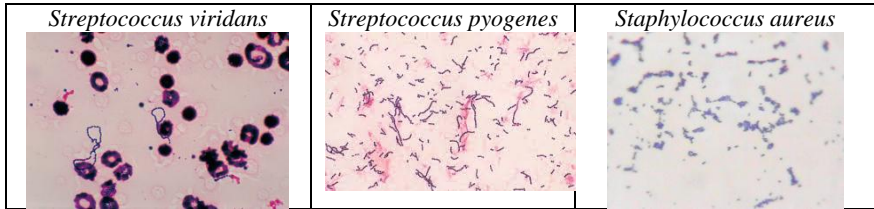
В закрытых не обрабатываемых помещениях обсеменённость всегда выше, чем на открытых пространствах, но и воздух мегаполисов насыщен ими больше, в сравнении с сельской местностью; над горами, лесами и морями их число минимально, и очищению способствуют осадки – вдали от городов состав воздуха больше зависит от микрофлоры почв и воды. В помещении доминируют микробы носоглотки, и источник загрязнения патогенами – больные и бактерионосители, – уровень микробной опасности определяется плотностью заселения, жилой активностью, естественным освещением ультрафиолетом, санитарным состоянием – регулярные проветривания с влажной уборкой снижают обсеменённость в 30 раз! А патогены представляют непосредственную эпидемиологическую опасность, это распространённые: бактерии вида *Streptococcus pyogenes* и *Staphylococcus*, споры грибов родов *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, – санитарным показателем является непатогенный *Streptococcus viridans* (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Санитарная оценка воздуха по предельным бактериологическим показателям

Воздух	Количество МО в 1,0 м ³ воздуха	
	Общее	Зеленящего и гемолитического стрептококка
Чистый Загрязненный	Летний режим	
	1500 2500	16 36
Чистый Загрязненный	Зимний режим	
	4500 7000	36 124

**Санитарно-индикативные бактерии воздуха закрытых помещений
(окраска по Граму)**



Принципиальным вопросом является взятие проб на анализ в учреждениях медицинского и пищевого (как производственного, так и бытового) профиля, а также в местах массового скопления, – здесь исследования проводятся в целях обеспечения:

- производственной безопасности;
- комфорта, общего самочувствия и настроения;
- качества систем вентиляции и кондиционирования.

Проводят в любое время в рамках планового или оперативного производственного контроля.

Микрофлору воздушной среды условно делят на переменную и постоянную, – к первой относят дрожжи, пигментообразующие кокки, спороносные бациллы, палочки и прочие микроорганизмы, устойчивые к высыханию и воздействию света; представители переменной, попадая в воздух из привычной среды обитания, быстро теряют жизнеспособность: воздух – транзитная, неблагоприятная среда для микроорганизмов из-за отсутствия субстрата и наличия ультрафиолета, его санитарную оценку проводят по двум показателям: микробному числу и количеству санитарно-показательных бактерий – как выше сказано, гемолитических стрептококков и стафилококков.

Состав микробов воздуха изменчив: больше пыли, дыма, сажи – больше организмов: любая частица адсорбирует многочисленных их представителей, количество варьируется от нескольких экземпляров до десятков тысяч на 1 м³. Изменяется их состав и по временам года – в видовом и количественном отношении (табл. 1, рис. 2); количество в помещении определяется санитарно-гигиеническими условиями – вентиляцией, освещением, общесанитарными мероприятиями.

Отбор микробиоценоза на исследование в зданиях и сооружениях

Санитарно-микробиологическое исследование воздуха:

1) отбор импактором обсеменённых частиц аэрозолей и пыли с засевом поверхности чашек Петри или стрипов с питательной средой;

- 2) обработка, транспортировка, хранение, получение, по необходимости, концентрата;
- 3) бактериологический посев, инкубирование и культивирование;

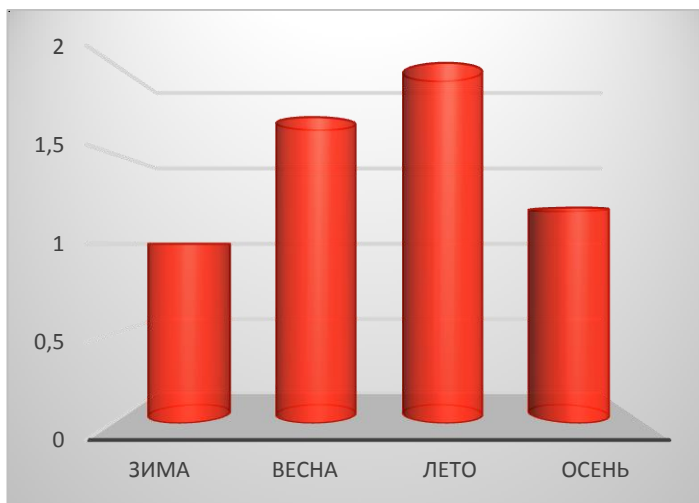


Рис. 2. Относительное изменение числа микробов по сезонам

4) подсчёт колониеобразующих единиц (КОЕ) и при необходимости установление видовой принадлежности изолятов – идентификацию выделенной культуры, начинают с наиболее ответственного этапа – правильного взятия материала: в пространстве закрытых помещений точки отбора намечают для каждых 20 м² по схеме: четыре по углам на расстоянии 0,5 м от стен, пятая – в центре, на высоте 1,6-1,8 м – уровне ротового и носовых отверстий; отбор дневной, после влажной уборки и проветривания (в жилой и зелёной зонах высота отбора 0,5-2 м – на штативах). Универсального прибора для отбора с посевом не существует, из существующих нет совершенного: аппарат Кротова, его модификация – пробоотборное устройство ПУ-1Б (рис. 3) для лабораторий СЭС, бактериоуловитель Речменского (рис. 4), прибор отбора ПОВ-1, пробоотборник аэрозольный бактериологический ПАБ-1 (переносной большой производительности на 150-250 л/мин, применяемый для больших объёмов, например, в палатах для распознавания внутрибольничных инфекций – *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* и др., сальмонелл и эшерихий при орошении посевов сточными водами), бактериально-вирусный электропреципитатор БВЭП-1, приборы Киктенко, Андерсена, Дьяконова, МБ, мембранные фильтры № 4 и аппарат Зейтца, – при этом на авизованной поверхности чашек Петри или стрипов внутри приборов важно осаждать частицы размером 0,4-4 мкм. При использовании указанных приборов результаты приблизительны, но точнее седиментационных.



Рис. 3. Пробоотборное устройство ПУ-1Б

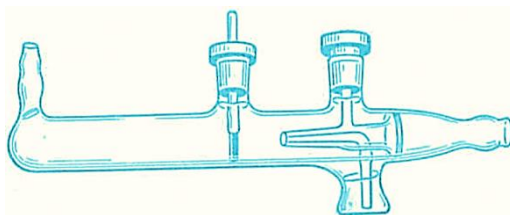


Рис. 4. Бактериоуловитель Речменского

Приборы микробиологического мониторинга год от года совершенствуются – становятся универсальнее, компактнее, проще в работе и обслуживании. Пример: универсальный автономный импактор Airwel от АВЕ с расходом до 200 л/мин, возможностью отбора до 1000 л, с микропроцессором, сенсорным экраном и Bluetooth (рис. 5). Или универсальный импактор RCS High Flow Touch от Merck на гибких пластиковых стрипах, расходом 100 л/мин и объёмом образца 1-2000 л; здесь есть стандарты интерфейса RS232 и USB. То есть уместнее примером будет пример музея (рис. 6).



Рис. 5. Импактор Airwel



Рис. 6. Музейная экспозиция приборов для отбора воздуха, Villa Cella – Милан

Определение

Микробиологический анализ с полной видовой идентификацией основан на определении четырёх общих показателей, позволяющих определить конкретные виды бактерий и грибов с количественным составом спор. Основными методами являются седиментация, аспирация и фильтрация, – се-

диментация (пластинчатый метод) – простейший – основан на гравитационном оседании капель и частиц на поверхности мясопептидного агара (МПА) в открытой чашке Петри и последующем выращивании колоний в термостате при 37 °С в течение 24 ч и, при необходимости, 48 ч при комнатной температуре для образования пигмента пигментообразующими микроорганизмами; но он не используется при анализе атмосферного воздуха, поскольку последний сильно турбулентен, тем не менее, может использоваться при отсутствии более совершенных приборов или источника электропитания. При этом микробное число по методу В.Л. Омелянского соответствует числу бактерий, присутствующих в 10 л воздуха и осевших за пять минут на поверхности агара (рис. 7) площадью 100 см² –

$$X = \frac{A \cdot 100 \cdot 5 \cdot 100}{B \cdot t},$$

где X – количество микроорганизмов в 1,0 м³ воздуха; A – число выросших колоний; 100 – число для пересчета с 10 дм³ на 1,0 м³; 5 – коэффициент времени Омелянского; 100 – площадь чашки Петри Омелянского, см²; B – площадь чашки Петри, используемой в анализе, см²; t – время раскрытия чашки, 5 мин.

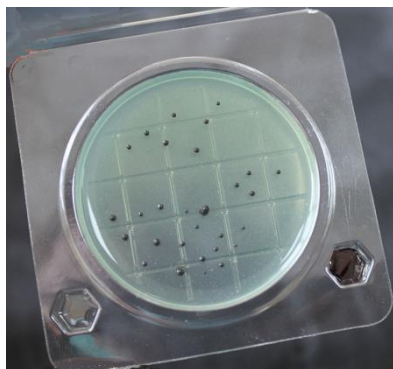


Рис. 7. Определение общего микробного числа

Прямое определение патогенов проводят по специальным показаниям.

Аспирация и фильтрация – методы ускоренной индикации с помощью мембранных фильтров, каскадных импакторов и др. Аспирационными устройствами, включёнными в государственный реестр средств измерений и прошедшими обязательную ежегодную поверку, отбирают пробы, и доставляют их в лабораторию, где в течение нескольких дней с использованием оборудования для обеспечения качественных и достоверных результатов исследуют на микробиологический состав. Аппарат Кротова разных моделей (рис. 8) пропускает 50-100 л воздуха со скоростью 25 л/мин; вращение чашки Петри (1 об/с) обеспечивает равномерное распределение

микроорганизмов по поверхности; препарат инкубируют в термостате при 37 °С в течение 18-24 ч. Подсчёт колоний ведут средствами автоматической обработки информации и вычислений – производитель позаботился о программном сопровождении своих методик:

- Colony-Counter;
- OpenCFU;
- CellCounter;
- ImageJ и др.



Рис. 8. Современный дизайн аппарата Кротова

Численность сапротрофов

Общая бактериальная обсеменённость воздуха или микробное число – это суммарное количество микроорганизмов на 1 м³ воздуха, – для их определения забирают при помощи ПУ-1Б две пробы по 100 л на чашки Петри с МПА, либо седиментационным методом, расставляя по описанной выше схеме чашки с питательной средой; затем их помещают в термостат на сутки и оставляют на 48 ч при комнатной температуре; экспозиция позволяет подсчитать отдельно количество пигментных колоний (белых, черных, жёлтых, розовых, оранжевых и др.), спорообразующих бактерий, грибов и актиномицетов (рис. 9). Подсчитывают в обеих чашках, находят среднее арифметическое и производят перерасчёт на количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха:

- бациллы образуют колонии крупные, круглые с неровными краями, сухие и морщинистые;
- грибы – с пушистым налетом (Мисог и *Aspergillus*) и плотные зеленоватые или сероватые (*Penicillium*);
- актиномицеты – беловатые, вросшие в агар.

Количество каждой группы (пигментных, беспигментных, плесеней, бацилл, актиномицетов) выражают в процентах к общему числу.

ТОНКОСТЕННЫЕ, ГРАМОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ БАКТЕРИИ		ТОЛСТОСТЕННЫЕ, ГРАМПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ БАКТЕРИИ	
Менингококки		Пневмококки	
Гонококки		Стрептококки	
Вейлонеллы		Стафилококки	
Палочки		Палочки	
Вибрионы		Бациллы*	
Кампилобактерии, Хеликобактерии		Клостридии*	
Спириллы		Коринебактерии	
Спирохеты		Микобактерии	
Риккетсии		Бифидобактерии	
Хламидии		Актиномицеты	

*Расположение спор: 1 – центральное, 2 – субтерминальное, 3 – терминальное.

Рис. 9. К определению бактерий

Стафилококки

Из-за устойчивости к различным факторам среды, это один из наиболее распространённых видов микроорганизмов воздуха. Обнаружение патогенов имеет санитарно-показательное значение и свидетельствует об эпидемическом неблагополучии. Отбор проб проводится в количестве 250 л на 2-3 чашки с молочно-желточно-солевым агаром и на чашку с кровяным агаром. Изучают культуральные признаки всех видов колоний, и из подозрительных готовят мазки и окрашивают по Граму. Помимо качественной характеристики отдельных колоний, подсчитывают количество выросших колоний в 1 м³ воздуха. *Staphylococcus aureus* при выращивании дают характерные колонии грамположительных кокков, обладающих ферментом плазмокоагулазой.

Стрептококки

Также являются санитарно-показательными микроорганизмами, попадая в воздух от больных скарлатиной, тонзиллитами, ангиной и бактерионосителями. Отбор проб на наличие α- и γ-гемолитических стрептококков производят на чашки с кровяным агаром, средами Гарро и Туржецкого; забирают 200-250 л воздуха. Идентификацию проводят по общепринятой методике.

Грибы

Наличие дрожжеподобных и плесневых грибов ведут подсчётом количества колоний, выросших на среде Сабуро за 96 ч инкубации при 22-28 °С.

Патогены

Из-за низкой концентрации выделение патогенных микроорганизмов представляет непростую задачу: при исследовании внутрибольничных инфекций определяют присутствие стафилококков, стрептококков, синегнойной палочки, сальмонелл, протеев и др., при этом отбор производят в объёме не менее 1000 л. Посев делают на соответствующие селективные среды: пробирку с материалом помещают в термостат на сутки для подрачивания культуры, и затем высевают на селективную среду. На туберкулёз отбирают 250-500 л воздуха, используя в качестве улавливающей среду Школьниковой, которую после для подавления сопутствующей микрофлоры обрабатывают 3 % раствором H_2SO_4 , и центрифугируют, осадок засевают в пробирки на яичную среду, обычно Левенштейна-Йенсена, и инкубируют при 37 °С до 3 мес., – отсутствие роста даёт отрицательный ответ; пробирки проверяют через 3 нед., и затем каждые 10 дн. Выделенную культуру идентифицируют, определяют вирулентность и при необходимости устойчивость к препаратам. Для определения коринебактерий дифтерии используют чашки со средой Клауберга.

Патогенные микроорганизмы попадают в воздух с аэрозолями выдыхаемой среды, – по крупности частиц их делят на три фазы: 1) крупнокапельная диаметром более 0,1 мм и временем взвешивания несколько секунд, то есть капли быстро выпадают; 2) капельно-ядерная диаметром 0,1 мм и менее, длительно находящаяся в воздухе и рассеиваемая вместе с микроорганизмами на большие расстояния; 3) бактериальная пыль диаметром 1,0-0,001 мм с наибольшим эпизоотологическим и эпидемиологическим значением.

Санитарно-бактериологическое исследование проводят для количественной оценки мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (МАФАНМ) в $1 м^3$ и качественного состава санитарно-показательных и патогенных микроорганизмов (табл. 3). МАФАНМ определяют посевом на МПА, а санитарно-показательных микробов – на кровяной и желточно-солевой агар, – плесневых грибов и дрожжей – среды Сабуру и Чапека.


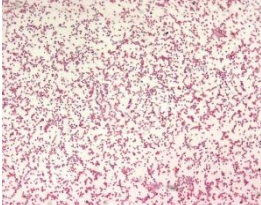

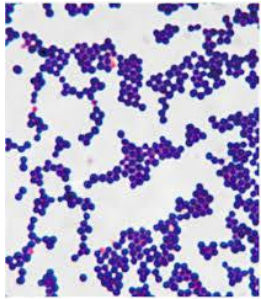
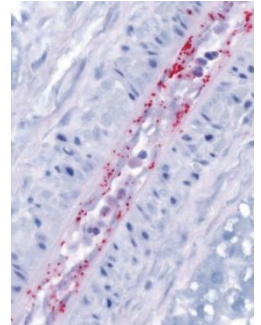
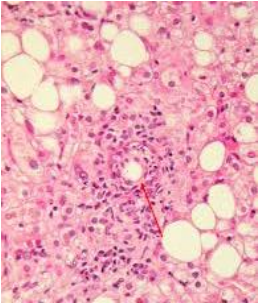

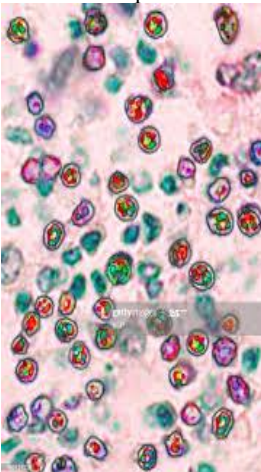

Таблица 3

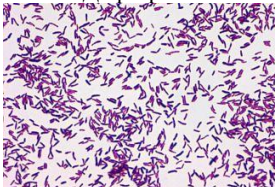
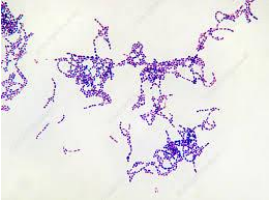
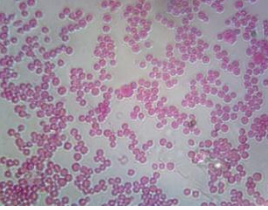

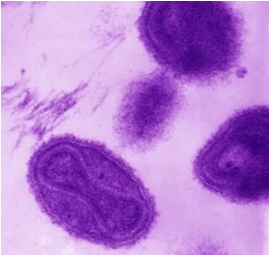
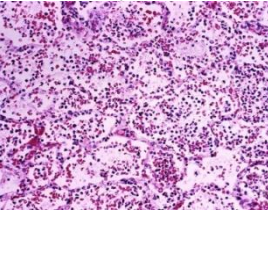
Микробиологические нормативы санитарного состояния воздуха

Метод исследования	МАФАНМ, КОЕ. не более	Плесневые грибы, КОЕ. не более
Кротова	150 колоний в 100 л	15 колоний в 100 л
Коха	200 колоний за 20 мин	20 колоний за 20 мин

В целом этиологическим фактором инфицирования являются люди, животные и членистоногие, при этом возбудители так или иначе передаются воздушно-капельным путём (табл. 4).

**Важнейшие опасные патогены и заболевания, передающиеся по воздуху
(окраска по Граму)**

1	2	3
<p><i>Mycobacterium tuberculosis</i> Туберкулёз</p> 	<p><i>Francisella tularensis</i> Туляремия</p> 	<p><i>Anthrax bacilli</i> Сибирская язва</p> 
<p><i>Pyogenic Cocci</i> Аспирационная пневмония</p> 	<p><i>Rickettsia</i> Сыпной тиф</p> 	<p><i>Coxiella burnetii</i> Ку-лихорадка</p> 
<p><i>Influenzavirus</i> Грипп</p> 	<p><i>Measles morbillivirus</i> Корь</p> 	<p><i>Bordetella pertussis</i> Коклюш</p> 

1	2	3
<p><i>Corynebacterium diphtheriae</i> Дифтерия</p> 	<p><i>Streptococcus pyogenes</i> Скарлатина</p> 	<p><i>Neisseria meningitidis</i> Менингококковая инф.</p> 
<p><i>Streptococcus</i>, как пример Тонзиллит</p> 	<p><i>Variola major, V. minor</i> Оспа</p> 	<p><i>Yersinia pestis</i> Чума</p> 

Попадание с водной взвесью *Salmonella* вызывает заболевания ЖКТ: тиф, паратиф и гастроэнтерит; доза крайне низка, например, при *Salmonella typhi* достаточно 100-1000 микроорганизмов.

При отсутствии микроорганизмов помещению присваивают статус стерильного – класса А (например, операционная, 500 колониеобразующих единиц), или Б (окружает помещение класса А, и предназначена, например, для приготовления растворов), В (меньшая опасность для производства) и Г (низкие требования).

Методы обеззараживания помещений

Снижение числа микробов основано на проведении мероприятий:

- 1) механических – пропускание воздуха через специальные фильтры;
- 2) химических – обработка озоном, двуокисью азота, распыление молочной кислоты;
- 3) физические – ультрафиолетовое облучение.

Профилактические мероприятия в зданиях

Большая часть инфекционных заболеваний передаётся воздушно-капельным путём, а микробная обсемененность в помещениях, как выше было отмечено, существенно отличается по количественному и качествен-

ному составу от воздуха атмосферы. Общественные здания (как и общественный транспорт) наиболее опасны в отсутствии систем обеззараживания и при загрязнённых системах вентиляции и кондиционирования, тогда как мероприятия по очистке и дезинфекции являются обязательными для исполнения в организациях любых форм собственности. Их предпосылкой являются результаты санитарно-эпидемиологического обследования систем ВК, проводимого раз в шесть месяцев, – по завершении очистки и дезинфекции проводят оценку гигиенического состояния; в соответствии с действующими нормативными актами присутствия патогенных микроорганизмов в системах ВК не допускается. Помимо анализа воздуха, с той же периодичностью проводят исследование материала с поверхностей вентиляционного канала и подверженных микробиологическому загрязнению систем (фильтров, шумогасителей, увлажнителей, теплообменников и рекуператоров), – смыв компонентов производится стерильным тампоном, который помещается в пробирку со стерильной водой; и в ходе исследования устанавливают наличие колоний микроорганизмов.

Особые условия микробиологического загрязнения канализаций

Сооружения городской канализации – сложные и опасные инженерные объекты, требующие, в соответствии с СП 32.13330.2018, интенсивного воздухообмена во избежание накопления токсичных и взрывоопасных веществ, а также для предупреждения газовой коррозии строительных конструкций и оборудования. В случае, когда нормы нарушены в рекреационных и жилых зонах возникают неприятные запахи – «знакомый запах канализации», если, конечно, вблизи располагаются канализационные насосные станции (КНС), вентиляционные вытяжки канализационных сетей – коллекторов, очистные сооружения с большими площадями поверхности открытых технологических сооружений (каналы поступающей воды, песколовки, первичные отстойники, илоуплотнители). То есть неприятные запахи распространяются от точечных источников. Но истинным источником запаха являются продукты микробиологического разложения загрязнений сточных вод: сероводород, меркаптаны, индол, скатол, амиды, жирные кислоты, другие с неприятным запахом летучие органические соединения. Методы их контроля, как и принципы очистки воздуха, основаны на адсорбции и окислении сероводорода, что связано с низким порогом чувствительности к нему у человека (47 ppb – 0,0000047 %), лёгкостью улавливания при анализе, а также превалированием над другими источниками (на порядок меньшими). Следовательно, снижение запахов напрямую зависит от эффективности удаления H_2S , но и удаление запаха другого газа, образующегося от разложения органических соединений – аммиака, самого по себе не опасного (IV класс), является также очевидной задачей.

Появлению неприятного запаха непосредственно в трубе канализации способствуют следующие причины:

- неправильная укладка труб, с недостаточным уклоном;

- неправильный монтаж в изгибах, которые по нормам не должны превышать 45°;
- неисправность подвальной системы, повреждение трубы;
- засор общей системы из-за сброса крупного мусора в сантехнические приборы;
- замерзание трубы внешней канализации.

Если при правильной эксплуатации часто образуются засоры, причиной их являются проломы, трещины и проседания, что устанавливается путём телеинспекции, то есть видеодиагностики.

КНС располагают в черте города, зачастую, по необходимости, вблизи жилых и общественных зданий и озеленённых пространств, и это перерастает и становится социальной проблемой, нашедшей отражение в «Программе по удалению запахов от сооружений канализации». До последнего времени проблема удаления запахов не имела технического решения, но постепенно ситуация выправляется: одна из инновационных систем – Аэролайф (рис. 10) позволяет уменьшить санитарно-защитную зону ОС; в закрытых помещениях ОС работает режим рециркуляции; на вентиляционных камерах канализационных коллекторов и горловинах колодцев начат монтаж установок воздухоочистки, предназначенных для молекулярной очистки газовой смеси от загрязнений и запахов.



Рис. 10. Системы очистки воздуха Аэролайф серии КНС применяют в вытяжной вентиляции канализационных насосных станций и очистных сооружений для очистки от аммиака, сероводорода, меркаптанов и других вредных и сильно пахнущих веществ, а также от механических и микробиологических примесей

Другие точечные источники пахнущих газов приводятся в табл. 6.

Газ сточных вод канализационных коллекторов

Источники появления и места концентрации:	
<ul style="list-style-type: none"> • системы канализации и точки доступа к ним • сточные воды и ливневые стоки • подземные хранилища, погреба • болота, заболоченные низины • реакторы активного ила • отстойники • навозные ямы • дубильные производства • траншеи, ямы около линий канализации 	<ul style="list-style-type: none"> • полигоны сухого ила • сухие и заполненные колодцы • накопительные канализационные емкости и системы • анаэробные условия • реакторы биометана • станции подъема (насосные) • некоторые почвы • добыча и транспортировка попутного и природного газа

Таким образом, утечки проявляют себя в местах концентрации.

Основной химический состав воздуха канализаций

Сопутствующих газ сточных вод по составу сложное многокомпонентное вещество более простых, но одной природы – это биогаз – совокупное обозначение газов и летучих компонентов канализации и природных процессов брожения и разложения органических веществ; основные компоненты: азот (N_2), сероводород (H_2S), углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), аммиак (NH_3), водяные пары, – их состав и концентрация зависят от времени, состава воды, температуры, pH, протекаемых реакций (табл. 7).

Таблица 7

Средний состав биогаза

<ul style="list-style-type: none"> • CH_4 – 40-70 %; • CO_2 – 30-60 %; 	<ul style="list-style-type: none"> • H_2S – 0-3 %; • H_2 – 0-1 %;
<ul style="list-style-type: none"> • др. газы, в том числе NH_3 – 1-5 % (таблица 8). 	

Газ может быть токсичным и взрыво- и огнеопасным, при этом не иметь запаха, – но и наличие запаха не позволяет однозначно оценить уровень опасности; основные риски здоровью:

- 1) отравление H_2S и гипоксия;
- 2) снижение внимания, времени реакции, астения;
- 3) биологическое заражение (табл. 9 и 10);
- 4) пожары и взрывы горючих газов.

Некоторые свойства канализационного биогаза

Компонента	Относительная плотность (воздух = 1.0)	ppm, порог ощущения запаха	ПДК (PEL) ppm ⁵	ПКВ предел кратковременного воздействия (STEL) ppm ⁶
Сероводород	1,19	0,01	20 (макс.)	50 (10 минут только)
Углекислый газ	1,53	-	5,000	-
Метан	0,55	-	-	-
Аммиак	0,59	17	50	-

Таблица 9

Некоторые основные заболевания канализации

Туберкулез	Полиомиелит	Гистоплазмоз	Дизентерия	ОРВ
------------	-------------	--------------	------------	-----

Таблица 10

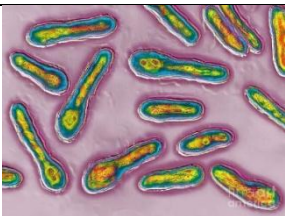
Некоторые основные вирусы канализации

Коксаки А & В	Аденовирусы	Эховирусы	Ротавирусы
---------------	-------------	-----------	------------

То есть роль ксенобиотиков – чужеродных химических веществ могут выполнять соединения, вырабатываемые бактериями. Например, *Clostridium botulinum*, выделяя ботулотоксин, вызывают тяжелейшее отравление; в зависимости от дозы 20-70 % пострадавших погибают от паралича дыхательных мышц (табл. 11).

Таблица 11

Сравнение смертельных доз веществ с ботулотоксином

Вещество	Смертельная доза при пероральном попадании, мг/кг массы тела	<i>Clostridium botulinum</i>
Ботулотоксин	0,00000003	
Синильная кислота	0,7-1,0	
Оксиды мышьяка	1,4-4,3	
Барбитураты	57-143	
ДДТ	143-430	
Метанол	357-1400	
Этанол	3300	
Пов.соль	7150-14300	

Реагенты для бактерицидной обработки трубопроводов

Планомерное постоянное применение препаратов данной группы позволяет предотвратить биообрастания систем водопользования.

Препарат АМИНАТм БК

Обладает активностью в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий, используется как дезинфицирующая добавка при отмывке накопительных ёмкостей и оборудования в пищевой промышленности, для удаления микробиологической плёнки с поверхностей мембран обратноосмотических установок и оборудования систем оборотного водоснабжения. Представляет водный раствор четвертичных аммонийных солей, бесцветную или светло-голубую жидкость, плотностью 0,98-1,01 г/см³, рН 10 % раствора 6,5-7,0, не горюча, пожаровзрывобезопасна, относится к веществам умеренно опасным (III класс опасности по ГОСТ 12.1.007), замерзает, но после размораживания восстанавливает свойства. Средняя эффективная концентрация для водооборотных систем в зависимости от уровня биозагрязнений 20 г/м³, для постоянного дозирования в питательную воду установок обратного осмоса – 1,0. Обладает высоким пенообразованием и совмещается с реагентами стабилизационной и коррекционной обработки воды, например с другими реагентами АМИНАТм.

Препарат АМИНАТм БКу

Предназначен для систем технического назначения: водооборотные циклы систем охлаждения, обратного осмоса, нано- и ультрафильтрации, и технического водоснабжения предприятий. Представляет водный раствор перекиси водорода, надуксусной и уксусной кислот, стабилизатора, бесцветная прозрачная жидкость с резким запахом, плотностью 1,14-1,20 г/см³, рН 1 % раствора – не более 2,0, может способствовать возгоранию ЛВЖ и горючих материалов, а по степени воздействия на организм – умеренно опасен (III класс). Эффективная концентрация зависит от уровня биозагрязнений и составляет 20-100 г/м³, это сильный окислитель, эффективный против бактерий, включая спорообразующие формы, а также грибов и водорослей.

Препарат АМИНАТм БП

Предназначен для борьбы с биообрастанием в системах технического водоснабжения предприятий, в циклах систем водооборотного охлаждения технологического оборудования, для обработки накопительных ёмкостей, в том числе прудов-регуляторов. Представляет водный раствор полигуанидинов, бесцветный или с желтоватым оттенком, плотностью 1,0-1,05 г/см³, рН 5,0-8,0; не горюч, пожаровзрывобезопасен, относится к веществам умеренно опасным (III класс). Расход реагента: 1-10 г/м³ в зависимости от

уровня биозагрязнений, при этом средняя эффективная концентрация – 5 г/м³ при контакте не менее 1 ч., но в случае применения с другими реагентами разбавляют в 10-20 раз; применяют при температуре не более 90 °С. Остаточная концентрация в закрытых системах должна быть не менее, а в открытых не более 0,5 мг/л (по активному веществу). При обеззараживании оборотной воды в системах охлаждения количество реагента может меняться в зависимости от качества подпиточной воды и характеристик системы, однако остаточное количество препарата для эпидемической безопасности воды и предотвращения биообрастания должно быть не менее 0,1 мг/л (по активному веществу). Препарат проявляет высокую эффективность в отношении широкого спектра микроорганизмов, таких как бактерии, водоросли, грибы; обладает пролонгированным действием, высокой химической стабильностью, отсутствием коррозионной активности, и сохраняет высокую эффективность в широком диапазоне температур и значений рН.

Препарат Трублон

Эффективный, безопасный, удобный в использовании реагент для канализации – быстро и качественно дезинфицирует содержимое труб и ёмкостей. Также эффективен для прочистки засоров. Препарат полностью разлагается, не оседает на стенках труб, не выделяют токсичных веществ.

Препарат Медеск-ПГ

Концентрированное жидкое средство для эффективного удаления грибка, мхов, лишайников, водорослей с бетона, кирпича, естественного камня, швов с поверхностей конструкций внутри и снаружи помещений ОС.


Препарат Herlisil

У препарата беззараживающий эффект в 10 раз выше, чем других готовых форм, высокая эффективность при низкой концентрации (0,01-3%), не образуются побочные продукты при химической реакции, не является субстратом для микроорганизмов, безопасный отвод в сточные воды и окружающую среду (при разложении распадается на H₂O и кислород O₂ без побочных продуктов), длительный срок хранения с малой потерей концентрации – около 1 % в год.

Дозаторы

Для ввода дезинфицирующего средства используют дозаторы; характеристики одной из современных моделей – Herli® приводятся в табл. 12 (конфликт интересов отсутствует).

Сравнение смертельных доз веществ с ботулотоксином

<u>Переносной дозатор Herlimat</u>	<u>Мобильная дозировочная станция</u>
<ul style="list-style-type: none"> ● автоматическая дозировка дезинфицирующего средства, пропорциональная объему; ● коэффициент расхода: 20 м³/ч – 1 1/2 дюйма, 30 м³/ч – 2 дюйма; ● мощность при макс. противодавлении в 10 бар, 6,8 л/ч; ● отсутствие прямого контакта с дезинфицирующим средством благодаря сменному комплекту отсеков 	<ul style="list-style-type: none"> ● независимое электропитание дозирующего насоса; ● дозируемое количество: 0,025-0,4 л/м³; ● коэффициент расхода: 0,1-5,0 м³/ч; ● самовсасывание; ● самовентиляция пропорционально количеству; ● гидравлически регулируемая; ● бесступенчатое регулирование; ● отсутствие передозировки 

Методика проведения дезинфекции трубопровода питьевой воды

Метод дезинфекции заполнением заключается в заливке трубопровода не менее чем на 12 часов раствором реагента, например, препаратом Herlisil (конфликт интересов отсутствует) концентрацией 100 мг/л = 100 г/м³, для этого новый трубопровод заливают водой, в которую через патрубок, вентиляционный клапан или гидрант насосом нагнетанием в постоянном соотношении подмешивается реагент, и процесс добавления может быть завершён только после наполнения всего трубопровода дезинфицирующим раствором (рис. 11). В случаях экстремально высокого уровня заражения концентрацию реагента в растворе необходимо повысить. В ходе дезинфекции необходимо контролировать возможность попадания дезинфицирующего раствора в эксплуатируемую трубопроводную сеть, то есть ни в коем случае не допускать попадания реагента в действующую сеть. После истечения времени выдерживания раствор удаляется из системы и трубопровод промывается чистой питьевой водой; возможен сброс без какой-либо нейтрализации непосредственно в канализацию или инфильтрация в грунт.



Рис. 11. Дезинфекция трубопроводов

Прочистка канализационных труб

В процессе эксплуатации канализация подвергается риску засорения, угрозе оказаться в неудовлетворительном техническом состоянии, что в результате ухудшит гидравлические характеристики трубопровода; для обеспечения бесперебойной работы необходимо периодически проводить профилактическую чистку, а в случае засора вызывать аварийную службу канализации. Принцип работы самотечной и напорной канализации различен, отличаясь, в том числе, скоростью образования отложений на стенках. Если засор самотечной системы устраним прочисткой, напорной – приведёт к выходу из строя насосного оборудования.

Прочистка канализации гидродинамическим методом

Метод успешно применяется для внешних сетей. В трубу под высоким давлением подается вода, смывающая образовавшиеся отложения, при этом разрушаются любые засоры, в том числе и отложения из цементных растворов и вымывается строительный мусор (рис. 12); осадок выкачают и утилизируют. В случае извлечения большого количества нерастворимых загрязнений используют илосос. В отдельных случаях плотный засор невозможно разрушить струёй, тогда дополнительно и одновременно применяется механическое разрушение. В целом же водоструйная очистка под сверхвысоким давлением удаляет любой мусор и отложения, и экономически более эффективна прочих методов, при этом она экологически безопасна, поскольку используется только вода без агрессивных химикатов или абразивных частицы, он безопасен и гигиеничен для рабочего, универсален. Системы водоструйной очистки могут использоваться не только для очистки канализации, но и для других целей: очистки промышленных теплообменников, подготовки поверхности и холодной резки, удаления дорожной разметки. В день можно прочистить 300 м канализационных труб.



Рис. 12. Прочистка трубы

Модификация водоструйного метода – пневмодинамический метод: если сжатый воздух 0,3-0,5 МПа в непрерывном режиме бьёт о внутреннюю стенку трубы с текущим по ней чистящим средством, происходит схлопывание пузырей, механический удар, вибрация и ультразвуковое воздействие, – это комплексное воздействие удаляет верхний слой и увеличи-

вает скорость реакции химического вещества, что максимизирует эффект очистки в три-пять раз в сравнении обычным заполнение реагентом, – кавитация в трубах с такого рода загрязнениями – явление крайне интересное и полезное.

Выводы

1. Запах канализации распространяется через воздух, который переносит также патогенные микроорганизмы, и человек может подвергнуться заражению, отравлению; вероятность заболевания определяется временем вдыхания, составом и концентрацией патогенов в воздухе.

2. Применение систем очистки воздуха в вытяжной вентиляции канализационных насосных станций и очистных сооружений позволяет очистить воздух от аммиака, сероводорода, меркаптанов, вредных и сильно пахнущих веществ, а также от механических и микробиологических примесей.

3. Систематическое применение чистящих реагентов позволяет предотвратить биообрастания систем.

4. Системы водоструйной очистки являются самыми эффективным в сравнении с традиционными, они мобильны, манёвренны и экономически обоснованы.

5. Рассмотренные вопросы позволяют правильно организовать эксплуатацию систем водоснабжения и водоотведения.

Библиографический список

1. Воробьёв А. А. Медицинская и санитарная микробиология. – М.: «Академия», 2003. – 464 с.

2. Кондакова Г.В. Санитарная микробиология: Текст лекций. – Ярославль: ЯрГУ, 2005. – 84 с.

3. ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов.

4. ГОСТ 33566-2015 Молоко и молочная продукция. Определение дрожжей и плесневых грибов.

5. МУК 4.2.1884-04. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов.

6. МУ 2.1.5.800-99. Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод.

7. ГОСТ 24849-2014. Методы санитарно-бактериологического анализа для полевых условий.

ПОЖАРОТУШЕНИЕ ВОДЯНЫМ ТУМАНОМ

А.А. Ерхов, к.т.н., МГРИ

Водяной туман, создаваемый (автоматическими) системами пожаротушения, действует на открытый огонь и дымовые газы завесой, плотно прикрывающей доступ кислорода воздуха и гася температуру экзотермической реакции вещества – горящего материала – путём парообразования: быстрое испарение охлаждает окружающую среду и вытесняет диффундирующий кислород, мгновенно и надёжно ликвидируя очаг. Туман или пар, таким образом, и прежде всего – физическая гарантия сохранения жизни и здоровья людей, оказавшихся вблизи источника жара и ядовитых газов (в отличие от теплового излучения, свет не представляет опасности даже органам зрения). Помимо сохранения жизней, что особенно важно в условиях продолжающихся депопуляционных процессов, метод снижает и прямые материальные затраты от потери в огне имущества за счёт большей эффективности, в сравнении с традиционными системами, – косвенные затраты определяются расходом воды и созданием напора, поэтому по косвенным затратам метод предпочтительней, так как подача и напор уменьшаются многократно; впрочем, воздействие на очаг возгорания водяным туманом под высоким давлением в системах существенно повышает эффективности тушения. К косвенным же надо отнести проектирование и реконструкцию – они предпочтительней по соотношению цены-качества, – реконструкция результативна по причине использования труб меньшего диаметра.

Но и работа на пожаре, то есть борьба с огнём, не должна представлять угрозы жизни и здоровью людей, чей труд – спасение: тушение любыми видами огнетушащего вещества имеет ряд ограничений, накладываемых требованиями безопасности – одним веществом можно тушить несколько классов разных материалов, но не все (табл. 1).

Туман создаётся мелкодисперсным распылением жидкости при выходе из насадка (рис. 1). Ранее для этого повсеместно использовали форсунки – пассивные реактивные элементы системы, сейчас всё больше приборов работает на ультразвуковом принципе, но реализуют его устройства относительно сложные и низкопроизводительные. В системах пожаротушения распыл традиционно получают при помощи не имеющих сопла форсунок, для простоты названных головками. Поскольку сопло специально предназначено для разгона жидкости, эффект распыла действующих в противопожарных системах оросителей крайне незначителен; сопло – важнейший конструктивных элемент распылителя.

Размер и скорость капель – две ключевые характеристики распыления, определяющие интенсивность дождевания, – их определение теоретическими методами – проблема сложно разрешимая, поэтому разработка конструктивных вариантов сопел в определённых геометрических формах идёт в ногу с опытными измерениями параметров работы распылителя.

Средства тушения разных классов материалов

Класс материала	А <i>твёрдые</i>	В <i>жидкие</i>	С <i>газообразные</i>	Д <i>металлы и сплавы</i>	Е <i>электрооборудование</i>	Ф <i>растительные масла</i>
	материал горящего вещества					
	древесина бумага ткань и.т.	бензин солянка масла и.т.	метан этан пропан и.т.	горючие металлы	электроустановки	масла, жиры и трансжиры
Водяное	да	нет	нет	нет	нет	нет
Пенное	да	да	нет	нет	нет	нет
Углекислотное	нет	да	нет	нет	да	нет
Порошковое	да	да	да	нет	да	нет
Жидкая химия	да	нет	нет	нет	нет	да



Рис. 1. Образование тумана (фото Интернет-источника (*)).

Водяной туман	да	да	да	да	да	да
----------------------	----	----	----	----	----	----

Водяным туманом тушить можно всё.

В последние годы революция в области измерений привела к качественному изменению характера проводимых лабораторных и натурных исследований физических моделей и сред: взять за пример тридцатилетней давности устройство для исследования основных параметров распылённой жидкости, предложенное [1] и построенное (рис. 2) автором (и уничтоженное – гримаса судьбы – пожаром), и современные электронные приборы – лазерные анализаторы (рис. 3), – автоматизация (до роботизации) научных исследований – логичное, объективное продолжение НТП в обществе. И вот рутинные прежде исследования превратились в компьютеризированные приёмы, ставшие знаменем времени; однако принципы научного метода остались нерушимы, поэтому, конкретизируя теоретические аспекты достоинства метода распыла с образованием водяной взвеси для устранения открытого огня и условий тления, а также распространения пожара, можно выделить следующие простые физические эффекты воздействия на источник пламени:

- испарение поглощает тепловую энергию реакции горения – в зоне реакции капля быстро сбрасывает большое количество энергии и резко понижается температура;

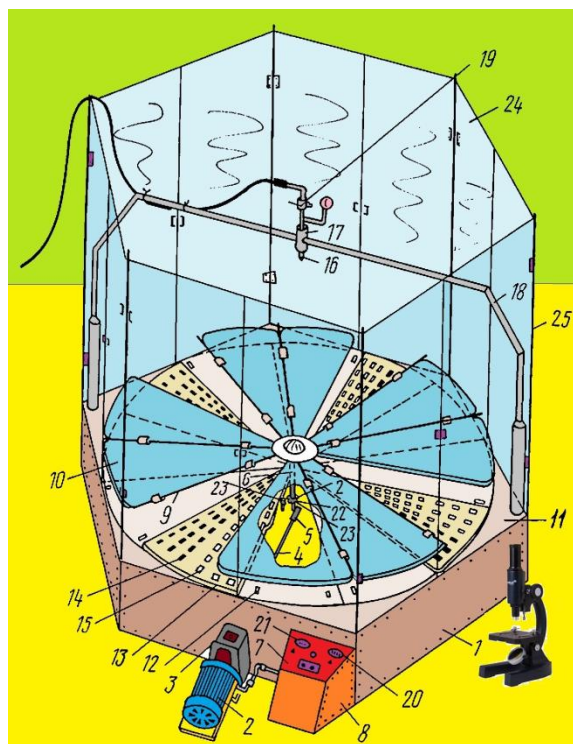


Рис. 2. Устройство для исследования центробежных форсунок

- объем воды увеличивается за счет испарения в 1640 раз, а содержание кислорода в огне падает;
- аэрозольное облако пеленой экранирует доступ кислорода воздуха;
- туман снижает концентрацию в огне горючих газов и препятствует их горению;
- высокая концентрация частиц водяной взвеси в воздухе защищает от теплового излучения;
- водяной туман связывает большую часть восходящих частиц сажи;
- сильный охлаждающий эффект обеспечивает допустимые для организма температуры, поэтому возможна свободная эвакуация людей и работа пожарных расчётов.



Рис. 3. Современные приборы для измерения параметров диспергируемой жидкости*

Преимущества систем водяного тумана перед спринклерными и дренчерными определяется снижением следующих показателей:

- 85 %-м объёма воды на пожаротушение;
- размеров и стоимости оборудования;
- компактные системы занимают меньше места;
- затрат на электроэнергию работающих насосов при тушении;
- затрат на подключение к сетям инженерных коммуникаций;
- затрат при подключении к автономному источнику питания;
- диаметра труб;
- стоимости и сроков восстановления после пожара.

Недостаток – завеса спринклерных систем устанавливается мгновенно – гравитационное рассеиванием крупных капель происходит в интервале нескольких секунд, – создание тумана требует больше времени на рассеяние облака в пространстве помещения.

Мелкодисперсный распыл идёт за счёт энергии потока трубопроводной системы, при этом потери в форсунке (рис. 4) – насадке достаточно велики, складываясь из

$$\alpha + \frac{\zeta_{\text{ВХ}}}{\varepsilon^2} + \frac{1}{\varepsilon} - 1 + \lambda \frac{l}{d} = \frac{v^2}{2} gH, \quad (1)$$

где все обозначения общеприняты, то есть gH – полная удельная энергия, приведённая к единице массы воды. При этом, надо учесть, что тангенциальных каналов может быть от одного до нескольких; выходных отверстий – от одного до сколько угодно (рис. 5). Теорию центробежных форсунок, их научно-методическое обоснование, современные авторы возводят к «Прикладной газовой динамике» Г.Н. Абрамовича [2], написанной для специалистов в области авиационной техники и реактивного двигателестроения, то есть значительная часть вопросов касается скоростей, например, в соплах до 5 Махов, но процессы течения, описываемые гидравликой, всеобщие, в том числе со своей эмпирикой для водоснабжения [3]. Сопло, как выше сказано, требует для уменьшения потерь на трение правильного профилирования (рис. 6), например, показателем потерь полного давления в сопле является отношение давления на выходе $p_{\text{ВЫХ}}$ к полному давлению в сопле p_c : $\sigma_c = p_{\text{ВЫХ}}/p_c$, но в диапазоне скоростей водопроводных сетей его значение близко к единице. В известной формуле (1) потери насадке обратны коэффициенту скорости

$$\varphi_H = \frac{1}{\alpha + \frac{\zeta_{\text{ВХ}}}{\varepsilon^2} + \frac{1}{\varepsilon} - 1 + \lambda \frac{l}{d}}, \quad (2)$$

но для центробежной форсунки α – величина неизвестная, поэтому была предложена методика обобщённых геометрических размеров распылителя (а коэффициент скорости принимают 0,95); по Абрамовичу у центробежных форсунок есть сочетание геометрических характеристик, обозначенное автором [4, 5]:

$$A = \frac{2Rd_c}{nd_{\text{ВХ}}^2}, \quad (3)$$

где n – число входных каналов, $d_{\text{ВХ}}$ – диаметр проходного сечения тангенциального канала, r_c , R – радиус сопла и камеры вращения. A – критерий геометрического подобия процессов течения в центробежной форсунке, «множащий сущее без необходимости», но упрощающий запись:

- коэффициент расхода центробежной форсунки –

$$\mu = \frac{r_{\text{В}}}{r_c} \sqrt{1 - \mu^2 A^2} - \frac{r_{\text{В}}}{r_c} \sqrt{\frac{r_{\text{В}}^2}{r_c^2} - \mu^2 A^2} - \mu^2 A^2 \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \mu^2 A^2}}{r_{\text{В}} r_c + \frac{r_{\text{В}}}{r_c} \sqrt{1 - \mu^2 A^2}}, \quad (4)$$

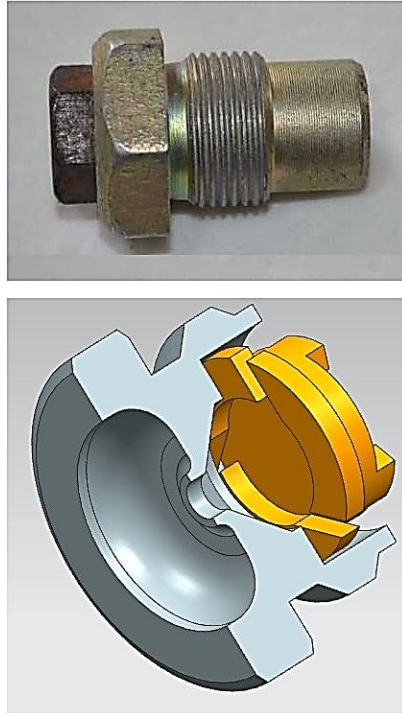


Рис. 4. Центробежная форсунка – внешний вид и 3D-модель*



Рис. 5. Современные головки для создания тумана*

где r_b – радиус вихря;

- массовый расход –

$$Q_m = \rho \pi \mu r_c^2 \frac{\overline{2\Delta p}}{\rho}; \quad (5)$$

- осевая и окружная скорости капле на выходе –

$$U = \sqrt{1 - \frac{\mu^2 A^2 r_c^2}{r^2} \frac{2\Delta p}{\rho}} \text{ и } W = \frac{\mu A r_c}{r} \frac{\overline{2\Delta p}}{\rho}, \quad (6)$$

где r – осевой радиус (координата) капли в сечении среза сопла;

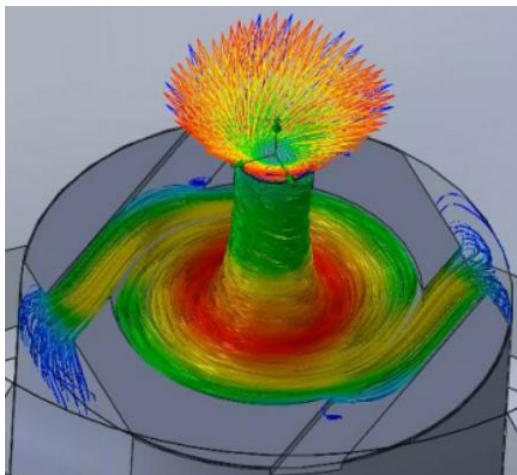


Рис. 6. Компьютерная модель течения в центробежной форсунке*.

- толщина пелены в выходном сечении –

$$\delta = r_c \left(1 - \frac{r_b}{r_c} \right); \quad (7)$$

- угол факела распыла –

$$\alpha = 2 \arctg \frac{2\mu A}{1 + r_b \frac{r_c^2 - 4\mu^2 A^2}{r_c^2}}; \quad (8)$$

• размер капель, распылённой форсункой жидкости определяется рядом факторов:

– давлением жидкости, – больше давление – меньше капли:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{p_1}{p_2}^{-0,3}; \quad (9a)$$

– размером капли данной жидкости –

$$d_{\text{ж}} = d_{\text{ф}} \gamma^{0,3}, \quad (9б)$$

где $d_{\text{ж}}$ и $d_{\text{ф}}$ – размер капель данной жидкости и для данной форсунки, γ – удельный вес жидкости;

– размером капли любой жидкости и её вязкости в сравнении с размером капли воды –

$$d_{\text{ж}} = d_{\text{в}} \nu^{0,2}; \quad (9в)$$

– поверхностным натяжением (дин/см) –

$$d_{\text{ж}} = d_{\text{в}} \frac{\sigma}{73}^{0,5}. \quad (9г)$$

Теория и опытная часть в целом изложены, и позволяют обратиться к практическим обоснованиям и результатам, и особенностям эксплуатации.

Главным показателем эффективности тушения различными огнетушащими веществами является время гашения, – для тумана, помимо описанных характеристик, в структуре данных лабораторных испытаний должны быть давление, температура, плотность воздуха. Данные лабораторных исследований указывают на значительно лучшей эффект тушения насыщенным туманом (рис. 7).

Туман, создаваемый системами низкого давления, может вырабатываться в непрерывном или импульсном режимах; в том или другом случае покрывается значительная площадь в зоне огня (табл. 2). Импульсный режим – это не только снижение расхода, но и увеличение оттока тепла с ростом охлаждения очага: газообмен возникает за счет огня, разности температур продуктов сгорания и воздуха, ветровых тяговых нагрузок и принудительной вентиляции в помещении. С начальной стадии пожара до интенсивной фазы развитого горения газообмен резко возрастает, и выделившаяся энергия идёт на нагрев воздуха и конструкций – температура стабилизируется на уровне 600 °С. Кроме того, при увеличении площади горения мощность тепловой конвекции увеличивается, газ над пламенем нагревает-

ся, возникает циркуляция за счёт подсоса воздуха снизу; остывающие за счёт теплопередачи у потолка и стен продукты горения опускаются вниз, – среднеобъёмная температура возрастает.

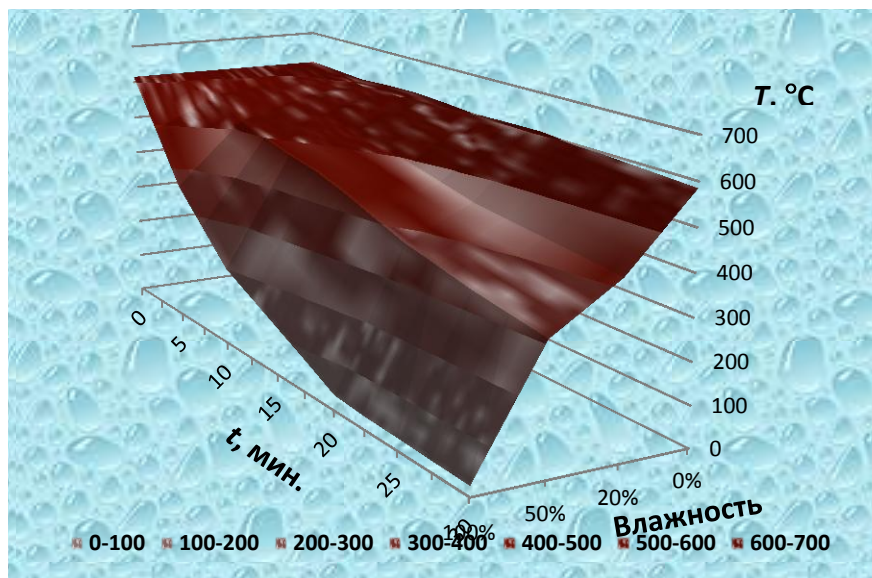


Рис. 7. Скорость гашения водяным туманом значительно выше других способов

Таблица 2

Характеристики систем в расчёте на один распылитель

Система распыления	Диаметр капель, мм	Площадь орошения одним литром воды, м
Спринклерная	1	2
Спрей для аэрозоля	0,1	20
Туман	0,01	200

Туман отсекает потоки тепловой конвекции воздушных масс, предотвращая разогрев.

Помимо режима воздействия – импульсного и непрерывного – в тушении туманом играет роль давление в сети, – системы мелкодисперсного распыления низкого давления имеют достоинства перед системами высокого:

- высокая надёжность, поскольку распылители имеют большее выходное сечение сопла, что исключает их засор;
- не требуют высокого качества воды;

- меньшие траты на оборудование, поскольку системы высокого давления требуют дорогостоящих узлов и арматуры, труб и фитингов из нержавеющей стали;
- возможность подключения к сети пожарному расчёту;
- возможно общее водоснабжение;
- снижение затрат на техническое обслуживание: поверки, детали и т.д., а высокого перед низким;
- абсолютная безопасность;
- меньше расход;
- меньше ущерб, поэтому они предназначены, например, для защиты очень важных участков или производственных линий с очень ценным оборудованием.

Системы высокого давления – это около 12 МПа.

Схемы и варианты подключения мелкодисперсных распылителей отличаются разнообразием: системы могут использоваться независимо со всеми видами быстросъёмных распылителей и автоматическими устройствами или извещателями: можно использовать отдельные распылительные головки, группы распылительных трубок, расположенных на головках. При этом задача проектирования – создать оптимальные условия туманопожаротушения на основе опытных рекомендаций; проектирование описываемых систем проще, поскольку туман понятней и прогнозируемей (табл. 3). Подбор форсунок для любого случая определяется их характеристикой и специфичен, а направлен на обеспечение эффективной и оптимальной защиты [6].

Таблица 3

Различия в рисунке факела распыла

Характеристика	Заполненный конус	Заполненный конус со спиральями	Полый конус	Туман
Изображение				
Диаграмма интенсивн.				
Угол факела	30-170°	30-170°	30-170°	Превращение в туман из всех видов начальных конусов

Предназначены системы водяного тумана разного давления:

- низкого – для общественных и гражданских зданий кратковременного проживания с высотой потолков до 2,7 м,
- высокого – то же самое, а также: гостиницы и рестораны больших площадей, производственные объекты, турбины, легковоспламеняющиеся жидкости, помещения с высотой потолков до 5 м.

Тушение туманом – это следующий, инновационный этап развития спринклерных систем; оно обеспечивает чрезвычайно эффективную защиту горящего здания, и снижает пожарные риски [7].

Библиографический список

1. Ерхов А.А., Сабашвили Р.Г. Устройство для исследования центробежных форсунок. Патент № 2067502, 1994.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1991. – 600 и 304 с.
3. Ерхов А.А. Тангенциальное ускорение конфузорного течения // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». № 4 2015. – с. 267-269.
4. Салич В.Л., Сёмкин Е.В. Расчётно-теоретические и экспериментальные исследования центробежной форсунки ракетного двигателя тягой 13 Н. Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2013, том 13, № 1. – С. 4-12.
5. Исследование жидкостных центробежных форсунок двигателей летательных аппаратов / Сост. В.С. Егорычев. – Самара, 2004. – 22 с.
6. Ерхов А.А., Ляпин А.Н., Мотинов А.М., Сватеев Ю.И. К обоснованию принудительного шуго и рыбоотведения из акватории самопромывающихся ковшей речных водозаборов // Вода: экология и технология: тез. докл. IV междунар. Конгресса. 30 мая – 2 июня 2000 г. – М., 2000. С. 123-125.
7. Ерхов А.А. Водоснабжение для наружного пожаротушения с учётом рисков для городской среды // Яковлевские чтения: сб. докладов XV Международной научно-техн. конф. – М.: Изд. МИСИ, 2020. – 43-49 с.

ТОНКОСЛОЙНЫЙ ФЛОТАТОР С КАМЕРОЙ ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЯ

В.Г. Иванов, проф., д.т.н.; **Н.А. Черников**, проф., д.т.н.; **Н.В. Твардовская**, доц., к.т.н., ФГБОУ ВО ПГУПС

Одной из тем научных исследований, проводимых на кафедре "Водоснабжение, водоотведение и гидравлика" Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, является поиск путей повышения эффективности очистки и доочистки бытовых и производственных сточных вод. Совершенствованию конструкций различных отстойников посвящены работы сотрудников кафедры, в том числе [1-9]. Для очистки и доочистки сточных от тонкодисперсных взвешенных веществ, эмульгированных нефтепродуктов и других флоотируемых примесей предлагается использовать тонкослойный флотатор с камерой хлопьеобразования [10], конструкция которого представлена на рис. 1.

Флотатор работает следующим образом: очищаемая сточная вода по трубопроводу 2 подводится в центр сооружения и попадает в коническую часть камеры хлопьеобразования 3, где обеспечиваются оптимальные условия для агломерации и формирования хлопьев загрязнений как без предварительного введения реагента, так и более эффективно с предварительной обработкой сточной воды реагентами.

Затем сточная вода переливается через верхнюю кромку камеры хлопьеобразования 3 в кольцевой канал 14, где смешивается с рециркуляционным расходом воды, поступающим по кольцевому трубопроводу с отверстиями 13 для подачи его в обрабатываемую воду, и через нижнюю часть цилиндрической перегородки 4, выполненной в виде щелевой распределительной решетки, поступает во входное сечение полочных тонкослойных элементов 7 радиального типа с дополнительной полкой 8, где в ламинарном режиме эффективно реализуются процессы тонкослойного разделения и укрупнения флоотируемых частиц в процессе сползания их по поверхности полочных тонкослойных элементов 7 и накопления на поверхности воды с образованием слоя флотопродукта, который непрерывно сгребается скребком 9, оснащенный электродвигателем 10, в карман 11 и далее выводится за пределы установки по отводящему флотопродукт трубопроводу 12, осадок из флотатора удаляется по трубопроводу 18.

Очищенная вода собирается перфорированными водосборными трубами 16 и поступает в кольцевой водосборный канал 6 и далее отводится по трубопроводу 17 за пределы сооружения.

Данный флотатор обладает повышенной эффективностью очистки сточных вод за счет агломерации и формирования хлопьев загрязнений в камере хлопьеобразования 3, тонкослойного разделения и укрупнения флоотируемых частиц в процессе сползания их по поверхности полочных тонкослойных элементов 7 и накопления на поверхности воды слоя флотопродукта.

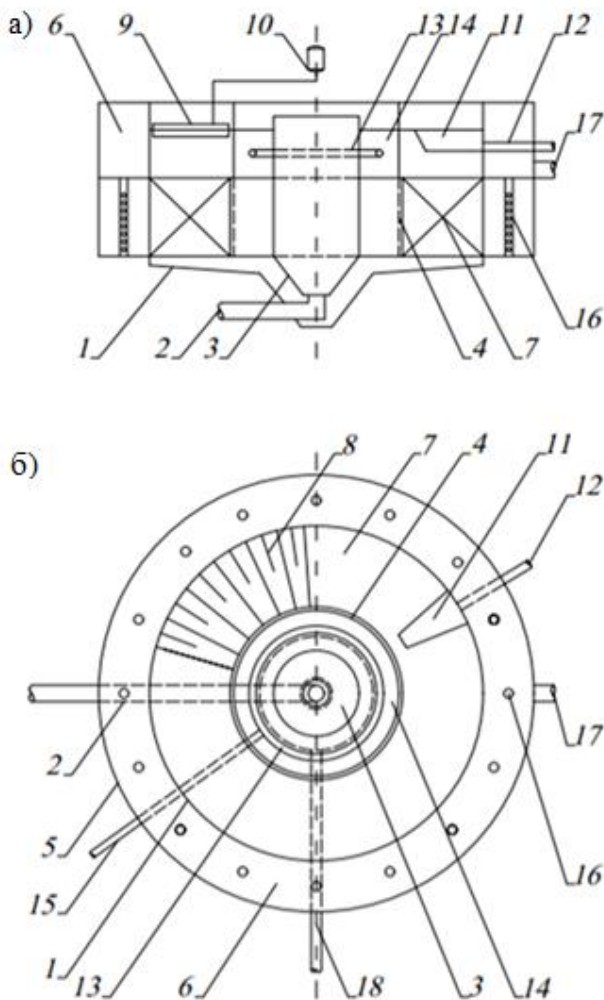


Рис. 1. Схема тонкослойного флотатора с камерой хлопьеобразования
 а – разрез; б – план; 1 – корпус; 2 – подающий трубопровод; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – цилиндрическая перегородка, нижняя часть которой выполнена в виде щелевой распределительной решетки; 5 – дополнительный цилиндрический корпус, образующий с боковой стенкой корпуса 1 кольцевой водосборный канал; 6, 7 – полочные тонкослойные элементы радиального типа; 8 – дополнительная полка; 9 – скребок; 10 – электродвигатель; 11 – карман для сгребания флотопродукта; 12 – трубопровод, отводящий флотопродукт; 13 – кольцевой трубопровод с отверстиями; 14 – кольцевой канал; 15 – трубопровод подачи рециркуляционного расхода воды; 16 – перфорированные водосборные трубы; 17 – трубопровод, отводящий очищенную воду; 18 – трубопровод для удаления осадка

Тонкослойный флотатор с камерой хлопьеобразования – это разработка кафедры "Водоснабжение, водоотведение и гидравлика" ФГБОУ ВО ПГУПС, позволяющая использовать введение реагента для повышения эффективности очистки и экономии реагентов, а так же для уменьшения объема зоны отстаивания во флотаторе.

Такое сооружение рекомендуется использовать в технологических схемах очистки производственных и поверхностных сточных вод, загрязненных нефтепродуктами и механическими примесями, в том числе характерных для предприятий транспортного комплекса.

Библиографический список

1. Иванов В.Г., Твардовская Н.В., Хабазов Н.В. Использование емкости вторичных отстойников для доочистки сточных вод // Материалы четвертых академических чтений, проведенных в ПГУПСе 19 и 20 марта 2009 года "Новые исследования в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов". СПб. : Изд-во "ОМ-Пресс", 2009. С. 82–83.

2. Временные указания по применению подбору и оценке эффективности локальных очистных сооружений «FLOTENK» для очистки поверхностных сточных вод / Иванов В.Г., Черников Н.А., Петров А.В., Колотыгин А.Е., Кобозев Д.В. СПб. : ЗАО «Флотенк», 2012. 102 с.

3. Иванов В.Г., Старов С.А. Плавающие фильтры доочистки для отстойников с системой непрерывной регенерации фильтрующей загрузки // Материалы международной научно-практической конференции, проведенной в ПГУПСе 23 апреля 2013 года "Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов". СПб. : Изд-во "ОМ-Пресс", 2013. С. 68–71.

4. Твардовская Н.В., Максимова Е.В. Доочистка биологически очищенных сточных вод // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов : сб. статей Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 10 декабря 2015 года) / Под ред. В.Г. Иванова. СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. С. 168–171.

5. Импортзамещающая модернизация вторичных отстойников / Е.В. Максимова, Ю.Ю. Круць, В.Г. Иванов, Н.В. Твардовская // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сборник трудов LXXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. С. 213–218.

6. Иванов В.Г., Черников Н.А. Водоснабжение и водоотводящие системы промышленных предприятий: учебник. — М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. – 737 с.

7. Пат. 68498 Россия, МПК С 02 F 3/06. Установка для очистки сточных вод / Иванов В.Г., Ганжин А.В.; Петербургский государственный университет путей сообщения. Заявлено 20.07.2007; Опубли. 27.11.2007. Бюл. № 33.

8. Пат. 87422 Россия, МПК С 02 F 3/06. Установка для очистки сточных вод / Иванов В.Г., Твардовская Н.В., Хабазов Н.В.; Петербургский государственный университет путей сообщения. Заявлено 08.05.2009; Оpubл. 10.10.2009. Бюл. № 28.

9. Пат. 166598 Россия, МПК В 01 D 36/04, С 02 F 1/52, В 01 D 21/24. Установка для очистки сточных вод / Иванов В.Г., Твардовская Н.В., Максимова Е.В., Круць Ю.Ю.; Петербургский государственный университет путей сообщения. Заявлено 11.05.2016; Оpubл. 10.12.2016. Бюл. № 34.

10. Пат. 200712 Россия, МПК С 02 F 1/24 (2006.01). Установка для очистки сточных вод / Иванов В. Г., Черников Н.А., Твардовская Н.В., Андерсон К.А.; Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Заявлено 16.03.2020; Оpubл. 06.11.2020. Бюл. № 31.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д.О. Игнаткина, старший преподаватель, к.т.н.; А.А. Геращенко, доцент, к.т.н.,
ФГБОУ ВО ВолгГТУ

Среди таких источников образования СВ следует выделить предприятия пищевой промышленности (ППП), которые ежегодно используют около 60 млн. м³ воды, объем сбросов составляет 46 млн м³. Доля загрязненных стоков к общему объему воды достигает 77 %, что говорит о низкой эффективности работы имеющихся очистных сооружений [1, 2]. За последние пять лет водопотребление ППП значительно выросло. Главной особенностью СВ пищевой отрасли является их многокомпонентный состав, характеризующийся высоким содержанием органических загрязнений. Поступление таких СВ в городскую канализационную сеть способствует заливанию трубопроводов, а также нарушению кислородного режима и изменению микрофлоры, негативно влияющих на процесс биологической очистки. Основная проблема обезвреживания производственных СВ ППП заключается в разнообразии их состава, высокой концентрации загрязнений и напрямую связана со сложностью физико-химических и биологических процессов, лежащих в основе методов, применяемых для их очистки, большими капитальными и эксплуатационными затратами [3-5].

В качестве примера рассмотрим одно из предприятий пищевой отрасли г. Волгограда – табачную фабрику, относящегося в регионе к разряду экологически благополучных.

Водоснабжение предприятия осуществляется водой питьевого качества. Питьевая вода используется на хозяйственно – питьевые, бытовые и производственные нужды работающих, на душевые в бытовом помещении, на приготовление пищи в столовой, в котельной, в системе теплоснабжения, в лабораториях физического и химического профиля и здравпункте. Система канализации СВ на предприятии (раздельная): хозяйственно – бытовая и производственная. Указанные СВ фабрики по одному выпуску поступают в городскую канализационную сеть. Поверхностный сток после механической очистки поступает на рельеф.

Процентное распределение водопотребления и водоотведения, рассматриваемого предприятия в соответствии с балансовой схемой приведено на рис. 1.

Данные о водном хозяйстве рассматриваемой табачной фабрики, в процентном распределении (рис. 1), свидетельствуют, о том, что на производственный процесс используется порядка 35 % воды от общего водопотребления, при этом 12,5 % составляет безвозвратное водопотребление (БВВ) и 2 % приходится на безвозвратные потери (БВП). Для сокращения расходов воды на нужды основного производства, в статье предложено разработать схему локальной очистки СВ, что позволит повторно использовать очищенную воду на технические нужды предприятия.

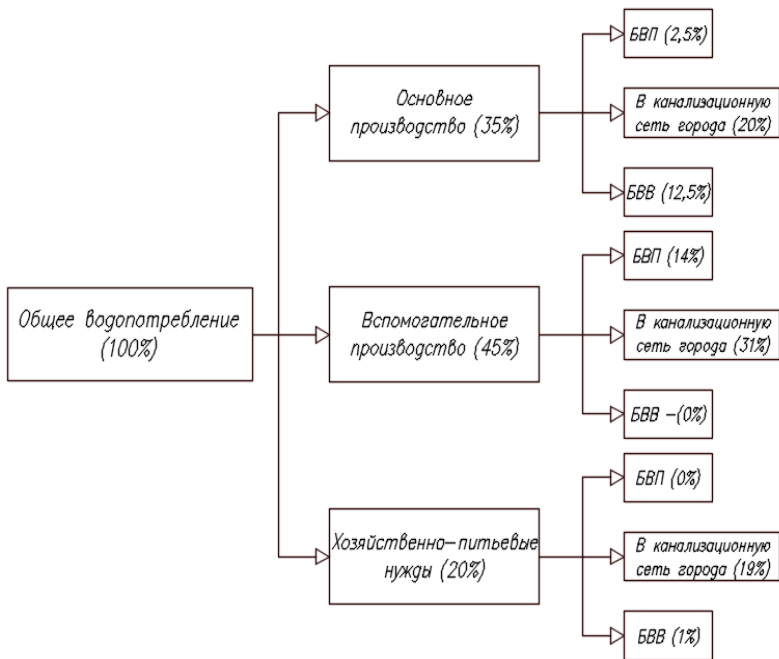


Рис. 1. Годовое распределение водопотребления и водоотведения табачной фабрики г. Волгограда, %

Объектом исследования являлись СВ, образующиеся в результате производственной деятельности табачной фабрики г. Волгоград, которые вследствие отсутствия на обозначенном предприятии локальных очистных сооружений, поступают в городскую канализационную сеть без очистки (рис. 2).

Основные места образования производственных СВ в технологической цепочке и их химический состав по результатам проведенного количественного химического анализа проб СВ в пяти основных пунктах их образования сведены в табл. 1, из которой очевидно, что преобладающая доля загрязняющих веществ образуется в двух производственных процессах [6]:

1) в табачном цехе (ТЦ) при работе линий ESS и CRES на которых происходит подготовительный этап обработки исходного сырья (табачной жилки), сопровождающийся такими технологическими операциями как дробление, просеивание, очищение от металлических примесей, обработка перегретым паром, расщепление, увлажнение и нанесение специальных добавок, улучшающих физические и вкусовые свойства табака;

2) в сигаретном цехе (СЦ), куда полностью подготовленный табак (табачные мешки) с помощью транспортеров подается на сигаретные машины для производства табачных изделий.

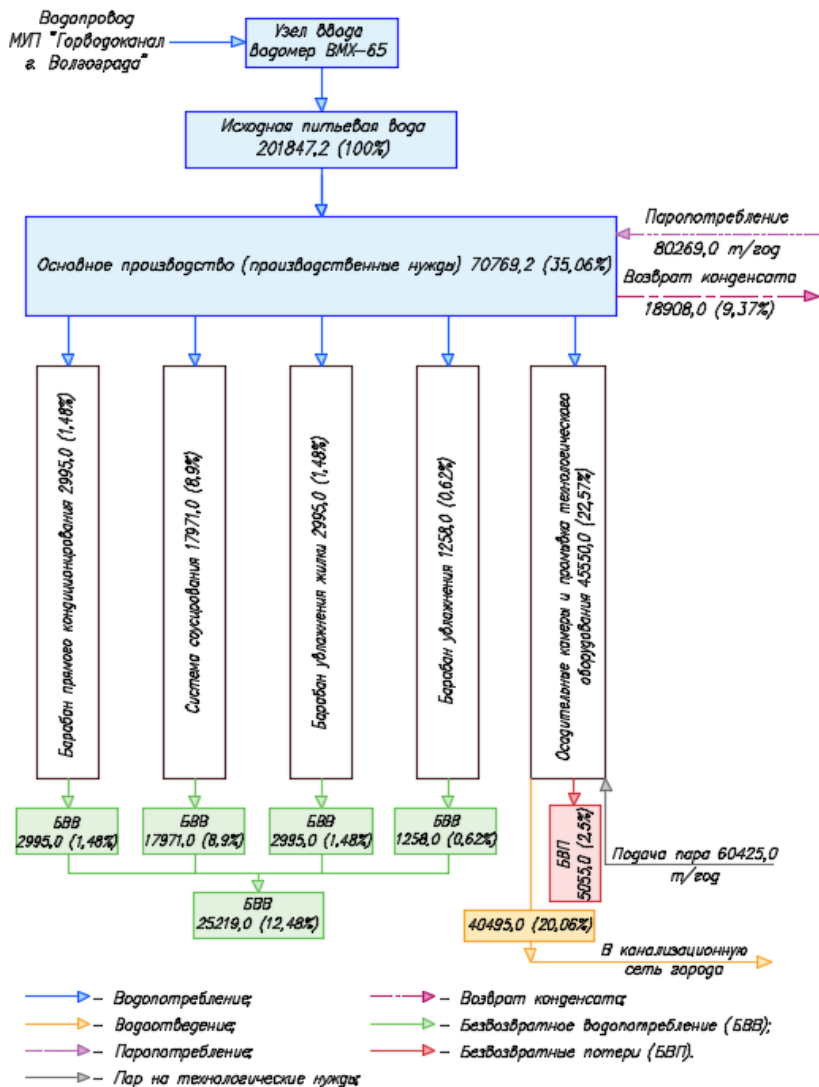


Рис. 2. Балансовая схема водопотребления и водоотведения основного производственного процесса табачной фабрики г. Волгограда, м³/год (%)

Обзор литературных источников, посвященных вопросам очистки СВ предприятий пищевой промышленности, показал, что отечественные и зарубежные ученые [7-10] активно занимаются разработкой методов, аппаратов и технологий очистки сточных вод от органических загрязнений. Однако, несмотря на их обилие, подбор оптимального и эффективного способа очистки СВ в каждом конкретном случае остается весьма сложной задачей.

В качестве основного метода снижения концентраций БПК_{полн}, ХПК, АПАВ и соединений азота после предварительной механической очистки производственных стоков табачной фабрики до значений, позволяющих сбрасывать очищенную воду в канализационную сеть Волгограда, было выбрано электрохимическое окисление. Выбор метода обоснован следующими его преимуществами: компактность оборудования; возможность коррекции параметров обработки сточных вод в зависимости от изменения концентраций загрязнений; простота эксплуатации установок; автономность работы сооружений [11].

Таблица 1

Основные места образования производственных СВ на табачной фабрике г. Волгограда

Показатель, мг/дм ³	Место отбора проб, категория сточных вод				
	№ 1 – табачный цех, линии ESS и CRES	№ 2 – табачный цех	№ 3 – сигаретный цех	№ 4 – бытовые помещения + лабораторный корпус	№ 5 – выпуск стоков
	производственные	хозяйственно-бытовые	производственные	хозяйственно-бытовые	смешанные
БПК _{полн}	1410	59	543	244	1856
Взвешенные вещества	153	22	242	38	181
Железо общее	0,12	0,18	0,23	0,15	0,2
Жиры	5,7	1,69	2,78	4,3	5,9
Ионы аммония	44,11	8,08	48,35	12,77	32,5
Нефтепродукты	0,59	0,44	0,62	0,42	0,94
АПАВ	23,6	6,4	24,8	30,2	21,8
Фосфаты	< 0,05	0,66	0,85	0,14	0,56
ХПК	2455	97	824	373	2830
Хлориды	69	59	64	58	59
Сульфаты	83	71	78	77	75
Сухой остаток	920	160	782	162	834
Прокаленный остаток	250	217	229	220	225
pH, ед.	6,1	7,75	8,8	7,2	6,69

Доочистку СВ было предложено осуществлять сорбционным методом, что позволит повторно использовать очищенную воду на технические нужды предприятия. Однако эффективность процесса сорбционного извлече-

ния загрязнителей из воды напрямую связана с выбором фильтрующего материала. В их качестве могут использоваться активные угли, природные минералы, а также твердые отходы промышленности, обладающие достаточно развитой пористой структурой [12-14].

Исходя из состава СВ, образующихся на табачной фабрике г. Волгограда, предложена предварительная технологическая блок – схема поэтапной очистки, базирующаяся на методе электрохимического окисления в сочетании с предварительной механической очисткой и последующей доочисткой сорбционным методом рис. 3.

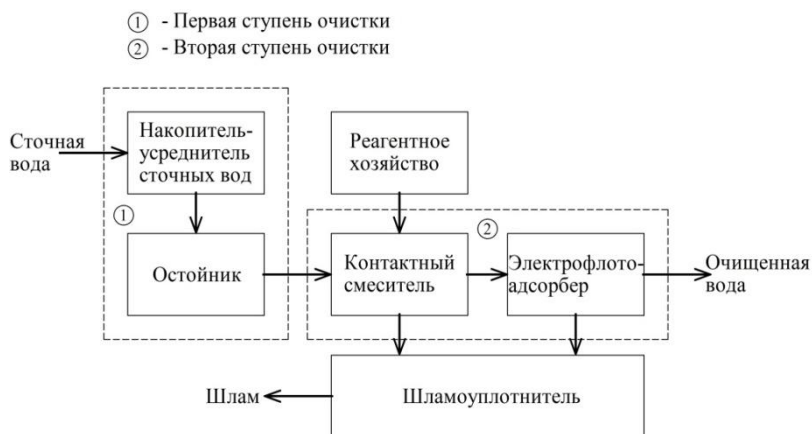


Рис. 3. Технологическая блок – схема поэтапной очистки СВ, образующихся на табачной фабрике г. Волгограда

Принципиальная блок-схема предлагаемой локальной очистки многокомпонентных СВ табачной фабрики представленная на рис. 3 предусматривает поступление высоконцентрированных производственных СВ (смешанный сток, в соответствии с табл. 1) в накопительную емкость (накопитель-усреднитель), где происходит пневматическое перемешивание жидкости, затем для удаления взвешенных веществ в вертикальный отстойник. В технологической схеме предусмотрен смеситель пневматического типа (контактный смеситель) для введения в очищаемую сточную жидкость раствора поваренной соли (NaCl), с целью интенсификации последующего этапа электрохимической очистки воды. После взаимодействия СВ с рабочим раствором реагента NaCl вода направляется на электроокислительно-сорбционную обработку, где происходит окончательная очистка от загрязнений в электрофлото-адсорбере [15, 16]. Отделенный от СВ осадок и шлам, образующийся в вертикальном отстойнике и электрофлото-адсорбере соответственно, направляется на механическое обезвоживание (шламоуплотнитель) и дальнейшую утилизацию.

В табл. 2 представлены данные химического состава СВ после каждого этапа очистки в соответствии с предложенным способом.

Химический состав СВ табачной фабрики г. Волгограда после каждого этапа очистки

Показатель, мг/дм ³	Исходная вода*	После электрохимической обработки	После адсорбера	Допустимая концентрация**
Взвешенные вещества	90	45	4	41,09
БПК _{полн}	1670	178	12	34,44
ХПК	2150	204	21	51,66
Жиры	3	0,3	0,05	10
Ионы аммония	32,5	1,8	0,5	26,98
Нефтепродукты	0,5	0,07	0,03	0,862
АПАВ	21,8	0,9	0,2	0,41
Фосфаты	0,56	0,4	0,4	1,3
Железо общее	0,2	0,09	0,02	0,24
Сульфаты	75	59	41	97,3
Активный хлор	–	920	38	72,3 (по СГ)
Хлориды	59	48	1,2	
рН, ед.	6,7	6,9	6,9	6,5–7,5

* Концентрация загрязняющих веществ в исходной воде принята с учетом предварительной обработки сточных вод на сооружениях механической очистки.
 ** Допустимые концентрации установлены постановлением администрации г. Волгограда (Волгоградская область) от 18 июня 2015 г. № 840.

Как видно из табл. 2, использование метода электрохимического окисления в сочетании с сорбционной доочисткой при правильно подобранных условиях обработки загрязненных стоков позволяет улучшить качество очищенной воды по таким показателям, как БПК_{полн}, ХПК, АПАВ, соединения азота, хлорид-ионы, до нормативов сброса очищенных стоков в городскую канализационную сеть [15-17]. Этот результат достигается за счет электрохимического окисления сложных органических соединений, которые под воздействием электрического тока подвергаются деструкции и переходят в более простые вещества, последующее удаление которых происходит в адсорбере.

Таким образом, несмотря на обилие различных методов очистки некондиционных вод на ППП, проблема выбора рационального и эффективного способа очистки от различного рода загрязнений остается актуальной и авторам на конкретном примере удалось показать, что при осуществлении подбора методов локальной обработки СВ и типов применяемых при этом очистных сооружений необходимо в первую очередь руководствоваться характером загрязнений, спецификой производства, режимом спуска стоков, а также местными условиями, определяющие требования к необходимой степени их очистки.

Библиографический список

1. Яромский В.Н. Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий. – Минск: Издательский центр БГУ, 2009. 171 с.
2. Игнаткина, Д.О. Разработка технологии очистки многокомпонентных сточных вод предприятия табачной промышленности: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.23.04 / Игнаткина Дарья Олеговна; Пенза, 2019. 24 с.
3. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: Издательство АСВ, 2006. 704 с.
4. Игнаткина, Д.О. Разработка экологически безопасной технологии очистки многокомпонентных сточных вод предприятий пищевой промышленности / Д.О. Игнаткина, А.А. Войтюк, Е.В. Федулова // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы VI Всерос. (с междунар. участием) науч.-техн. конф. мол. исследователей, Волгоград, 22-27 апр. 2019 г. / под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой, И. Е. Степановой ; Волгогр. гос. техн. ун-т. - Волгоград, 2019. С. 187-189.
5. Современные решения в вопросе разработки эффективных технологических схем очистки сточных вод на предприятиях пищевой промышленности (ппп) / Д.О. Игнаткина, Э.П. Доскина, Е.В. Федулова, В.А. Коробков // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2019» : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 22-23 окт. 2019 г./ Южно-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М. И. Платова. – Новочеркасск, 2019. С. 291-297.
6. Источники образования и химический состав сточных вод предприятий пищевой промышленности / Д.О. Игнаткина, А.В. Москвичева, А.А. Войтюк, Е.В. Федулова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе : сб. науч. тр. по материалам VIII / под ред. Ю. Г. Иващенко ; Сарат. гос. техн. ун-т им. Ю. А. Гагарина. – Саратов, 2019. – С. 582-586.
7. Юсфин Ю. С., Леонтьев Л. И., Черноусов П. И. Промышленность и окружающая среда. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 459 с.
8. Краснобородько И.Г, Яковлев С.В. Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, 1987. 312 с.
9. Некоторые особенности электрохимической обработки сточных вод предприятий пищевой индустрии / Д.О. Игнаткина, А.В. Москвичева, В.А. Коробков, А.В. Щербаков, Л.В. Олефиренко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер: Строительство и архитектура. – 2019. – Вып. 2 (75). – С. 140-148.
10. К вопросу выбора некоторых технологических параметров электрохимической очистки многокомпонентных сточных вод на примере предприятий табачной промышленности / Д.О. Игнаткина, Э.П. Доскина, Е.В. Федулова, В.А. Коробков // Технология очистки воды «ТЕХНОВОД-2019» : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 22-23 окт. 2019 г./ Южно-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М. И. Платова. – Новочеркасск, 2019. – С. 291-297.

11. Ильин В. И., Колесников В. А. Технология электрохимической очистки промышленных сточных вод с водооборотом // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 2, ч. 1. С. 21–24.
12. Климов Е. С., Бузаева М. В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. – Ульяновск, УлГТУ, 2011. 201 с.
13. Игнаткина, Д.О. Composite Sorbent Filter Material on the Basis of Man-Caused and Minerals [Электронный ресурс] / Д.О. Игнаткина, Е.В. Москвичева, А.А. Войтюк // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 945. – С. P. 983-987. – URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945>.
14. К вопросу о применении метода электроокисления для очистки сточных вод предприятий пищевой индустрии / Д.О. Игнаткина, А.В. Москвичева, Э.П. Доскина, Л.В. Олефиренко, В.А. Коробов // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : материалы II Нац. науч.-практ. конф. (7 фев. 2019 г.) / Астрахан. гос. архит.-строит. ун-т. – Астрахань, 2019. - С. 246-250.
15. Полезная модель 198750 Российская Федерация, МПК C02F 9/06 Устройство для очистки сточных вод от многокомпонентных загрязнений для промышленных предприятий / А.А. Войтюк, Д.О. Игнаткина, А.В. Москвичева. – 2020.
16. A combination machine for industrial wastewater purification / А.В. Москвичева, Д.О. Игнаткина, Е.В. Москвичева, Д.Н. Лебедев // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 698: The International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development” (CATPID-2019) 01-05 October 2019, Kislovodsk / eds.: В. Yazyev [et al.]. – [IOP Publishing], 2019. – 6 p. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055037>. – DOI:10.1088/1757-899X/698/5/055037.
17. Экспериментальная оценка эффективности адсорбции многокомпонентных загрязнений с использованием органобентонитового сорбента / Д.О. Игнаткина, А.А. Войтюк, А.А. Герашенко, В.И. Салеева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 28-33.

ЗАЩИТА НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ С РАЗРЫВОМ СПЛОШНОСТИ ПОТОКА

О.Г. Капинос, доц., к.т.н.; Н.В. Твардовская, доц., к.т.н., ФГБОУ ВО ПГУПС

Одними из наиболее опасных для напорных трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения являются гидравлические удары, сопровождающиеся разрывами сплошности потока жидкости [1-5]. Исследования таких явлений и разработка мероприятий по предотвращению их появления были и остаются одной из тем научных работ сотрудников кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I [6].

Разрывы сплошности потока жидкости при гидравлических ударах возникают в определенные моменты времени, когда давление во всем трубопроводе или в какой-либо его части падает ниже атмосферного. Схлопывание в различные моменты времени кавитационных полостей, образующихся в процессе гидравлического удара в напорном трубопроводе, приводит к повышению давления в напорной системе выше рабочего и не только в первой фазе, но и во второй (рис. 1). Понижение в трубопроводе давления ниже атмосферного даже на непродолжительное время может приводить к расшатыванию стыковых соединений, к смятию и обрушению трубопроводов, засасыванию грязной воды или воздуха через неплотности стыковых соединений [7, 8].

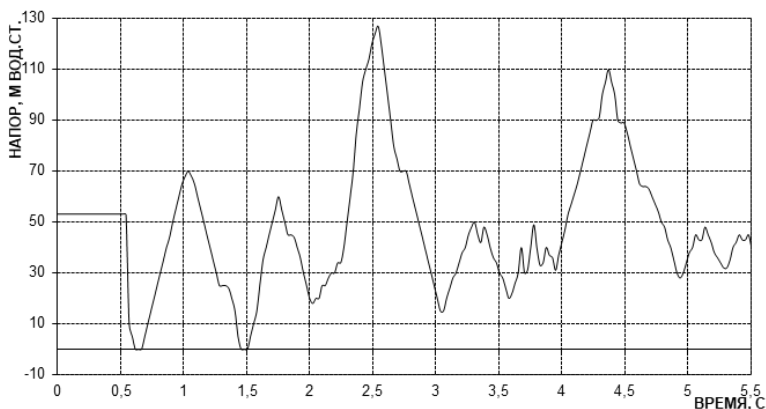


Рис. 1. Диаграммы гидравлического удара с разрывом сплошности потока жидкости, который возникает в месте перелома профиля прокладки трубопровода

Для защиты напорных трубопроводных систем различного назначения от резких изменений давления в настоящее время существует несколько основных способов [1, 9, 10]. Каждый из них имеет различные конструктивные решения.

Поскольку наиболее опасными для напорных трубопроводов, как отмечалось выше, являются гидравлические удары, сопровождающиеся разрывами сплошности потока, то ликвидация мест их образования снижает возможность возникновения значительных повышений давления в напорных системах.

Разрывы сплошности потока при гидравлических ударах могут возникать не только у регулирующего органа, но, например, и в местах перелома профиля магистрали. Поэтому при выборе трассы трубопровода важно избегать или сводить к минимуму количество точек, где соблюдается условие их образования [4, 5, 11].

Заполнение возникающих пустот при разрывах потока можно организовать путем впуска в рассматриваемые точки воздуха или подачи жидкости [1].

Впущенный в места разрыва сплошности потока воздух играет роль амортизатора, смягчает гидравлический удар, поэтому повышенного давления в трубах не возникает. Для впуска и защемления воздуха в ФГУП НИИ ВОДГЕО разработаны специальные устройства, в состав которых входят обратные клапаны на вентиляционных стояках [12, 13].

Вместо обратных клапанов для впуска воздуха при возникновении в трубопроводе понижения давления ниже атмосферного могут применяться воздушно-вакуумные клапаны или комбинированные вантузы [1, 14]. Их универсальность состоит в том, что они могут выполнять роль автоматического клапана для впуска воздуха при образовании в трубах вакуумметрического давления при гидравлических ударах и обеспечивать поступление и выход воздуха в больших количествах при опорожнении-наполнении трубопровода жидкостью, а комбинированные приборы – дополнительно играть роль автоматического вантуза для удаления малых объемов воздуха при эксплуатации в рабочем режиме.

Заполнение разрывов сплошности при гидравлических ударах в трубопроводе жидкостью более эффективно ограничивает повышения давления [1, 9], чем впуск и защемление воздуха, однако оно является более сложным и дорогим. Для хранения жидкости необходимо предусматривать специальные резервуары, которые отделяются от напорного трубопровода обратным клапаном на соединительной линии, поэтому такой вариант защиты сложно использовать в переломных точках профиля трубопровода особенно для систем водоотведения. Однако такой способ применим при вероятности понижения давления ниже атмосферного в трубопроводах в пределах насосных станций, если насосные агрегаты установлены «под залив».

Исследования [1, 15] показывают, что и при впуске воды, и при впуске воздуха ударные напоры могут достигать значительных величин, то есть подобные мероприятия являются в ряде случаев недостаточными для полного снижения повышений давления при гидравлических ударах. В таких случаях необходимо использовать комбинированные варианты защиты, например, сочетая способ ликвидации мест образования разрывов сплошности и расстановку обратных клапанов по длине трубопроводной магистрали [12, 16].

Комбинированная защита трубопровода предполагает расчленение трубопровода по его длине на участки с помощью обратных клапанов и расстановку перед ними (считая по течению воды) клапанов для впуска и заземления воздуха. За счет разбивки трубопроводной магистрали на несколько колонн обратными клапанами уменьшается статический напор, при котором наблюдается наибольший эффект снижения ударного давления впуском и заземлением воздуха. Однако не следует забывать, что сами обратные клапаны, установленные на трубопроводной линии, могут вызывать при закрытии гидравлические удары. В этом случае, чтобы снизить риск возникновения таких ситуаций, рационально применять малоинерционные обратные клапаны либо обратные клапаны с замедленной посадкой тарели [13, 17]. А в местах, где после схлопывания кавитационных полостей давление при гидравлическом ударе превышает допустимое, эффективным способом защиты является сброс части жидкости из трубопровода с использованием противоударных клапанов [1, 18].

Хочется отметить, что на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ФГБОУ ВО ПГУПС уже более 100 лет проводится изучение явления гидравлического удара в различных условиях. Как показывают исследования, последствия таких явлений, сопровождающихся разрывом сплошности потока, имеют более разрушительный характер, как для отдельных частей напорных трубопроводов, так и для всей системы в целом. Для предотвращения таких ситуаций необходимо при проектировании проводить расчеты напорных трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения на гидравлический удар и предусматривать при необходимости защиту рассматриваемых систем от таких явлений, ориентируясь на комбинированные варианты использования различных противоударных устройств.

Библиографический список

1. Дикаревский В.С. Водоводы. Монография: Труды РААСН. Строительные науки. т.3. М.: РААСН, 1997. 200 с.
2. Мошнин Л.Ф., Тимофеева Е.Т. Расчеты гидравлического удара. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1952. 200 с.
3. Берджерон Л. От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети. М. : Машгиз, 1962. 342 с.
4. Смирнов Д.Н., Зубов Л.Б. Гидравлический удар в напорных водоводах. М.: Стройиздат, 1975. 122 с.
5. Капинос О.Г. Методика расчета гидравлического удара в магистральных трубопроводах с учетом профиля прокладки : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб. : ПГУПС, 2001. 23 с.
6. Капинос О.Г., Твардовская Н.В. Исследование гидравлического удара в напорных трубопроводных системах на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов : сб. статей Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 10 декабря 2015 года) / Под ред. В.Г. Иванова. СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС , 2016. С. 165–168.

7. Капинос О. Г. Влияние понижения давления ниже атмосферного на величину ударного давления при гидравлическом ударе / О. Г. Капинос // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов : мат-лы Международной конференции памяти выдающегося ученого, академика РААСН, д.т.н., профессора В. С. Дикаревского. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2011. – С. 105–108.

8. Капинос О.Г., Твардовская Н.В. Возникновение разрывов сплошности потока в напорных трубопроводах систем водоснабжения и водоотведения // Яковлевские чтения : сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. – М. : НИУ МГСУ, 2017. – С. 136-141.

9. Твардовская Н.В. Гидравлический удар в напорных трубопроводах водоотведения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб. : СПбГАСУ, 2005. 24 с.

10. Капинос О.Г., Твардовская Н.В. Противоударная защита напорных трубопроводов с применением обратных клапанов // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2010. Вып. 1 (22). с. 93-104.

11. Колотило Н.И., Стоев М.А. Измерение скорости движения воды при гидравлическом ударе с разрывом сплошности потока в водоводах различного профиля // Автоматизация закрытых оросительных систем: Сб.ст. НИМИ. Новочеркасск, 1975. №2. С. 132-139.

12. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. – М.: Стройиздат, 1961. – 228 с.

13. Мошнин Л.Ф. Обухов Л.А. Руководство к расчету средств защиты водоводов от гидравлического удара.- М.: ВНИИВОДГЕО,1970. – 78 с.

14. Пат. 109521, МПК F16K 17/22, F16L 55/045, B65D 90/32. Устройство для защиты трубопровода от понижения давления ниже атмосферного / Дикаревский В.С., Твардовская Н.В.; Петербургский государственный университет путей сообщения. Заявлено 14.02.2011; Опубл. 20.10.2011. Бюл. № 29.

15. Твардовская Н. В. Защита напорных трубопроводов водоотведения от гидравлических ударов // Изв. Петербург. гос. ун-та путей сообщения. 2005. Вып. 1. С. 167-171.

16. Ашиянц Э.П. Гидравлический удар в нагнетательных водоводах. Ереван: Лимуш, 2010. 210 с.

17. Капинос О.Г., Твардовская Н.В. Последствия гидравлических ударов, сопровождающихся разрывами сплошности потока жидкости // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2011. Вып. 3 (28). с. 167-176.

18. Пат. 41831. Россия, МПК F16L 55/045. Гаситель гидравлических ударов / Дикаревский В.С., Твардовская Н.В.; Петербургский государственный университет путей сообщения. Заявлено 14.07.2004; Опубл. 10.11.2004. Бюл. № 31.

МАЛЫЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ: ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

А.А. Кулаков, к.т.н., доцент Российского технологического университета – МИРЭА

Постановка проблемы

Выбор технологического решения является важным этапом жизненного цикла канализационных очистных сооружений (КОС). При подборе эффективного решения последующая эксплуатация потребует поддержания работоспособности, при выборе неэффективного – потребуются длительная пуско-наладка и скорее всего совершенствование технологии и замена оборудования. Все это выливается в дополнительные экономические издержки, которые перекрывают сэкономленные средства на этапе выбора.

Требования к очищенным сточным водам могут изменяться в широких пределах (табл. 1), но в настоящее время чаще всего для малых КОС устанавливаются на уровне ПДК водных объектов рыбохозяйственной категории. Изменения законодательства в ближайшей перспективе дадут послабление норм для малых сооружений (технологические показатели).

Таблица 1

Требования к качеству очищенных сточных вод

Показатель	Технологические показатели [1], мг/л		ПДК, мг/л	НДС, мг/л
	сверхмалые	малые, небольшие		
ВВ	15	15	3	3 (10...25)
ХПК	80	80	15...30	-
БПК ₅	12	10	3 (по БПК _n)	3 (10...25) (по БПК _n)
Азот аммонийный	8	1,5	0,39	0,39
Азот нитритов	0,25	0,25	0,024	0,024
Азот нитратов	18	12	9,1	9,1
Фосфор фосфатов	5	1 (1,5)	0,2	0,2

К сожалению, на рынке оборудования наблюдается количественное разнообразие, но дефицит качественных решений, позволяющих достичь природоохранных норм. Поэтому выбор решения должен сопровождаться его детальным анализом.

Дополнительную сложность в обеспечении нормативов формируют особенности малых сооружений:

- Пространственная рассредоточенность, удаленность.
- Высокая неравномерность расхода и состава сточных вод.
- Отсутствие достоверной исходной информации.
- Дефицит эффективных технологических решений.
- Кадровый вопрос эксплуатации сооружений.
- Высокая удельная стоимость КОС и себестоимость очистки.

Совокупность приведенных факторов требует принятия индивидуального подхода к проектированию, запуску и последующей эксплуатации малых КОС [2].

Выбор технологических решений

Важным вопросом при выборе технологии является сбор достоверных исходных данных по объекту, в т.ч. расходу и составу сточных вод. В рамках технологического аудита могут быть проанализированы следующие параметры [2, 3]:

- Динамика расходов сточных вод (среднесуточный, максимальный суточный, часовые расходы, пиковый расход, динамика суточного притока).
- Динамика качественного состава поступающих сточных вод (перечень показателей определяется по типу сточных вод).
- Технологические параметры действующих сооружений (доза и состояние биомассы, кислородный режим, дозы реагентов и др.) и возможности их корректировки.
- Состояние существующих сооружений, эффективность очистки сточных вод, возможные направления совершенствования (для действующих сооружений).

При проектировании новых сооружений и отсутствии достоверных данных по составу и объему сточных вод рекомендуется собрать информацию по аналогичным объектам.

При выборе технологических решений для нестандартных сточных вод рекомендуется проводить поверочные расчеты и пилотные испытания с целью поиска оптимального решения для конкретной ситуации и индивидуальных особенностей рассматриваемых сточных вод. Подобный подход позволит сократить экономические и экологические риски и обезопасить от выбора неэффективного решения.

При модернизации действующих сооружений такой подход позволит максимально использовать имеющиеся технологические резервы и сократить затраты на реновацию.

Выбор сооружений следует проводить на основе анализа технологических решений. Основные параметры, на которые рекомендуется обратить внимание при оценке технологии, приведены в табл. 2.

Параметры, требующие учета при выборе технологического решения

Параметр	Проблема	Результат
1	2	3
Соответствие исходных и проектных данных по расходам, концентрациям, нагрузкам	Отличие проектных значений параметров от фактических или требуемых величинам	Недостаточная эффективность очистки
Корректность выбранной технологической схемы	Наличие требуемых технологических узлов (удаление грубодисперсных примесей, биологическая очистка, доочистка (при необходимости), обеззараживание, обработка осадка)	В зависимости от отсутствующего узла, например, выход из строя насосного оборудования при отсутствии решеток
Наличие требуемых технологических рециклов и оборудования	Например, отсутствие рециклов биологической очистки, узла приготовления и дозирования реагентов для обезвоживания осадка	Нарушение технологического процесса, снижение эффективности работы сооружений
Дефицит технологических объемов	Рассчитывается индивидуально (будет рассмотрен ниже в примере: объем биореактора на 3 часа очистки явно недостаточен)	Недостаточная эффективность очистки
Глубина биологических сооружений и узла отделения биомасс	Малая глубина отстойника (при тонкослойном – ниже 1,5-1,7 м)	Сложности отделить биомассу, высокий риск выноса биомассы и взмучивания близко расположенной осадочной зоны
Качество применяемой загрузки для биологических сооружений	Не должна разрушаться, заиливаться и приводить к вторичному загрязнению	Нарушение технологического процесса, снижение эффективности работы сооружений
Резервирование оборудования	Отсутствие резервного насоса или воздуходувки	Риск остановки всей технологической цепочки при неисправности оборудования
Логичность трубопроводной обвязки оборудования	Значительные различия дублирующих систем (например, трубопроводная обвязка насосов, подающих осадок на обезвоживание)	Пример: насос, имевший большую длину трассы и количество поворотов, выдавал производительность в 2 раза меньшую (исправление обвязки решило проблему)

1	2	3
Доступность технологических узлов	Любые сооружения требуют минимальной эксплуатации и достаточного доступа к оборудованию и узлам управления	При отсутствии доступа к узлам есть риск не настроить сооружения

Еще одним потенциальным методом оценки является расчет стоимости жизненного цикла КОС. Это позволяет не только оценить потенциальные издержки на всех этапах жизненного цикла, но и сравнить несколько потенциальных технологических решений и выбрать оптимальное.

Стоимость жизненного цикла включает стоимость разработки, стоимость приобретения, стоимость эксплуатации и стоимость утилизации за вычетом остаточной стоимости составных частей изделия и материалов после утилизации [4].

Выводы

Малые канализационные очистные сооружения – это объекты, находящиеся на удаленных территориях, где наблюдается дефицит кадров, а очистка сопряжена с высокой удельной стоимостью оборудования и себестоимостью очистки. Такие сооружения требуют индивидуального подхода при проектировании и эксплуатации, минимально допустимой эксплуатации, высокой степени надежности и автоматизации.

Все эти факторы важно учитывать на этапе выбора технологических решения и оборудования, что позволяет сократить экономические и экологические риски.

Библиографический список

1. ИТС 10-2019. Информационно-технический справочник. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М.: Бюро НДТ, 2019.
2. Кулаков А.А. Эффективный жизненный цикл малых канализационных очистных сооружений // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2020. № 2. С. 55-64.
3. Кулаков А.А. Очистка сточных вод: выбор эффективного решения // Экология производства. 2021. №3. С.34-45.
4. ГОСТ Р 58302-2018. Номенклатура показателей для оценивания стоимости жизненного цикла изделия.

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Е.М. Микрюкова, ст. преподаватель; **И.А. Николаев**, магистрант 1-го курса «Водоснабжение городов и промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова»

Сегодня в современных городах практически нет возможности проводить реконструкцию существующих наружных сетей открытым способом из-за стесненных условий. Поэтому наиболее актуальной является замена изношенных инженерных коммуникаций бестраншейными методами, что позволяет снизить затраты на ремонт трубопроводов на 10-40% (в зависимости от диаметра) и избежать нарушение благоустройства территорий городов [1, 2].

В современных условиях одной из важных задач планирования восстановления водопроводных сетей на территориях городов России является применение обоснованного научного подхода к выбору первоочередных объектов санации и поиску оптимальных методов ее реализации.

Рассмотрим на примере реконструкцию существующего наружного стального водопровода диаметром 150 мм и длиной 100 м по ул. Мира в Кировском районе г. Екатеринбург.

После детальных диагностических обследований участка трубопровода и заключения технической экспертизы было решено выполнить сравнение трех методов санации трубопровода [5, 6, 7]:

- Санация по технологии "Пайпвей". Напыление на внутреннюю поверхность трубы быстросохнущей эпоксидной смолы.

- "Процесс Феникс". Протягивание бесшовного полимерного рукава в полость трубы, на всю длину ремонтируемого участка с плотной фиксацией его внутренней оболочки к внутренней поверхности трубопровода с помощью специального клеевого состава.

- Санация рукавом из нержавеющей стали (РНС). Протягивание рукава в полость трубы и приклеивание его наружной поверхности к внутренней поверхности трубы, обработанной мастикой.

Рассмотрим основные этапы реконструкции наружного водопровода, при этом I и III этап, являются одинаковыми для всех видов санации.

I этап: Подготовительные работы, которые включают в себя: вскрытие колодца и отключение ремонтируемого участка, демонтаж задвижек, и опорожнение участка, срезку фланца, извлечение отрезанной трубы, и обработку, механическую очистку, первичную, и окончательную телеинспекцию, и гидравлическую очистку.

II этап: Рассмотрим три метода санации трубопровода.

I метод: Санация трубопровода по технологии «Пайпвей».

Защитная смесь SoronNucote169 – это двухкомпонентный материал, отвердевающий под воздействием изоцианата, который применяется когда необходимо обеспечить чрезвычайно быстрый возврат к эксплуатации. Ма-

териал отвердевает при любой температуре, предотвращает появление коррозии, пригоден для восстановления систем питьевого водоснабжения.

Исполнители: слесарь 4р-3чел; оператор 4р-1чел.

Нанесение защитного покрытия SoronHycote 169 по технологии «Пайпвей» осуществляется комплексом оборудования, включающим в себя:

- Систему управления PDACS. Отслеживание 23 рабочих параметров;
- Герметизированные азотной подушкой резервуары для раздельного хранения компонентов;
- Система подогрева компонентов;
- Подающие и дозирующие насосы;
- Лебедка для сматывания шланга;
- Нединамический смеситель и распыляющая головка.

Технология процесса: В стартовом котловане протягивается тростяговая лебедка «BagelaRW-10», со шлангами в ремонтируемый участок. Шланги соединяются со статическим смесителем, установленным за центробежной распыляющей головкой конической формы. Статический смеситель с распыляющей головкой вводится в трубу и при помощи лебедки, установленной в монтажном трейлере, протягивается обратно. При помощи насосов монтажного трейлера «300С» смола и отвердитель нагнетаются в смеситель с распыляющей головкой, вращающейся со скоростью 10000 об/мин.

Дозировочные насосы настраиваются таким образом, чтобы обеспечить оптимальное соотношение смешивания в зависимости от давления подаваемой жидкости. Слежение за работой насосов и управление процессом смешения происходит автоматически, схема нанесения покрытия представлена на рис. 1.

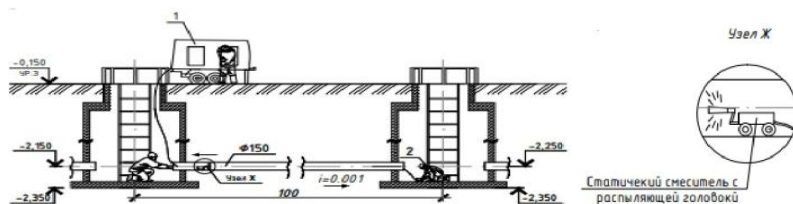


Рис.1. Нанесение покрытия Soran Hycote 169:

1 – мобильное оборудование «300С»; 2 – монтаж и распыление шлангами.

После нанесения и затвердения защитного покрытия при помощи углошлифовальной машины BoshGWS 850CE с универсальным диском (125x2) марки «ЗУБР» удаляют наплыв в стартовом и финишном котловане, образовавшийся после напыления, согласно рис. 2.

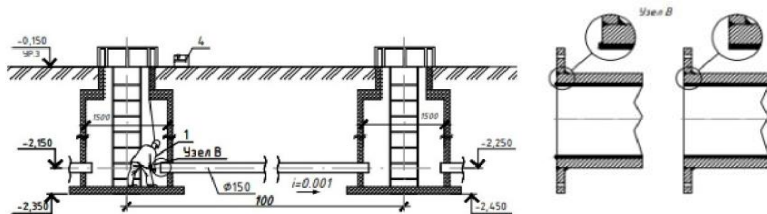


Рис. 2. Удаление напыла:

1 – удаление напыла при помощи УМШ BoshGWS 850CE

Толщина покрытия – 0,5...1,6 мм, время отверждения покрытия – 30 с.

II метод: Санация по методике «Процесс Феникс».

Технология позволяет армировать внутреннюю поверхность трубопроводов специальным рукавом, изготовленным из полиэфирных и нейлоновых нитей, пропитанных полиэтиленом. Данная технология является одной из наиболее эффективных в восстановлении внутренней поверхности изношенных сетей систем водоснабжения, обеспечивая механическую прочность и герметичность восстанавливаемого трубопровода.

Исполнители: слесарь 4р-4чел; машинист 4р-1.

Санация трубопровода по методике «Процесс Феникс» осуществляется комплектом оборудования на базе Hyundai HD78 Long, включающим в себя:

- 3-х фазный генератор 12 кВт и компрессорную станцию производительностью 800 л/мин;
- Рабочую мебель и приспособления (шкафы, полки, стол, ролики, тара для смешивания смолы и т.п.);
- Реверсивный барабан.

Технология процесса: Первый этап, это перемешивание в специальной таре двухкомпонентной эпоксидной смолы и заправка ее в подготовленный, отрезанный рукав длиной 115 м. После этого рукав протягивается между роликами для равномерного распределения смолы в материале рукава.

Один конец рукава крепится к ленте и с ее помощью наматывается на барабан машины выворачивания. Другой конец рукава крепится к фланцу на выворачивающей машине. Таким образом, получается закрытое пространство, внутри которого располагается рукав в намотанном виде.

В пространство подается давление воздуха, в результате чего рукав выворачивается наизнанку и снаружи появляется пропитанная смолой сторона.

После этого рукав вводится в санируемый трубопровод. После прохождения рукава, для ускорения затвердения эпоксидной смолы вовнутрь рукава вводится горячий водяной пар через заранее смонтированные иглы, согласно рис. 3.

Заключительным этапом является срезка рукава в стартовом и финишном котловане при помощи углошлифовальной машины BoshGWS 850CE с универсальным диском (125x2) марки «ЗУБР», согласно рис. 4.

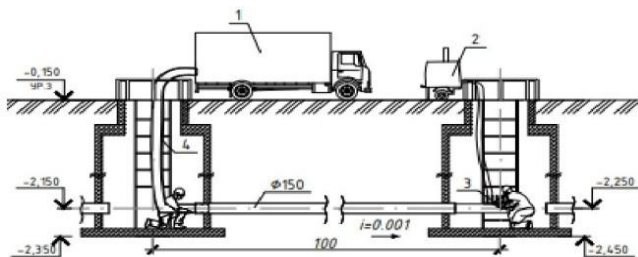


Рис. 3. Процесс «Феникс»:

1 – мобильное оборудование Hyundai HD78 Long; 2 – парогенератор Power Steam-m;
3 – монтаж игл; 4 – полиэтиленовая пленка

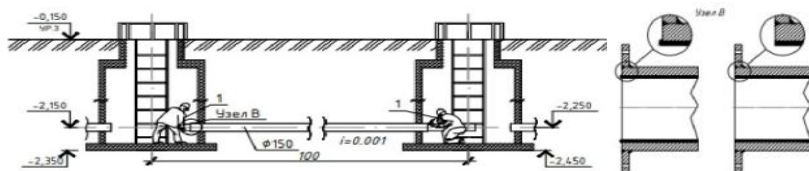


Рис. 4. Срезка рукава:

1 –срезка рукава при помощи УМШ BoshGWS 850CE

Продолжительность этапов затвердевания клеевого состава должна составлять не менее пяти часов при температуре пара 105 °С, а продолжительность фазы охлаждения не должна превышать шести часов при температуре 50°С.

III метод: Санация рукавом из нержавеющей стали (PNC).

Исполнители: слесарь 4р-3чел; машинист 4р-1.

Технология процесса: Поставка рукава из нержавеющей стали (PNC) (в виде фольги толщиной 0,2-0,25 мм) осуществляется на компактных катушках в виде сваренной по краям двухслойной ленты с наружным покрытием из специального термоплавкого клеевого состава толщиной 2-3 мм и ворсистого синтетического материала.

Первым этапом являются нанесение на внутреннюю поверхность трубопровода тонкого слоя мастики марки «Праймер», путем его распыления, согласно рис. 1. Затем осуществляют протягивание рукава, закрепленного к рабочему канату тяговой лебедки BagelaRW-100, при помощи зажима, в восстанавливаемый трубопровод. Протягивание рукава осуществляется из стартового колодца в финишный, с помощью лебёдки. Непосредственно перед операцией протягивания рукава ему придают U-образный профиль с помощью формирующего устройства, согласно рис. 5.

При достижении торцом рукава финишного колодца и установки там герметизирующего зажима (штуцера) и стальной заглушки в стартовом колодце подключают компрессор и раздувают рукав сжатым воздухом при давлении 0,2 мПа, согласно рис. 6.

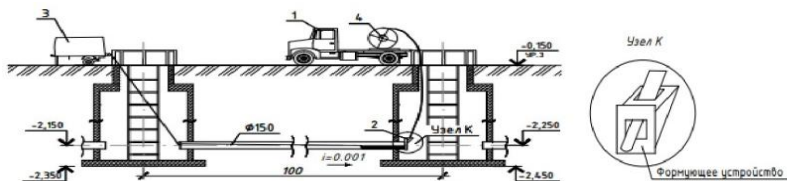


Рис. 5. Протаскивание рукава через формирующее устройство:
 1 – машина ГАЗ 3307; 2 – формирующее устройство;
 3 – тяговая лебедка BagelaRW-100

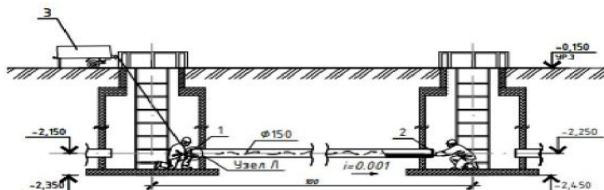


Рис. 6. Раздув рукава:
 1 – штуцер конический; 2 – заглушка стальная; 3 – компрессор передвижной Chicago Pneumatic

В результате данной операции сплюснутый рукав распрямляется и плотно прилегает к внутренней поверхности восстанавливаемого трубопровода. Следующим этапом технологии является приклеивание рукава к стенке восстанавливаемой трубы. Эта операция производится с помощью автоматически продвигающегося внутри рукава со скоростью 0,5-1,0 м/мин расширяющего дорна с газовой горелкой, обеспечивающей температуру в месте контакта около 180 °С, согласно рис. 7.

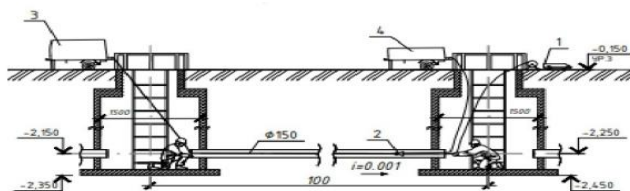


Рис. 7. Приклеивание рукава:
 1 – газовый баллон; 2 – горелка с дорном; 3 – тяговая лебедка BagelaRW-100;
 4 – компрессор передвижной Chicago Pneumatic

Последним этапом работы является срезка рукава углошлифовальной машиной BoshGWS 850CE с абразивным диском марки «Inforce», согласно рис. 4.

III этап: Завещающие работы, которые включают в себя: промывку отремонтированного трубопровода, гидравлические испытания, дезинфекцию, приварку фланца и монтаж задвижек.

Исходя из нормативных документов выполним сравнение затрат труда для каждого метода санации трубопровода. Затраты труда рабочих на 100 м saniруемого трубопровода составляют [3, 4]:

I метод: Санация трубопровода по технологии «Пайпвей» – 32,5 чел/час.

II метод: Санация по методике «Процесс Феникс» – 264,23 чел/час.

III метод: Санация рукавом из нержавеющей стали (PNC) - 248,52 чел/час.

В I методе затраты труда рабочих сокращаются за счет быстрого отверждения покрытия – 30 сек.

На основании выше изложенного выполняем сравнение вариантов санации наружного водопровода, которые приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение вариантов санации наружного водопровода

Методы санации	Преимущества	Недостатки
1	2	3
Санация по технологии «Пайпвей»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нет вероятности попадания воды в межтрубное пространство. 2. Время отверждения нанесенного покрытия составляет 30 секунд. 3. Отсутствие необходимости тщательной очистки трубопроводов. 4. Оборудование позволяют за одну проходку проводить восстановление стальных трубопроводов длиной до 175 м. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие изгибов с углом больше 22,5 создает проблемы для оборудования 2. Ухудшение качества транспортируемой питьевой воды.
Санация по технологии «Процесс Феникс»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность прохождения изгибов трубопровода до 45°-60°. 2. Отсутствие возможности повреждения чулка о стенки ремонтируемого канала. 3. Отсутствие линейной деформации чулка. 4. Имеет достаточную несущую способность, при наличии одной или нескольких продольных трещин. 5. Оборудование позволяют за одну проходку проводить восстановление стальных трубопроводов длиной до 100 м. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая стоимость материалов и смолы. 2. Необходимость тщательной очистки трубопроводов. 3. Санация проводится при температуре наружного воздуха не ниже 0 °С. 4. Для предотвращения застревания рукава на поворотах и образования на нём складок угол поворота трубопровода должен быть не более 15°.

1	2	3
<p>Санация рукавом из нержавеющей стали (РНС)</p>	<p>1. Нержавеющая сталь обеспечивает высокое качество транспортируемой питьевой воды, полностью исключая коррозионные процессы на внутренней поверхности трубы.</p> <p>2. Относительно дешевая стоимость материалов.</p> <p>3. Использование простых механизмов для производства работ.</p> <p>4. Возможность проведения восстановительных работ при любых, в том числе, низких температурах окружающего воздуха и при практически полном износе трубопровода.</p> <p>5. Срок службы трубопровода увеличивается до 80 и более лет.</p> <p>6. Оборудование позволяют за одну проходку проводить восстановление стальных трубопроводов длиной до 200 м.</p>	<p>1. Ограниченная эластичность рукава, что может привести к образованию складок в изгибах трубопровода.</p> <p>2. Допустимый изгиб восстанавливаемых труб не должен превышать 30°.</p>

Рассмотрев достоинства и недостатки, а также сравнив затраты труда для каждого метода санации трубопровода, наиболее подходящим вариантом является санация рукавом из нержавеющей стали (РНС), так как данный метод восстановления трубопровода обеспечивает высокое качество транспортируемой питьевой воды, в отличие от других методов, что является определяющим фактором выбора для санации наружного водопровода. Поэтому было предложено реконструировать существующий наружный стальной водопровод диаметром 150 мм и длиной 100 м по ул. Мира в Кировском районе г. Екатеринбург III методом – санация рукавом из нержавеющей стали (РНС).

Библиографический список

1. СП 42.13330.2016 – Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
2. СП 31.13330.2012 – Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*.
3. Территориальные сметные нормативы для Москвы. Глава № 6 «Ремонтно-строительные работы». Сборник № 66 «Наружные инженерные сети».
4. Методические рекомендации по нормированию труда на работы по ремонту оборудованию водопроводно-канализационного хозяйства. М.: 2016.

5. Орлов В.А. Стратегия восстановления водопроводных и водоотводящих сетей. М.: АСВ, 2001. – 95 с.
6. Рыбаков А.П. Основы бестраншейных технологий. М.: Пресс-Бюро, 2005. – 304 с.
7. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов. М.: Прима-Пресс-М, 2003. – 285 с.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В СИСТЕМАХ ГРУППОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

М.В. Мороз, аспирант, ФГБОУ ВО ИРНИТУ

Автомобильный транспорт по перевозкам грузов занимает лидирующее положение во всем мире, составляя 68% от всех других видов транспорта. В сфере коммунальных услуг по обеспечению населения водой и отведения сточной жидкости автомобильный транспорт применяется давно, практически с момента появления автомобилей. В настоящее время во всех небольших населенных пунктах, где нет централизованных трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения, используется автомобильный транспорт, но его доля очень маленькая по сравнению с трубопроводным транспортом и поэтому в статистических данных даже не учитывается. Вместе с тем, автомобильный транспорт, по сравнению с трубопроводным, имеет ряд преимуществ, а именно: не требует значительных капиталовложений в организации, обладает мобильностью и управляемостью как в развитии, так и при консервации.

Но не всегда применение этого вида транспорта бывает экономически оправданным. Так же, как и строительство групповых трубопроводов для малых и отдаленных населенных пунктов. Построенная в России в 60-ых годах прошлого века система групповых водопроводов (некоторые из которых имеют протяженность более тыс. км с десятками подкачивающих насосных станций и мощностью 100 тыс. м³ в сут.) сейчас загружена всего на 50-60% по причине уменьшения водопотребления и миграции сельского населения в города. При этом системы находятся в работоспособном состоянии, но требуют консервации, или демонтажа, а это тоже значительные затраты. В сложившейся ситуации применение автомобильного транспорта может быть эффективным решением данной проблемы.

В настоящий момент при проектировании для поиска оптимального варианта строительства, развития и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения (СВВ) выполняется сравнительный анализ различных характеристик этих вариантов. Основные технологические параметры проектируемых систем СВВ учитываются через их стоимость в критерии оптимизации, на основе которого и выбирается лучший вариант для последующего строительства и эксплуатации СВВ.

Утвержденным критерием выбора предпочтительного варианта системы водоснабжения и водоотведения является затраты жизненного цикла [1]. Следует отметить, что в затратах жизненного цикла (ЗЖЦ) для оборудования с меньшим сроком службы единовременные капиталовложения увеличиваются на коэффициент кратности в отношении к оборудованию с наибольшим сроком службы. Например, при жизненном цикле в 50 лет и сроке службы автомобиля в 8 лет, его придется менять 6,26 раз. Тоже самое относится и к другим элементам СВВ. При постоянных эксплуатационных расходах затраты жизненного цикла можно представить следующим образом:

$$\text{ЗЖЦ} = R_1^0 \cdot T_1^0 \cdot \prod_{i=1}^n K_1^y \cdot KP_1^y + R_2^0 \cdot T_2^0 \cdot \prod_{i=1}^n (C_i^{\text{экс}} + C_i^{\text{аб}}), \quad (1)$$

где $R_1^0 = \frac{T}{t=t_1} \frac{1}{(1+r)^t}$, $R_2^0 = \frac{T}{t=t_2} \frac{1}{(1+r)^t}$, R_1^0, R_2^0 – коэффициенты дисконтирования капиталовложений и эксплуатационных затрат; T_1^0 – срок службы основного фонда систем водоснабжения и водоотведения; n – количество расчетных участков системы водоснабжения и водоотведения ($i=1, \dots, n$); K_1^y – капиталовложения, равные единовременным затратам по каждому участку сети; KP_1^y – коэффициент кратности капиталовложений (равный отношению расчетного срока службы системы к сроку службе конкретного элемента системы, чей срок жизни меньше расчетного); T_2^0 – интервал времени в годах, на котором определяются эксплуатационные затраты; $C_i^{\text{экс}}$ – текущие годовые эксплуатационные затраты; $C_i^{\text{аб}}$ – затраты на ликвидацию аварийных ситуаций по каждому расчетному участку системы водоснабжения и водоотведения.

Капиталовложения в системы водоснабжения и водоотведения для технико-экономических расчетов можно определять на основании [4]. В работе рассматривались трубопроводы из полиэтиленовых труб, для которых были определены зависимости капиталовложений от диаметров, при разработке грунта на глубину 3 м (что характерно для Иркутской области). В результате расчетов получены следующие зависимости для разработки различных грунтов:

$$K = (50246 \cdot d^2 - 10277 \cdot d + 5363,6) \cdot L, \quad (2)$$

$$K = (50939 \cdot d^2 - 9484,7 \cdot d + 7360,2) \cdot L, \quad (3)$$

$$K = (51356 \cdot d^2 - 8459,5 \cdot d + 6091,1) \cdot L, \quad (4)$$

$$K = (52826 \cdot d^2 - 8385,3 \cdot d + 8344) \cdot L. \quad (5)$$

где K – капиталовложения, в тыс. руб., d – диаметр, в м., L – длина трубопровода в км.

Учитывая, что $d = \frac{4x}{\pi \cdot v}$, где v – скорость в м/с, x – расход воды на трубопроводном участке сети, в м³/с, получим зависимости капиталовложений от расходов и скорости:

$$K = (63812,42 \cdot x \cdot v^{-1} - 11613,01 \cdot x^{0,5} \cdot v^{-0,5} + 5363,6) \quad (6)$$

$$K = (64692,53 \cdot x \cdot v^{-1} - 10717,71 \cdot x^{0,5} \cdot v^{-0,5} + 7360,2) \cdot L \quad (7)$$

$$K = (65222,12 \cdot x \cdot v^{-1} - 9559,24 \cdot x^{0,5} \cdot v^{-0,5} + 6091,1) \cdot L \quad (8)$$

$$K = (67089,02 \cdot x \cdot v^{-1} - 9475,40 \cdot x^{0,5} \cdot v^{-0,5} + 8344,1) \cdot L \quad (9)$$

Принимая расход в л/сек, капиталовложения (6) можно представить как функцию расходов и скорости потока:

$$K = (63,81 \cdot x \cdot v^{-1} - 366,9 \cdot x^{0.5} \cdot v^{-0.5} + 5363.6) \cdot L \quad (10)$$

На основании проведенных исследований [4-10] были получены зависимости оптимальных скоростей от расходов воды и удельной стоимости электроэнергии, которые представлены следующей формулой:

$$v = \frac{0,75 \cdot x^{0.2}}{z^{0.287}} \quad (11)$$

где x – расход в л/с, z – стоимость электроэнергии в руб.

Подставим в выражение (11) вместо скорости v , например в (10), получим:

$$K = (85,08 \cdot z^{0.287} \cdot x_i^{0.8} - 423,66 \cdot x_i^{0.4} \cdot z^{0.143} + 5363.6) \cdot L_i \quad (12)$$

Учитывая, что НПС-81-02-14-2020 получены для г. Москвы, применяем переходные коэффициенты для Иркутской области (1,06 +1,02) и, учитывая сейсмичность района строительства (коэффициент 1,01), а также стесненные условия (коэффициент 1,09) получим:

$$K = 1.18 \cdot (85,08 \cdot z^{0.287} \cdot x_i^{0.8} - 423,66 \cdot x_i^{0.4} \cdot z^{0.143} + 5363.6) \cdot L_i \quad (13)$$

Затраты на эксплуатацию систем водоснабжения \mathcal{E}_z (тыс. руб./год) определяются следующим образом:

$$\mathcal{E}_z = C_{ам} + C_{к.р.} + C_{т.р.} + C_{элк} + C_{ФОТ} + C_{св} + C_{н.в.} + C_{пр} \quad (14)$$

где $C_{ам}$ – амортизационные отчисления; $C_{к.р.}$ – затраты на капитальный ремонт, р./год; $C_{т.р.}$ – затраты на текущий ремонт, р./год; $C_{элк}$ – стоимость электроэнергии, тыс. руб./год:

$$C_{элк} = 108 \cdot z_{элк} \cdot H \cdot x \quad (15)$$

где $z_{элк}$ – удельная стоимость электроэнергии (руб. за кВт час), x – расход транспортируемой воды ($\text{м}^3/\text{с}$), H – напор насосной станции (м. в. ст.).

Фонд оплаты труда и страховые взносы, составляют:

$$C_{ФОТ} = 1,5 \cdot 12 \cdot 3П_{ср} \cdot Ч_{ср} \quad (16)$$

где $3П_{ср}$ – средняя заработная плата в месяц по предприятию, тыс. руб.; $Ч_{ср}$ – средняя численность предприятия, обслуживающего системы водоснабжения и водоотведения, определяется по [3] и, для водопроводных сетей (контроль, обслуживание, ремонт), составляет:

$$Ч_{\text{ср}} = 0,45 \cdot L_i^{0,83} \quad (17)$$

$C_{\text{св}}$ – страховые взносов ($0,30 \cdot C_{\text{ФОТ}}$), в том числе в пенсионный фонд, фонда социального страхования и фонда медицинского страхования; Взносы за травматизм и НДФЛ-13%.

$C_{\text{н.в}}$ – налог на воду (тыс. руб./год) определяется:

$$C_{\text{н.в}} = 31536 \cdot C_{\text{н.ст}} \cdot x \quad (18)$$

где $C_{\text{н.ст}}$ – налоговая ставка в рублях за 1 м^3 воды, забираемой из поверхностных и подземных источников, (в г. Иркутске в 2020 г эта ставка составляет 0,162 рублей за 1 м^3); $C_{\text{пр}}$ – прочие расходы, тыс. руб. /год, принимаются в размере 20 % от суммы амортизационных отчислений ($C_{\text{ам}}$) и затрат на заработную плату обслуживающего персонала ($C_{\text{ФОТ}}$),

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot (C_{\text{ам}} + C_{\text{ФОТ}}) \quad (19)$$

С учетом (15)–(18) эксплуатационные затраты можно представить следующим образом:

$$\mathcal{E}_3 = 0,116 \cdot K_i + C_{\text{эл}} + 5,1 \cdot x_i + 81 \cdot L_i^{0,83} \cdot 3П_{\text{ср}} \quad (20)$$

где x_i – расход транспортируемой воды в л/сек

Аналогичным образом получены зависимости для систем водоотведения:

$$v = \frac{0,65 \cdot x^{0,19}}{z^{0,3}} \quad (21)$$

$$K = (43,27 \cdot x^{0,81} \cdot z^{0,3} - 119,2 \cdot x^{0,405} \cdot z^{0,15} + 5147,3) \cdot L \quad (22)$$

Так как напорные системы канализации проектируются более чем в две нитки, то для них применяется повышающий коэффициент удорожания – 1,89. В итоге капиталовложения будут соответствовать следующей формуле:

$$K = 1,96 \cdot (43,27 \cdot \frac{x_i}{n}^{0,81} \cdot z^{0,3} - 119,2 \cdot \frac{x_i}{n}^{0,405} \cdot z^{0,15} + 5147,3) \cdot L, \quad (23)$$

где n – количество ниток в напорной канализации.

Затраты электроэнергии будут равны:

$$C_{\text{элк}} = 108 \cdot z_{\text{элк}} \cdot \left(\frac{0,018 \cdot L_i \cdot x_i}{z^{0,72}} + p_i \cdot x_i \right) \quad (24)$$

Эксплуатационные затраты:

$$\Xi_{zi} = 0,116 \cdot K_i + C_{эл} + 144 \cdot L_i^{0,83} \cdot 3П_{ср} \quad (25)$$

При использовании автомобильного транспорта можно получить подобные зависимости капиталовложений и эксплуатационных затрат, как функции от транспортируемых объемов воды и сточных вод

Капиталовложения в организацию автомобильного транспорта можно представить следующим образом:

$$K_i^{авт} = \frac{0,3 \cdot x_i \cdot (50 + 2 \cdot L_i) \cdot (C_i^{авт} + C_i^{гараж})}{V_i^{авт} \cdot C_i^{см}} \quad (26)$$

где $K_i^{авт}$ – единовременные капиталовложения в организацию автомобильного транспорта, тыс. руб.; x_i – объемы транспортируемой воды, л/с; L_i – длина маршрута в км, $C_i^{авт}$ – стоимости одного автомобиля, тыс. руб., $C_i^{гараж}$ – стоимость гаражей в расчете на один автомобиль, тыс. руб.; $V_i^{авт}$ – объем автоцистерны, м³; $C_i^{см}$ – количество смен работы автотранспорта в сутках (1, 2, 3).

Годовые эксплуатационные затраты:

$$C_i^{экс} = 3_{топливо} + 3_i^{авт} + A_{авт} + P_{авт} + 3_{зап} + 5,1 \cdot x_i \quad (27)$$

Затраты на топливо, тыс. руб. в год

$$3_{топливо} = \frac{15,77 \cdot x_i \cdot L_i \cdot C_{литр}}{V_i^{авт}} \quad (28)$$

где $C_{литр}$ – стоимость одного литра топлива, в руб.

Зарплата, тыс. руб.:

$$3_i^{авт} = \frac{10,8 \cdot x_i \cdot (50 + 2 \cdot L_i) \cdot 3_i \cdot C_i^{см}}{V_i^{авт}}, \quad (29)$$

где 3_i – средняя месячная заработная плата по предприятию, тыс. руб.

Амортизация, тыс. руб. в год:

$$A_{авт} = \frac{K_{авт}}{8} \quad (30)$$

где $K_{авт} = \frac{0,3 \cdot x_i \cdot (50 + 2 \cdot L_i) \cdot C_i^{авт}}{V_i^{авт} \cdot C_i^{см}}$

Ремонтный фонд:

$$P_{рем} = 0,055 \cdot K_{рем} \quad (31)$$

Запчасти:

$$Z_{\text{зап}} = \frac{555 \cdot x_i \cdot L_i}{V_i^{\text{авт}}} \quad (32)$$

На основании [2] и [3] были определены капиталовложения и эксплуатационные затраты в ВОС, КОС, насосные станции. С учетом этих зависимостей:

– для систем водоснабжения

$$K_i = K_{\text{НС}} + 2,07 \cdot (85,08 \cdot z^{0.287} \cdot (x_i \ n)^{0.8} - 423,66 \cdot (x_i \ n)^{0.4} \cdot z^{0.143} + 5363,6) \cdot L_i \quad (33)$$

$$\mathcal{E}_{zi} = \mathcal{E}_{\text{НС}} + 0,116 \cdot K_i + C_{\text{элк}} + 5,1 \cdot x_i + 144 \cdot L_i^{0.83} \cdot 3\text{П}_{\text{ср}} \quad (34)$$

$$C_{\text{элк}} = 108 \cdot z_{\text{элк}} \cdot \left(\frac{0,03 \cdot L_i \cdot (x_i \ n)^{0.86}}{z^{0.7}} + p_i \cdot x_i \right) \quad (35)$$

$$K_{\text{НС}} = 620,72 \cdot x + 20517 \quad (36)$$

$$\mathcal{E}_{\text{НС}} = 0,116 \cdot K_{\text{НС}} + (0,02 \cdot x + 73,2) \cdot 3\text{П}_{\text{ср}} \quad (37)$$

– для систем водоотведения

$$K_i = K_{\text{КНС}} + 1,96 \cdot (43,27 \cdot z^{0.3} \cdot (x_i \ n)^{0.81} - 119,2 \cdot (x_i \ n)^{0.405} \cdot z^{0.15} + 5147,3) \cdot L_i \quad (38)$$

$$\mathcal{E}_{zi} = \mathcal{E}_{\text{НС}} + 0,116 \cdot K_i + C_{\text{элк}} + 144 \cdot L_i^{0.83} \cdot 3\text{П}_{\text{ср}} \quad (39)$$

$$C_{\text{элк}} = 108 \cdot z_{\text{элк}} \cdot \left(\frac{0,018 \cdot L_i \cdot x_i \ n^{0.837}}{z^{0.72}} + p_i \cdot x_i \right) \quad (40)$$

$$K_{\text{КНС}} = 1211,4 \cdot x + 18789 \quad (41)$$

$$\mathcal{E}_{\text{НС}} = 0,116 \cdot K_{\text{НС}} + (0,02 \cdot x + 73,2) \cdot 3\text{П}_{\text{ср}} \quad (42)$$

Полученные зависимости затрат жизненного цикла для трубопроводных систем и автомобильного транспорта представим графически для различных расходов и различных расстояний транспортировки (рис. 1-3). Как видно из этих рисунков функции затрат жизненного цикла автомобильного транспорта имеют точки пересечения с затратами жизненного цикла трубопроводного транспорта. Следовательно, до точек пересечения и соответствующим им значениям объемов воды (стоков), всегда будет экономически выгодным использовать автомобильный транспорт, а для больших объ-

емов воды (стоков) – трубопроводный транспорт. В табл. 1 приведены конкретные значения областей использования автомобильного транспорта применительно к территории Иркутской области.

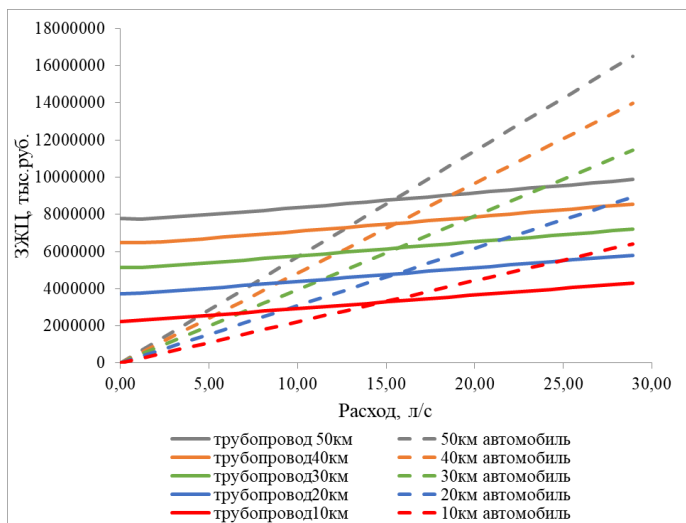


Рис. 1. Совместные функции ЗЖЦ по сетям водоснабжения и автомобильного транспорта питьевой воды

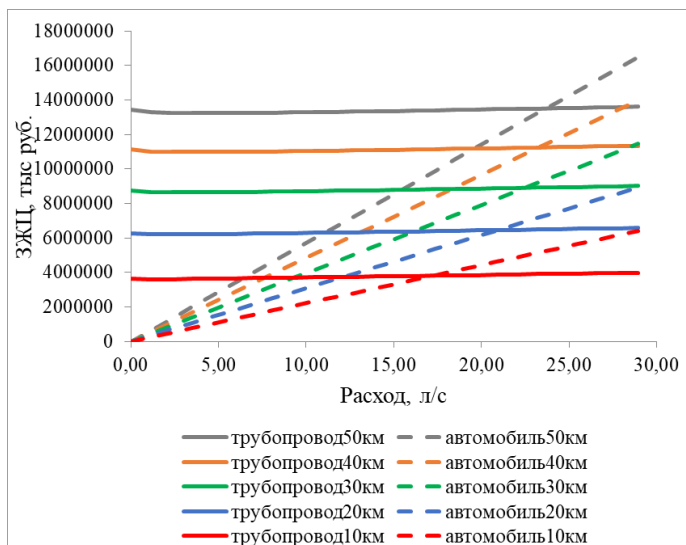


Рис. 2. Совместные функции ЗЖЦ транспортировки питьевой воды по водоводам и в цистернах автомобильного транспорта

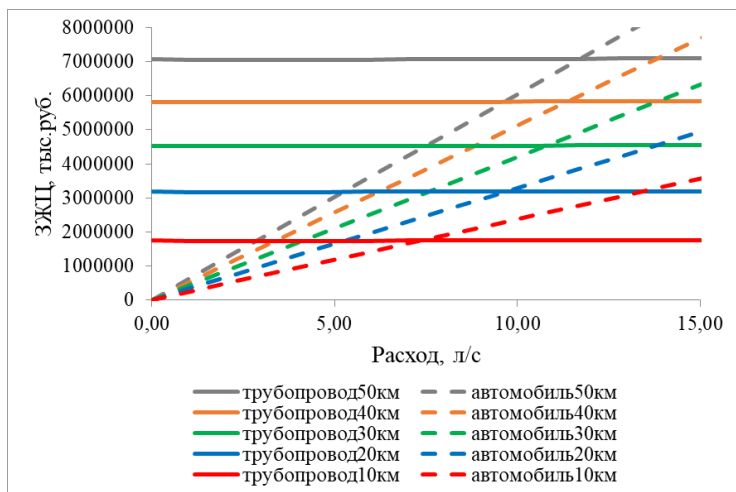


Рис. 3. Совместные функции ЗЖЦ транспортировки сточных вод безнапорными трубопроводами и в цистернах автомобильного транспорта

Таблица 1

Области применения автомобильного транспорта

Длина трассы, L, км	Точки пересечения графиков автомобильного и трубопроводного транспорта при расходе, л/сек			
	Водопровод	Водоводы	Напорная канализация	Безнапорная канализация
10	0-15	0-17	0-15	0-7,3
20	0-15,5	0-21	0-18,5	0-9,7
30	0-15,5	0-22,5	0-20,3	0-10,8
40	0-15,5	0-23,3	0-21,3	0-11,4
50	0-15,5	0-23,8	0-21,8	0-11,7

Таким образом, разработана методика, которая позволяет обосновать области применения автомобильного транспорта для различных регионов нашей страны в зависимости от дальности транспортировки воды и стоков, стоимости электроэнергии, сложности прокладки трубопроводов и др. факторов.

Библиографический список

1. ГОСТ 58785-2019. Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. М.: Стандартинформ, 2020. 18 с.

2. Укрупненные нормативы цены строительства НЦС 81-02-14-2020 Сборник N 14. Наружные сети водоснабжения и канализации (Докипедия: Укрупненные нормативы цены строительства НЦС 81-02-14-2020 Сборник N 14. Наружные сети водоснабжения и канализации (приложение к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2019 г. N 918/пр)).

3. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 23 марта 2020 г. N 154/пр "Об утверждении Типовых отраслевых норм численности работников водопроводно-канализационного хозяйства".

4. Чупин В.Р., Фам Н.М., Чупин Р.В. Оптимизация структуры и параметров районных систем водоснабжения с учетом трубопроводного и автомобильного транспорта воды // Известия ВУЗов: Строительство. 2019. №2. С 48-57.

5. Chupin R.V., N.M. Pham, Gorkov E.A., Moroz M.V. Indicative and adaptive management of the development of sewerage system / R.V. Chupin, N.M. Pham, E.A. Gorkov, M.V. Moroz // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Том 8. № 2. С.94-107.

6. Чупин Р.В., Фам, Н.М. Оптимизация структуры и параметров развивающихся систем группового водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 1. С.30-37.

7. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Pressure-Flow and Free-Flow Discharge Models in Closed-Loop Sewage Systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 262. 2017.

8. Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R. Optimization of development schemes for group water supply systems under uncertainty of prospective water consumption // E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems 2019. Volume 102 (2019).

9. Чупин Р.В. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения: Монография / Р.В. Чупин, Е.С. Мелехов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. 323 с.

10. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: Монография / Р.В. Чупин. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 418 с.

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ НА СИСТЕМУ ВОДООТВЕДЕНИЯ ГОРОДОВ

И.И. Павлинова, проф., д.т.н., АО «МосводоканалНИИпроект»; **В.А. Смирнова**, магистрант, НИУ МГСУ

В процессе эксплуатации систем водоотведения все большее значение приобретает фактор надежной и долговечной работы звеньев общей технологической цепи.

Как известно, трубопроводы системы водоотведения изготавливаются из таких материалов как: чугун, бетон, железобетон, пластмасса.

Сооружения по очистке сточных вод – это резервуары из железобетона, состоящие из бетона и металлоконструкций. И все они подвержены коррозии.

Процессы коррозии в строительных материалах происходят в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой, с грунтовыми водами и воздухом.

При действии на железобетонные и металлические конструкции агрессивной жидкой или газообразной внешней среды в них возникают процессы коррозии, развитие которых может вызвать значительные повреждения и нарушить бесперебойную работу системы водоотведения. Процессы коррозии могут протекать в бетоне, арматуре и металлоконструкциях [1].

Нагрузки гравитационного и технологического типа, воздействия температурно-влажностного характера, неблагоприятные коррозионные условия – все это принимают на себя эксплуатируемые конструкции сооружений из железобетона, металлоконструкции, приборные элементы.

Агрессивные среды классифицируют по физическому состоянию на твердые, жидкие и газообразные. Коррозионные процессы в твердой и газообразной средах протекают только в присутствии жидкой фазы. Состав промышленных агрессивных сред зависит от материалов, применяемых в технологическом процессе [2].

Строительные материалы подвергаются множеству более или менее интенсивных и продолжительных синергических воздействий.

АО «МосводоканалНИИпроект» проводил работы по оценке влияния состава газообразной среды на сооружения по очистке сточных вод, оборудованными перекрытиями для ограничения эмиссии неприятных запахов, на долговечность железобетонных конструкций, которые предполагают работы по оценке коррозии бетонов и металлоконструкций.

В связи с большим разнообразием свойств агрессивных сред и процессов, происходящих в системе железобетон-вода, на границе фаз жидкость – газ, металл – жидкость и т.д. возникла необходимость в изучении условий эксплуатации сооружений, конструкций и приборов, испытывающих воздействие реакционно-активных жидкостей, газов и микроорганизмов, для минимизации процессов коррозии и разрушения.

При рассмотрении влияния газов и микроорганизмов на процесс коррозии были испытаны образцы бетонных строительных конструкций. Для оценки действия среды на коррозию материалов проводили исследования при изменении pH среды и количества ионов Ca^{2+} и Si^{2+} .

При исследовании пористости образцов было установлено, что геометрия сети пор не позволяет микроорганизмам проникнуть в поры [3].

В ходе культивирования тиосульф-восстанавливающие бактерии (ТСВБ) было установлено, что их присутствие не изменяют pH питательных сред. На поверхность бетонных образцов оказывают влияние ТСВБ, что необходимо учитывать в процессе прогнозирования развития процессов коррозии строительных материалов.

В ходе исследований было установлено, что на процесс развития коррозионных процессов в бетонных и железобетонных образцах основное влияние оказывают сульфат-восстанавливающие бактерии (СВБ). Микробная активность СВБ позволяет осуществить кристаллизацию доломита при увеличении pH и карбонатной щелочности среды. Значения pH находятся в диапазоне 7,7-9,2, что соответствует уровню pH измеренного в средах ТСВБ. С растворением части карбоната кальция связана карбонатная щелочность среды.

Таким образом, сульфат-восстанавливающие бактерии оказывают влияние на pH жидкой фазы, участвующей в процессе исследований и могут окислять среды, в которых они развиваются.

Экспериментальные исследования показали, что сульфат-окисляющие бактерии, развивающиеся в грунтовых водах могут создавать более агрессивные среды для цементных материалов и служить причиной коррозии, а в дальнейшем и нарушении надежности эксплуатации сооружений.

Сульфат-восстанавливающие бактерии при отсутствии кислорода сокращают составляющие серы (сульфаты), содержащиеся в сточных водах, переводя их в сероводород (H_2S). При значениях pH = 5-6 воды H_2S становится преобладающей серосодержащей формой.

Бактериальную колонизацию поверхности ингибирует при щелочности бетона pH = 12-13. Присутствие углекислого газа ведет к коксованию бетона, которое сопровождается понижением до pH = 9,5 его поверхности, допуская ее зарастание нейтрофильными сульфо-окисляющими, главным образом химиолитотрофными, бактериями [4, 5].

При оценке коррозии металлоконструкций использовались рекомендации разработанные ЦНИИПроектСтальКонструкция им. Мельникова («Рекомендации по обследованию стальных конструкций производственных зданий» Москва 1988 г.) и заключения специализированных организаций.

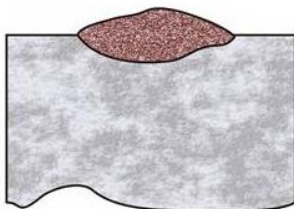
При оценке технического состояния стальных конструкций, пораженных коррозией, в ходе исследований определяли вид коррозии и ее качественную и количественную характеристики.

Различают следующие основные виды коррозии стальных конструкций.

Разрушение металла, равномерно распределяющегося по всей поверхности исследуемого материала и появлением отдельных пятен, которые характеризуют наиболее глубокое проникновение коррозии в исследуемый элемент, называют сплошной коррозией.

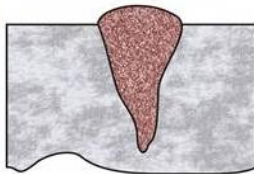


Сплошная коррозия



Коррозия пятнами

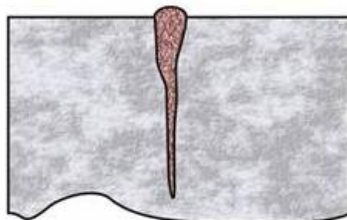
Появления на поверхности металла отдельных или множественных повреждений, с глубинными разрушениями разрушением является язвенной коррозией.



Язвенная коррозия

Язвенная коррозия

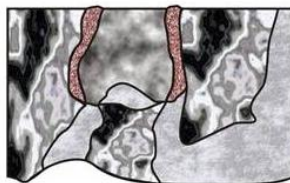
Разрушение в виде отдельных мелких (не более 1-2 мм в диаметре) и глубоких (глубина больше поперечных размеров) язвочек называется точечной коррозией.



Питтинговая коррозия

Точечная коррозия

Равномерным распределением множественных трещин на больших участках элементов называется межкристаллической коррозией.



Межкристаллитная коррозия

Межкристаллическая коррозия

К качественным характеристикам коррозии относятся плотность, структура, цвет и химический состав продуктов коррозии. Качественные характеристики определяют путем лабораторных исследований продуктов коррозии, а цвет – визуально.

К количественным показателям коррозионных поражений относятся их площадь, глубина коррозионных язв, величина потери сечения, скорость коррозии.

Методика обследования

Поверхность элементов конструкций, подлежащих обследованию, очищаются от пыли, грязи, жировых загрязнений, легко отслаивающихся старых покрытий и продуктов коррозии.

Площадь коррозионных поражений с указанием зоны их распространения выражали в процентах площади поверхности конструкций.

Толщина элементов, поврежденных коррозией, замерялась не менее чем в трех сечениях по длине элемента. В каждом проводится не менее трех замеров. При сплошной коррозии толщина элементов измеряется с помощью штангенциркулей, микрометров или механических толщиноме-

ров. Толщина замкнутых профилей определяется с помощью ультразвуковых толщиномеров.

При язвенной коррозии, а также при наличии питтингов глубину коррозионных язв измеряли с точностью 0,1 мм с помощью измерительных скоб или прибора Тимашева.

Выводы

1. При обследовании сооружений по очистке сточных вод были выявлены причины коррозии как бетонов, так и металлоконструкций.

2. Цементные материалы, составляющие основу бетонов, – это композитные гетерогенные материалы, пористые, шероховатая поверхность которых значительна, что позволяет прогнозировать вероятность возникновения явления коррозии и нарушения надежности эксплуатации конструкций.

3. Определено, что высокая первоначальная щелочность бетона $pH = 12-13$ ингибирует бактериальную колонизацию поверхности. Присутствие CO_2 ведет к коксованию бетона, которое сопровождается понижением до $pH = 9,5$ его поверхности, допуская ее колонизацию нейтрофильными сульфо-окисляющими, главным образом химиолитотрофными, бактериями.

4. Определена вероятность возникновения коррозии при соприкосновении с газами металлоконструкций, являющихся основой железобетонных конструкций сооружений по очистке сточных вод.

Библиографический список

1. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85.

2. Андрианов А.П., Чухин В.А. Идентификация коррозии оцинкованных труб в системе водоснабжения // Водные системы и технологии. 2020. №1. С. 32-37.

3. Туголуков А.М. Рекомендации по усилению и ремонту строительных конструкций инженерных сооружений / А.М. Туголуков, В.В. Гранев, Ю.В. Фролов, В.Т. Ильин // ЦНИИпромзданий.

Чижик К.И., Семенов К.В., Белоокая Н.В. Микробиологическая коррозия бетона в системах водоотведения. Стадии развития.// Вестник ИрГТУ №12 (95), 2014. 140-143 с.

Haibo Wang, Chun Hu, Xuexiang Hu, Min Yang, Jiahui Qu. Effects of disinfectant and biofilm on the corrosion of cast iron pipes in a reclaimed water distribution system // Water Research. 2012, V. 46, pp. 1070-1078. De beville N. Experimental research and prediction of the effect of chemical and biogenic sulfuric acid on different types of commercially produced concrete sewer pipes/Cement and Concrete Research // 2004. Vol. 34, №. 12, P. 2223-2236.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА МЕМБРАННОЙ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ПРИРОДНЫХ ВОД

И.М. Перова, аспирант каф. ВиВ, НИУ МГСУ; **А.П. Андрианов**, доц., к.т.н., НИУ МГСУ

Технология мембранной ультрафильтрации прочно заняла свое место среди современных методов обработки воды. К ее основным преимуществам относят производство воды неизменно высокого качества по мутности и микробиологическим загрязнениям, относительно невысокое потребление электроэнергии, малое потребление реагентов, компактность и простота монтажа, возможность полной автоматизации процесса очистки воды [1, 2].

За последние годы сформировались наиболее востребованные и экономически целесообразные области применения метода ультрафильтрации при обработке природных вод: предварительная очистка воды из поверхностных водоисточников перед установками обратного осмоса, очистка маломутных подземных или поверхностных вод, доочистка водопроводной воды для отдельных потребителей с повышенными требованиями к качеству воды [3].

Практика внедрения ультрафильтрации показала, что те преимущества, которые дает применение мембран по сравнению с классическими фильтрами, не всегда являются необходимыми, то есть такая очистка воды является избыточной, а, следовательно, неоправданно удорожает ее себестоимость. Теоретически ультрафильтрационные мембраны с размером пор менее 0,01 мкм (с величиной отсека по молекулярной массе около 10-20 кДа) могут частично задерживать цветность и окисляемость, тем самым позволяя в некоторых случаях добиваться нормативного качества очищенной воды без применения предварительной коагуляции [4-6]. Однако из экономических соображений использовать слишком тонкопористые мембраны нецелесообразно вследствие низкой удельной производительности таких мембран. Для повышения степени задержания органических примесей и более эффективного снижения цветности используют предварительное коагулирование примесей исходной воды перед подачей ее на ультрафильтрационные аппараты [7]. Такой прием применяется, как правило, в схемах предварительной подготовки воды перед обратноосмотическими установками на объектах теплоэнергетики и промышленных предприятиях [8, 9]. В этом случае можно добиться высокого задержания органических примесей и при использовании мембран с более крупными порами.

Основной задачей при разработке и эксплуатации мембранных ультрафильтрационных установок является прогнозирование снижения производительности мембран с течением времени и выбор оптимальных параметров работы для достижения максимальной полезной производительности. Проведенные исследования показали возможность моделирования процесса падения производительности ультрафильтрационных мембран с

учетом различных видов отложений, образующихся на них [10]. Однако практика эксплуатации мембранных установок показывает, что в ряде случаев отмечается заметное необратимое уменьшение производительности, связанное, по-видимому, с закупоркой пор мембран частицами, содержащимися в обрабатываемой воде. Необратимое означает, что при обычной обратной промывке производительность мембран не восстанавливается полностью. Этот вопрос требует особого изучения с целью определения факторов, влияющих на закупоривание пор ультрафильтрационных мембран, и разработки мероприятий по предотвращению этого явления.

Попытки определить и описать механизмы, происходящие при мембранной фильтрации, делались многими исследователями [11-15]. В большинстве случаев, как показывают исследования [13, 14], процесс фильтрования на микро- и ультрафильтрационных мембранах протекает в несколько стадий. Сначала, в зависимости от размера пор мембраны и потока через нее, происходит полное или постепенное закупоривание пор, затем процесс переходит в стадию промежуточного типа фильтрования, и после этого начинается фильтрование с образованием осадка.

Тот факт, что процесс загрязнения ультрафильтрационных мембран при обработке природных вод сопровождается закупориванием пор, подтверждается многими исследователями [15-17]. В [14] отмечается, что мембрана с «полностью» закупоренными порами все-таки имеет конечное сопротивление, поток жидкости через нее полностью не прекращается и в дальнейшем там начинает образовываться осадок.

Авторами работы [18] при определении модифицированного индекса загрязненности было обнаружено, что для одного и того состава воды фильтрование может идти по разным механизмам для различных типов мембран с различными величинами отсечения. После образования приграничного слоя осадка ход дальнейшего фильтрования будет уже определяться только сопротивлением загрязненной мембраны и концентрацией загрязнений в обрабатываемой воде.

Вид фильтрования на начальной стадии определяется соотношением размеров задерживаемых частиц и пор мембраны [19, 20]. Это означает, что на мембранах с более крупными порами при фильтровании воды, содержащей коллоидные частицы, будет происходить фильтрование с постепенным закупориванием пор, а на мембранах с более мелкими порами – фильтрование с полным закупориванием пор. В случае, когда размеры частиц значительно превышают размеры пор мембраны, фильтрование сразу идет с образованием слоя осадка на мембране. Пример такого вида фильтрования – образование осадков гидроокиси железа и глинистых частиц на поверхности обратноосмотических мембран. Возможные варианты развития событий при фильтрации дисперсных частиц при различных соотношениях размера частиц и пор мембраны подробно описаны в [19] в главе, посвященной динамическим мембранам. Э. Сиднеем [21] на примере фильтрации протеинов разработана модель, которая достаточно близко отражает особенности процессов, происходящих при ультрафильтрации.

Помимо соотношения размера частиц и пор мембран, большую роль играет концентрация этих частиц в воде и скорость потока через мембрану [22, 23]. Важное наблюдение относительно влияния концентрации примесей в воде сделано в работе [22], где отмечается, что даже дистиллированная вода может вызывать значительное падение производительности ультрафильтрационных мембран. Дистиллированная вода, предварительно прошедшая через патронный фильтр с размером пор 0,2 мкм, вызывала снижение потока через ультрафильтрационную мембрану на 40%, а при фильтрации воды, предварительно пропущенной через такую же мембрану, за 20 минут было зафиксировано снижение потока на 10%. То есть, в условиях, благоприятных для развития процесса полной закупорки пор, мембраны могут оказаться очень чувствительными к наличию в воде даже мизерных количеств коллоидных и взвешенных веществ.

Природная вода – это сложная смесь частиц различной степени дисперсности: от молекул гуминовых кислот до глинистых частичек, поэтому в ней всегда будут присутствовать частицы, соизмеримые с порами ультрафильтрационных мембран. Следовательно, полностью избежать стадии закупоривания пор путем подбора размера пор мембраны невозможно. Исследования показывают, что фактически на мембранах, не зависимо от качества исходной воды, идут одновременно два процесса [24], причем в данном исследовании, проведенном на воде поверхностного источника, вклад закупоривания пор в снижение потока через мембрану составил 95,1% при обработке исходной воды (мутность 33,8 NTU) и 97,4% при обработке воды после коагуляции и отстаивания (мутность 3,4 NTU). Сравнительное изучение различных моделей мембранного фильтрования, проведенное в [25], подтверждает это утверждение – наиболее адекватно процесс описывают модели, где одновременно учитываются две стадии: фильтрование с закупориванием пор и фильтрование с образованием осадка, например модель, предложенная Э. Сиднеем [21].

Выводы. Анализ литературы, посвященной ультрафильтрации природных вод и искусственных суспензий, показывает важность учета стадии закупоривания пор для прогнозирования изменения производительности мембран в течение фильтроцикла и длительного времени. Наиболее точно процесс фильтрования описывают комбинированные модели, учитывающие одновременное протекание как минимум двух стадий – фильтрования с образованием осадка и фильтрования с закупориванием пор. Дальнейшие исследования будут направлены на установление экспериментальных зависимостей между концентрацией и размером частиц, размером пор мембран и характером фильтрования.

Библиографический список

1. Герасимов Г.Н. Адаптация технологии обработки питьевой воды к новым условиям: применение ультрафильтрации. Часть 1 // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 6. С. 11-17.

2. Герасимов Г.Н. Адаптация технологии обработки питьевой воды к новым условиям: применение ультрафильтрации. Часть 2 // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 7. С. 21-26.
3. Первов А.Г., Андрианов А.П. Современное состояние вопроса очистки поверхностных вод с помощью ультрафильтрации // Вестник МГСУ. 2010. №4, Т.2. С. 9-15.
4. Андрианов А.П., Первов А.Г. Перспективы применения мембранных методов ультрафильтрации и нанофильтрации на крупных водопроводных станциях. // Проекты развития инфраструктуры города. Вып. 4. «Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды». Сборник научных трудов. М.: Прима-Пресс-М, 2004. С. 101-109.
5. Андрианов А.П. Водоснабжение промышленных объектов и населенных мест с помощью мембранных ультрафильтрационных установок. // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2004. №8. С. 4-7.
6. Юрчевский Е.Б., Первов А.Г. Возможности мембранных технологий водоподготовки при удалении органических загрязнений из природной воды // Теплоэнергетика. 2020. № 7. С. 77-85.
7. Светлейшая Е.М., Митченко Т.Е., Астрелин И.М. Особенности применения комбинированной технологии коагуляции – ультрафильтрации для кондиционирования днепровской воды // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 9 (33). С. 22-26.
8. Жадан А.В., Бушуев Е.Н. Обоснование выбора схемы предварительной обработки воды на ТЭС на основе метода ультрафильтрации // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2014. № 2. С. 5-9.
9. Громов С.Л., Ковалев М.П., Сидоров А.Р., Лысенко С.Е., Самодуров А.Н., Пантелеев А.А. Использование ультрафильтрации для предподготовки питательной воды обратноосмотических установок // Водоочистка. 2009. № 11. С. 24-30.
10. Андрианов А.П., Первов А.Г. Методика определения параметров эксплуатации ультрафильтрационных систем очистки природных вод. // Критические технологии. Мембраны. 2003. №2 (18). С. 3-22.
11. Polyakov Y.S., Zydney A.L. Ultrafiltration membrane performance: Effects of pore blockage/constriction // Journal of Membrane Science. 2013. V. 434. P. 106-120.
12. Bowen W.R., Jenner F. Theoretical descriptions of membrane filtration of colloids and fine particles: an assessment and review. // Adv. in Colloid and Interface Science. 1995. V. 56. P. 141-200.
13. Bowen W.R., Calvo J.I., Hernández A. Steps of membrane blocking in flux decline during protein microfiltration // J. Membrane Science. 1995. V. 101. P. 153-165.
14. Song L. Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: mechanisms and modeling of membrane fouling. // J. Membrane Science. 1998. V. 139. P. 183-200.
15. Seminario L., Rozas R., Bórquez R., Toledo P.G. Pore blocking and permeability reduction in cross-flow microfiltration. // J. Membrane Science. 2002. V. 209. P. 121-142.

16. Yuan W., Kocic A., Zydney A.L. Analysis of humid acid fouling during microfiltration using a pore blockage-cake filtration model. // *J. Membrane Science*. 2002. V. 198. P. 51-62.
17. Aoustin E., Schäfer A.I., Fane A.G., Waite T.D. Ultrafiltration of natural organic matter. // *Separation and Purification Technology*. 2001. V. 22-23. P. 63-78.
18. Boerlage S. et al. The modified fouling index using ultrafiltration membranes (MFI-UF): characterisation, filtration mechanisms and proposed reference membrane. // *J. Membrane Science*. 2002. V. 197. P. 1-21.
19. Брык М.Т., Цапюк Е.А., Твердый А.А. Мембранная технология в промышленности. – Киев.: Техника. 1990.
20. Бадеха В.П., Цапюк Е.А., Кучерук Д.Д. Формирование динамической мембраны из гидроксида железа и ее опресняющая способность. // *Химия и технология воды*. 1981. Т. 3. №5. С. 402-405.
21. Ho Chia-Chi, Zydney L. A combined pore blockage and cake filtration model for protein fouling during microfiltration. // *J. Colloid & Interface Science*. 2000. V. 232. P. 389-399.
22. Fane A.G., Fell C.J.D. A review of fouling and fouling control in ultrafiltration. // *Desalination*. 1987. V. 62. P. 117-136.
23. de Bruijn J.P.F., Salazar F.N., Bórquez R. Membrane Blocking In Ultrafiltration: A New Approach to Fouling // *Food and Bioproducts Processing*. 2005. V. 83, Is. 3. P. 211-219.
24. Huang B., Gu H., Xiao K., Qu F., Yu H., Wei C. Fouling mechanisms analysis via combined fouling models for surface water ultrafiltration process // *Membranes*. 2020. V. 10(7). P. 149.
25. Iritani E., Katagiri N. Developments of Blocking Filtration Model in Membrane Filtration // *KONA Powder and Particle Journal*. 2016. V. 33. P. 179-202.

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ГОРОДСКИХ ВОДОПРОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА MATHLAB

Е.В. Постнова, доц., к.т.н., Е.В. Рунёв, ст. преподаватель, Г.М. Захаревич, магистрант, ФГБОУ ВО ПГУПС Императора Александра I

В системе городского водоснабжения трубопроводы являются наиболее значимыми объектами, как по масштабности, так и по их роли в обеспечении потребителей водой. Кроме того, именно трубопроводы чаще других сооружений системы водоснабжения подвержены повреждениям и, следовательно, являются менее надежными.

Для исследования эксплуатационной надежности городских водопроводных сетей единственным возможным средством является сбор, обработка и анализ статистических данных по их повреждениям с целью определения показателей надежности [1]. Для примера использовались статистические данные по повреждениям водопровода одного из городов Северо-Западного региона РФ за 4 года его эксплуатации. Распределение повреждений трубопроводов по сезонам года и видам повреждений представлено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение повреждений трубопроводов по сезонам года и видам повреждений

Виды повреждений	Распределение повреждений трубопроводов по сезонам года				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Всего
Разрушение запорно-регулирующей и предохранительной арматуры	87	64	51	93	295
Переломы труб	428	162	72	248	910
Разрыв сварного шва	16	17	17	13	63
Свищи на трубах	203	205	415	239	1062
Разрушение стыковых соединений труб	88	68	77	61	294
Трещины на трубах	87	75	101	87	350
Итого	909	591	733	741	2974

Распределение повреждений на трубах по сезонам года показало, что наибольшее их число приходится на зимний период времени – 909. Причем зимой наиболее часто происходят переломы труб – 428. Причиной таких повреждений, возможно, является сезонное промерзание грунта, которое в дальнейшем приводит к увеличению плотности его сложения. При этом нагрузка грунта на трубы возрастает и появляется опасность их разрушения.

Распределение повреждений на водопроводной сети по видам показало, что наиболее часто на трубах образуются свищи – 1062, причем чаще свищи на трубах возникают летом – 415. Причиной образования свищей, скорее всего, является внешняя и внутренняя коррозия металла и дальнейшее воздействие на корродированные участки труб блуждающих токов от городского электротранспорта. Следует отметить, что электропроводность грунтов в летнее время возрастает, что способствует более интенсивному образованию свищей на трубах именно в этот период времени.

Основной причиной разрушения стыковых соединений – 294, по всей вероятности, является влияние вибродинамической нагрузки от городского транспорта, при которой происходит расшатывание и дальнейшее выпирание заполнителя из раструба, в результате чего образуется течь воды в стыке.

Также небольшую часть повреждений – 295 составляют разрушения запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, причем их распределение по сезонам года примерно одинаково. К причинам подобных повреждений можно отнести дефекты литья, гидравлические удары и нарушение правил эксплуатации арматуры.

Городской водопровод представляет собой систему соединенных между собой трубопроводов различных диаметров. Для оценки надежности городских водопроводов, прежде всего, необходимо установить численные значения показателей надежности их элементов. Участок водопровода является восстанавливаемым элементом и эксплуатируется до предельного состояния, следовательно, основными показателями его надежности являются интенсивность отказов – λ , интенсивность восстановления – μ и вероятность безотказной работы – $P(t)$ [2].

На основании статистических данных были получены расчетные значения величин λ и μ для различных диаметров трубопроводов. Значения интенсивностей отказов и восстановления городских водопроводов в зависимости от диаметров труб представлены в табл. 2.

Анализ полученных значений надежности показал, что наибольшая интенсивность отказов приходится на трубопроводы с интервалом диаметров труб $d = 200 \div 250$ мм, это объясняется наибольшей их протяженностью и максимальным количеством повреждений на трубах данного сортамента.

Допущение о пуассоновском распределении интенсивности отказов и экспоненциальном распределении времени восстановления позволило применить для оценки надежности городских водопроводов модель Марковских случайных процессов с конечным множеством состояний и непрерывным временем [2].

Вспомогательным средством для описания сложной системы с дискретным числом состояний принят граф состояний городского водопровода, который описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена [3]:

$$\dot{P} t = \Lambda \cdot P t \quad (1)$$

с начальными условиями: $P(0) = P_0 = p_0 \ 0, p_1 \ 0, \dots, p_5 \ 0$, где

$$p_0(0) = 1, p_1 \ 0 = p_1 \ 0 = \dots = p_5 \ 0 = 0. \quad (2)$$

Здесь $P_j(t)$ - вероятность нахождения системы в состоянии S_j ; $\lambda_{ij}(t)$ – интенсивности переходов из состояния S_i в состояние S_j ; $j = 0, \dots, 5$ – номер состояния системы.

Таблица 2

Значения интенсивностей отказов и восстановления городских водопроводов

Интервалы диаметров труб, d, мм	Количество повреждений, л % от общего количества повреждений	Длина труб, l, км	Время восстановления труб, t _в , ч	Значения интенсивностей отказов и восстановления	
				$\lambda(t) \cdot 10^{-4}, 1/(ч \cdot км)$	$\mu(t) \cdot 10^{-2}, 1/ч$
100 ÷ 125	$\frac{315}{12}$	693	4,0	0,12	0,25
150 ÷ 180	$\frac{807}{27}$	1622	5,0	0,29	0,2
200 ÷ 250	$\frac{1037}{35}$	2080	5,9	0,37	0,17
280 ÷ 350	$\frac{434}{15}$	879	6,7	0,16	0,15
400 ÷ 500	$\frac{351}{11}$	703	7,1	0,13	0,14
Итого	$\frac{2974}{100}$	5975	Среднее время восстановления t _{ср} =5,7		

Матрица интенсивностей указанного графа наиболее вероятных состояний городской водопроводной сети имеет вид:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \alpha_0 & \mu_1 & \mu_2 & \mu_3 & \mu_4 & \mu_5 \\ 0 & \alpha_1 & \mu_2 & \mu_3 & \mu_4 & \mu_5 \\ 0 & \mu_1 & \alpha_2 & \mu_3 & \mu_4 & \mu_5 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & \alpha_3 & \mu_4 & \mu_5 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & \mu_3 & \alpha_4 & \mu_5 \\ 0 & \mu_1 & \mu_2 & \mu_3 & \mu_4 & \alpha_5 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где интенсивности отказов и восстановлений трубопроводов зависят от сортамента диаметров труб и не зависят от времени (однородность): $\lambda_{ki} = \lambda_i$; $\lambda_{ki} = \mu_i$, $k = 0, \dots, 5; i = 1, \dots, 5$.

На рис 1. представлен граф состояний городского водопровода, состоящий из пяти элементов, при обслуживании его одной ремонтной бригадой. За элементы системы были приняты участки трубопроводов определенных интервалов диаметров труб, приведенные в табл. 2. Следует отметить, что граф состояний составлен только для наиболее вероятных состояний городского водопровода, когда в данный момент времени вероятен отказ одного из элементов водопроводной сети. Вероятности возникновения других состояний трубопроводов настолько малы, что ими можно пренебречь.

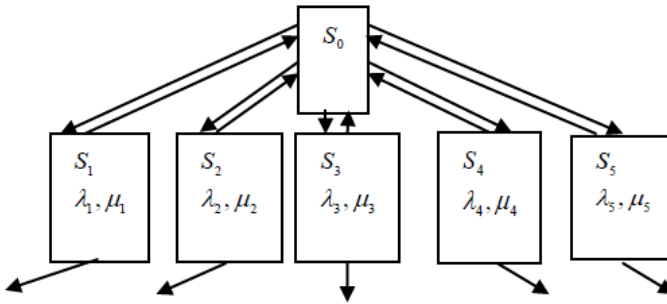


Рис. 1. Граф состояний городского водопровода, состоящего из пяти элементов: S_0, \dots, S_5 – состояния системы

На основании графа состояний городского водопровода определялись вероятности состояний системы как функции времени.

Решение задачи Коши для системы дифференциальных уравнений (1), (2) найдено методом собственных векторов с использованием пакета Matlab. В результате решения задачи Коши были определены вероятности безотказной работы состояний городской водопроводной сети в зависимости от времени.

Вероятность безотказной работы городского водопровода, согласно теореме сложения для нескольких событий, в которых какой-либо из элементов находится в состоянии неисправности, определяется формулой:

$$P(t) = 1 - \prod_{j=0}^5 1 - P_j t \quad . \quad (4)$$

График вероятности безотказной работы городского водопровода в зависимости от времени его эксплуатации представлен на рис. 2.

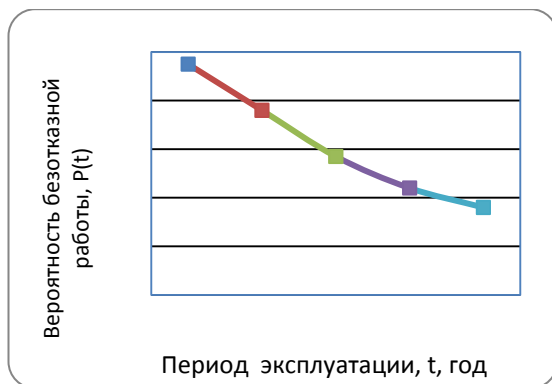


Рис. 2. График вероятности безотказной работы городского водопровода в зависимости от времени его эксплуатации

Анализ графической зависимости $P(t)$ от времени эксплуатации показывает, что надежность городского водопровода в настоящее время в целом достаточно высокая, однако с течением времени его эксплуатации, она будет снижаться по причине возникновения различных повреждений, а также вследствие износа и старения его элементов.

Во избежание снижения работоспособного состояния городского водопровода необходимо своевременно проводить мероприятия по обеспечению надежности данной системы трубопроводов в процессе ее эксплуатации. К основным мероприятиям по обеспечению надежного рабочего состояния городских водопроводов относятся:

- проведение профилактических мероприятий (включающих регламентные работы, осмотры, проверки трубопроводов и оборудования);
- создание системы восстановительных работ (включающих комплекс диагностики в виде контрольно-измерительных приборов и аппаратуры по обнаружению неисправностей на сети, организацию оперативных ремонтных бригад);
- оснащение ремонтных бригад необходимым запасом деталей и материалов для своевременной ликвидации аварий и повреждений трубопроводов и оборудования.

Применение методов теории Марковских случайных процессов с дискретным множеством состояний позволяет достоверно оценить надежность городских водопроводов и на основании полученных данных поддерживать работоспособное состояние трубопроводов для достижения их основной функции обеспечения потребителей водой.

Библиографический список

1. Постнова Е.В., Савушкина И.А. Исследование надежности городских водопроводных сетей. В сборнике: Математика в вузе и в школе. Материалы Национальной научно-методической конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации; Международная академия наук высшей школы; Ассоциация математиков вузов; Научно-методический совет вузов по математике Северо-Западного региона РФ; Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I; Псковский государственный университет, 2017. С. 50 - 56.
2. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат, 1985. 240 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. 480 с.

УТОЧНЕННЫЙ ВИД РАСЧЕТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ИЗНОШЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

О.А. Продоус, канд. техн. наук, профессор, ООО «ИНКО-эксперт»

Показано изменение значений характеристик гидравлического потенциала изношенных водопроводных труб из стали и серого чугуна $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} и i_{ϕ} при разной толщине слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} . Для конкретного примера проведено сравнение табличных и фактических значений этих характеристик. Рекомендован вид расчетной зависимости, учитывающей при расчете значение фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} , влияющей на значение величины i_{ϕ} . Предложено разработать методику государственного контроля значений фактической толщины слоя внутренних отложений в процессе эксплуатации новых трубопроводов из стали и серого чугуна, а также справочное пособие «Таблицы для гидравлического расчета новых металлических водопроводных труб с внутренними отложениями».

Ключевые слова: водопроводные трубы, сталь, чугун, потери напора, расчет характеристик, сравнение.

На практике принято: гидравлический расчет новых (изношенных) водопроводных труб производить по формуле профессора Ф.А. Шевелева, экспериментально полученной в 50-тые годы прошлого века, имеющей вид [1]:

$$i_p = 0,00107 \frac{V_p^2}{\left(d_{\text{вн}}^p\right)^{1,3}}, \text{ при } V_p \geq 1,2 \text{ м/с} \quad (1)$$

где i_p – расчетный гидравлический уклон – расчетные потери напора на единицу длины трубопровода $h_p = i_p \cdot l$, м/м; V_p – расчетная скорость потока, м/с; $d_{\text{вн}}^p$ – расчетный внутренний диаметр труб, м.

Исследования гидравлических характеристик новых металлических труб из стали и серого чугуна проводились Ф.А. Шевелевым для труб в диапазоне наружных диаметров для стальных электросварных труб $d_n = 70 \div 273$ мм, а для чугунных (из серого чугуна) с диаметром условного прохода $d_y = 75 \div 250$ мм. При этом толщина слоя внутренних отложений на стенках исследованных труб составляла только $\Delta_{\phi} = 1,0$ мм [1], рис. 1. Исследований с труб другой толщиной слоя Δ_{ϕ} Ф.А. Шевелевым не проводилось.

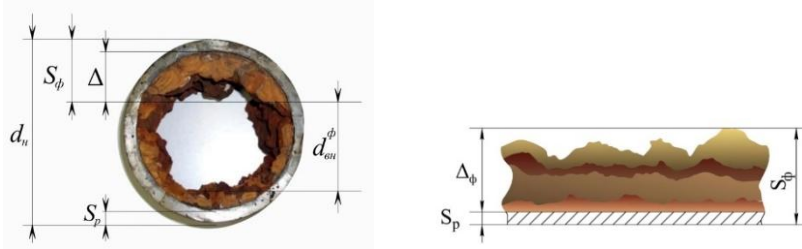


Рис. 1. Фрагмент слоя отложений на внутренних стенках стальных электросварных труб

где d_n – наружный диаметр труб по стандартам ГОСТ 10704-91 (стальные электросварные трубы), мм и ГОСТ 9583-75 (трубы из серого чугуна), мм; $d_{вн}^\phi$ – фактический внутренний диаметр труб с учетом толщины слоя отложений Δ_ϕ , мм; S_p – расчетная толщина стенки трубы по ГОСТ, мм; S_ϕ – фактическая толщина стенки трубы с отложениями, мм; Δ_ϕ – фактическая толщина слоя внутренних отложений, мм, определяемая по формуле (2):

$$\Delta_\phi = S_\phi - S_p, \text{ м (мм)}. \quad (2)$$

Составленные Ф.А. Шевелевым «Таблицы для гидравлического расчета неновых стальных и чугунных водопроводных труб» [1] не могут применяться на практике, так как в них не учитывается значение фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_ϕ , изменяющееся во времени и зависящей от качества транспортируемой воды и возраста трубопровода. Это приводит к большим погрешностям при расчете трубопроводов и подборе насосных агрегатов для транспортирования воды [2].

Поэтому расчетная зависимость (1) должна включать значение Δ_ϕ , легко контролируемое с помощью переносных ультразвуковых расходомеров в комплекте с толщиномером, по методике, подробно описанной в «Рекомендациях» [2].

С учетом обозначений на рис. 1 значение величины фактического внутреннего диаметра труб с отложениями $d_{вн}^\phi$ определяется по формуле:

$$d_{вн}^\phi = d_n - 2S_p - 2\Delta_\phi, \text{ мм (м)}. \quad (3)$$

Тогда формула (1) с учетом формулы (3) принимает вид:

$$i_\phi = 0,00107 \frac{V_\phi^2}{\left[d_n - 2S_p - 2\Delta_\phi \right]^{1,3}}, \text{ м/м (мм/м)}, \quad (4)$$

где i_ϕ – фактический гидравлический уклон (потери напора на сопротивление по длине), м/м; V_ϕ – фактическая скорость потока, зависящая от величины фактического внутреннего диаметра труб с отложениями $d_{вн}^\phi$ и определяемая по формуле (5):

$$V_\phi = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{вн}^{\phi 2}}, \text{ м/с} \quad (5)$$

где q – расчетный заданный расход, м³/с; $d_{вн}^\phi$ – фактический внутренний диаметр труб с отложениями, м.

С учетом формулы (3) формула (5) для практических расчетов принимает вид при известном (измеренном) значении величины (рис. 1):

$$V_\phi = \frac{4q}{\pi \cdot [d_n - 2S_p - 2\Delta_\phi]^2}, \text{ м/с} \quad (6)$$

где d_n – наружный диаметр труб по ГОСТ, м.

Поэтому расчет значений фактических характеристик гидравлического потенциала водопроводных труб $d_{вн}^\phi$, V_ϕ и i_ϕ может производиться по формулам: (3), (4) и (6) с достаточной точностью для практических расчетов.

Покажем для сравнения на примере процент расхождения значений $i_{таб}$ и i_ϕ , подсчитанных по формулам (1) и (4).

Условия задачи

По стальному трубопроводу из электросварных водопроводных труб с $d_n = 273$ мм (0,273 м) транспортируется расход $q = 75$ л/с (0,075 м³/с). Возраст трубопровода – 24 года. Толщина фактического слоя отложений на стенках труб $\Delta_\phi = 25$ мм (0,025 м).

Провести гидравлический расчет трубопровода с учетом значения $\Delta_\phi = 25$ мм и сравнить процент расхождения значений потерь напора $i_{таб}$ и i_ϕ , подсчитанных по формулам (1) и (4).

Решение

1. По формуле (3), рис. 1, определяют для новых стальных труб значение $d_{вн}^\phi$ и сравнивают с $d_{вн}^p$ по справочному пособию Ф.А. Шевелева [1]:

$$d_{вн}^\phi = 0,273 - 2 \cdot 0,006 - 2 \cdot 0,025 = 0,211 \text{ м}$$

$$d_{\text{вн}}^p = 0,250 \text{ м.}$$

Процент расхождения значения $d_{\text{вн}}^p$ от $d_{\text{вн}}^\phi$ составляет 23,22 % ,

$$d_{\text{вн}}^p > d_{\text{вн}}^\phi \text{ в } 1,23 \text{ раза.}$$

Такой процент расхождения значений приведет к изменению значения фактической скорости потока V_ϕ , определяемой по формуле (5):

$$2. V_\phi = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^\phi} = \frac{4 \cdot 0,075}{3,142 \cdot 0,211^2} = \frac{0,3}{0,1399} = 2,14 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{таб}} = 1,41 \text{ м/с, } i_{\text{таб}} = 0,0123 \text{ м/м.}$$

Расхождение значений V_ϕ и V_p составляет 34,11 %, то есть за счет изменения значения $d_{\text{вн}}^\phi$ увеличится скорость потока $V_\phi > V_{\text{таб}}$ в 1,52 раза.

3. Далее по формуле (4) определяют для сравнения величины значений i_ϕ и $i_{\text{таб}}$:

$$i_\phi = 0,00107 \frac{V_\phi^2}{\left[d_n - 2 \cdot S_p - 2 \cdot \Delta_\phi \right]^{1,3}} =$$

$$= \frac{0,00107 \cdot 2,14^2}{0,273 - 2 \cdot 0,006 - 2 \cdot 0,025}^{1,3} = \frac{0,0049}{0,211}^{1,3} = \frac{0,0049}{0,1323} = 0,03704 \text{ м/м.}$$

По справочному пособию [1]:

$$i_{\text{таб}} = 0,0123 \text{ м/м.}$$

Расхождение значений i_ϕ и $i_{\text{таб}}$ рассчитанных по формулам (1) и(4) составляет 66,79 % или отличается в 3,01 раза.

Для сравнения табличных и фактических значений характеристик гидравлического потенциала труб для приведенного примера в табл. 1 представлены значения этих характеристик, рассчитанные по формулам: (3), (5), (4) и (1).

Сравнение табличных и фактических значений характеристик гидравлического потенциала

Основания для расчета значений характеристик	Значения расчетных и фактических характеристик гидравлического потенциала труб с $d_n=273$ мм		
	$d_{вн}^{таб}$, м	$V_{таб}^p$, м/с	$i_{таб}^p$, м/м
Формула (1) из справочного пособия [1] – расчетные значения	0,260	1,41	0,01230
Формулы (3), (4), (6) – для расчета фактических значений характеристик труб	0,211	2,14	0,03704
Процент расхождения табличных и фактических значений характеристик			
	23,22 %	34,11 %	66,79 %

Анализ значений, приведенных в табл. 1, показывает, что при составлении справочных пособий всех изданий Ф.А. Шевелева [1] не учитывалось возможное изменение значений i_ϕ , вызванное изменением во времени значений Δ_ϕ , влияющих на величину фактической скорости потока V_ϕ , величину фактического внутреннего диаметра $d_{вн}^\phi$ и, как следствие, на величину i_ϕ .

Поэтому рекомендованная для использования при расчете гидравлического уклона (потерь напора в неновых металлических трубах) расчетная зависимость (1) должна быть уточнена включением в расчет фактического значения $d_{вн}^\phi$, определяемого по формуле (3).

Тогда уточненный вид расчетной зависимости для гидравлического расчета изношенных металлических водопроводных труб с внутренними отложениями будет иметь окончательный вид формулы (4).

Такой вид расчетной формулы (4) позволит повысить точность гидравлических расчетов металлических трубопроводов из стали и серого чугуна за счет точного расчета значения $d_{вн}^\phi$ по формуле (3).

Для этого автором статьи рекомендуется разработать методику государственного контроля значений фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_ϕ в изношенных металлических трубах из стали и серого чугуна в процессе их жизненного цикла «Эксплуатация» и придать этой методике нормативный статус.

Также для повышения точности гидравлического расчета неновых металлических труб из стали и серого чугуна разработать специальное справочное пособие «Таблицы для гидравлического расчета неновых металлических водопроводных труб с внутренними отложениями».

Библиографический список

1. Шевелев Ф.А. Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие.–10-е изд., дополненное. // М.: ООО “Издательский Дом “Бастет”, 2014. – 384 с.
2. Продоус О.А. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов из стали и серого чугуна. // Изд. ООО «Свое издательство», Санкт-Петербург, 2021. – 40 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ НА ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

И.Ю. Пурусова, ст. преп., ВГТУ; **К.И. Чижик**, доц., к-т. техн. наук, НИУ МГСУ;
В.И. Щербаков, проф., д-р техн. наук, ВГТУ

Водозаборные сооружения из подземных источников являются одним из наиболее важных элементов системы водоснабжения, обуславливающим эксплуатационную надежность всей системы и ее технико-экономические показатели [1-9]. Поэтому проектирование водозаборных сооружений из подземных источников должно осуществляться с использованием современных методов расчета, применением прогрессивных конструкций и технологий производства строительных работ. Для эффективной работы погружных насосов требуемая подача и напор должны соответствовать параметрам и условиям эксплуатации водозаборных сооружений из подземных источников.

Практический интерес имеют показатели технологических параметров погружных насосов, позволяющие оценить длительность жизненного цикла насоса.

Задачей определения технологических параметров погружных насосов на водозаборных сооружениях из подземных источников является расчёт подачи, напора и потерь напора в насосе и трубопроводах.

Погружные насосы в ряде скважин работают совместно, то есть подают воду в один сборный водовод (рис. 1). Каждый насос характеризуется зависимостью подачи и напора, характеристика Q-H. Рабочая точка совместной работы насоса и системы подъема воды должна находиться в диапазоне подачи и напора, соответствующем оптимальному КПД насоса.

В практике гидравлического расчёта водозаборных сооружений из подземных источников широко применяется графический способ [10]. С его помощью можно правильно подобрать насосные агрегаты и установить их соответственно уровню воды в скважине.

Геометрическая высота подъема воды (рис. 1) определяется разностью уровня воды в РЧВ и динамического уровня воды в скважине. Напор погружного насоса зависит от места расположения РЧВ и суммарных потерь напора.

Напор погружного насоса определяется по формуле:

$$H_{\text{нас}} = (Z_{\text{рчв}} - z_{\text{дин}}) + \sum h + h_{\text{под}} \quad (1)$$

где $Z_{\text{рчв}}$ – уровень воды в РЧВ, м; $z_{\text{дин}}$ – динамический уровень воды в скважине, м; $\sum h$ – потери напора в насосе, в напорном трубопроводе, в запорно-регулирующей арматуре, м; $h_{\text{под}}$ – подпор погружного насоса, принимается не менее 1 м.

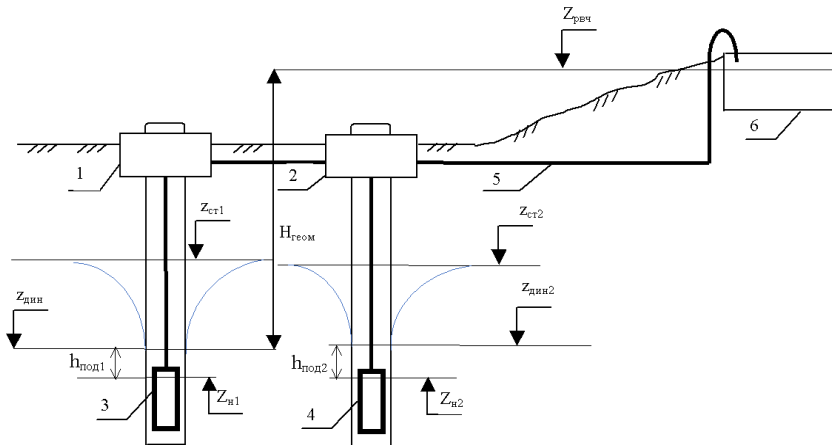


Рис. 1. Схема совместной работы водозаборных сооружений из подземных источников:

1 и 2 – павильон скважины № 1 и №2; 3 и 4 – погружные насосные агрегаты; $Z_{н1}$ и $Z_{н2}$ – отметки погружных насосов; $h_{под1}$ и $h_{под2}$ – подпор погружного насоса; $z_{ст1}$ и $z_{ст2}$ – статический уровень воды в скважинах; $H_{геом}$ – геометрическая высота подъёма воды; $z_{дин1}$ и $z_{дин2}$ – динамический уровень воды в скважинах; 5 – сборный водовод – подача воды от каждой скважины отдельно; 6 – РЧВ (резервуар чистой воды); $Z_{рчв}$ – отметка уровня воды в РЧВ

Подпор погружного насоса определяется разностью отметки уровня насоса и минимального динамического уровня воды в скважине. Уровень насоса это отметка горизонтальной оси многоступенчатого насоса типа ЭЦВ, проводится по оси верхней секции рабочего колеса.

Суммарные потери напора складываются из потерь напора по длине, местных потерь и потерь напора во всасывающих коммуникациях насоса и определяются по формуле:

$$\sum h = \sum h_{дл} + \sum h_{м} + \sum h_{н} \quad (2)$$

где $\sum h_{дл}$ – суммарные потери напора по длине, м; $\sum h_{м}$ – местные потери напора, м; $\sum h_{н}$ – потери напора во всасывающих коммуникациях насоса, 1,5 м.

Движение воды по напорным трубопроводам, согласно закона сохранения энергии, приводит к возникновению гидравлических потерь. На их преодоление тратится часть удельной энергии потока воды, которая является потерей удельной энергии или суммарной потерей напора. Поэтому суммарные потери напора зависят от гидравлического сопротивления трубопроводов и определяются по формуле:

$$\sum h = SQ^2 \quad (3)$$

где S – коэффициент суммарного гидравлического сопротивления; Q – суммарная подача воды от скважин, м³/ч.

Так как режим подачи воды насосами и суммарное гидравлическое сопротивление трубопроводов взаимосвязаны: $\sum S = f(Q)$, то сумма потерь напора воды, подаваемой в РЧВ (рис. 1), должна быть равна расчётной сумме потерь напора от двух насосов:

$$\sum SQ^2 = (Z_{рчв} - Z_{н}) + \sum h \quad (4)$$

Изменение режима работы одной из составляющих системы подъёма воды приводит к изменению параметров другой. Устанавливаемые насосы в составе водозаборных сооружений из подземных источников подбирают по расходу и напору каждой скважины. При подборе погружных насосов учитывается целесообразность применения однотипных насосов. При разных характеристиках погружных насосных агрегатах следует правильно распределять нагрузку между ними и выявлять границы их рационального использования во всём диапазоне изменений подач воды [10].

Опыт совместной эксплуатации водозаборных сооружений из подземных источников выявил следующие недостатки:

- в процессе эксплуатации происходит изменение гидравлических характеристик оборудования в результате коррозии и отложений, что увеличивает потери напора в водоподъемных трубах и приводит к уменьшению производительности;

- при эксплуатации насосов происходит уменьшение геометрической высоты подъёма воды;

- неустойчивая работа погружных насосов сказывается на работе всей системы: скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ.

Сложившиеся за многие годы работа погружных насосов на водозаборных сооружениях из подземных источников не всегда соответствуют современным требованиям [11-14], предъявляемых к системам скважинного хозяйства. Развитие водозаборных сооружений из подземных источников должно предъявлять высокие требования к их надежности и безопасности в работе. При значительном отличии характеристик насосов возможно полное уменьшение подачи воды от отдельных скважин.

Система контроля работы погружных насосов на водозаборных сооружениях представлена в виде алгоритма на рис. 2.

Для увеличения срока эксплуатации насосов необходим правильный подбор и установка водоподъемного оборудования с учётом их совместной работы. Оптимальные технологические параметры погружных насосов позволяют увеличить срок их бесперебойной работы. Технологические показатели погружных насосов определяют длительность их энергоэффективной работы, а постоянный мониторинг процесса эксплуатации насосов увеличивает срок службы всей системы подъёма воды. В итоге рациональная работа водозаборных сооружений из подземных источников позволяет максимально снизить эксплуатационные затраты.

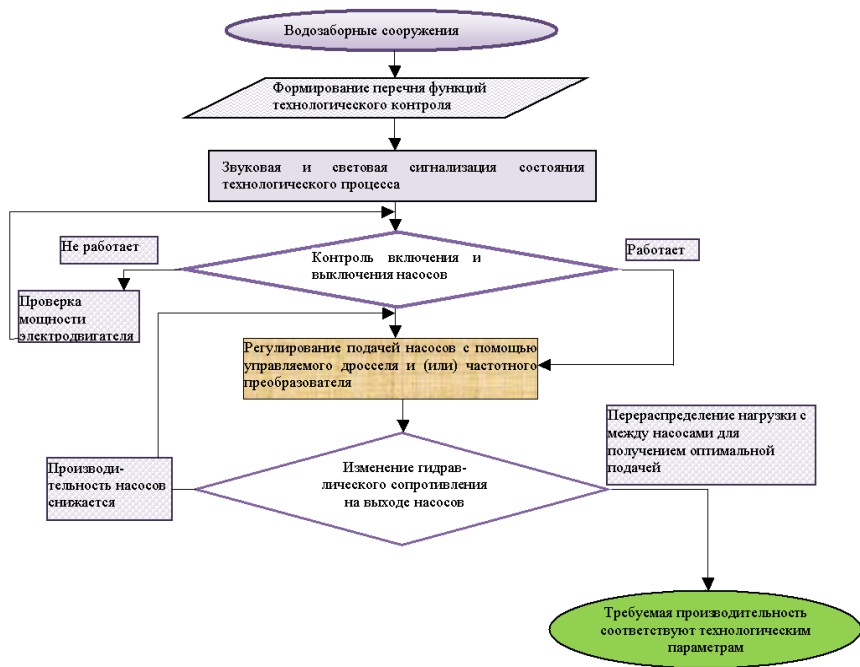


Рис. 2. Алгоритм системы контроля работы погружных насосов на водозаборных сооружениях

Библиографический список

1. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Выбор расположения сооружений для забора подземных вод. В сборнике: Яковлевские чтения XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. М-во образования и науки Рос. Федерации, Московский государственный строительный университет. 2018.С. 140-144.
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. Современные проблемы управления работой водозабора. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 7-2 (18-2). С. 379-383.
4. Пурусова И.Ю. Энергетически оптимальная работа водозаборных сооружений из подземных источников. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. Т. 45. № 4. С. 59-67.

5. Пурусова И.Ю. Фактическая производительность погружных насосов. Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 4 (120). С. 26-28.
6. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Анализ совместной работы водозаборных сооружений из подземных источников. В книге: Методология безопасности среды жизнедеятельности Программа и тезисы IV Крымской Международной научно-практической конференции. Под редакцией: А.Т. Дворецкого, Т.В. Денисовой, А.Е. Максименко. 2017. С. 85.
7. Чижик К.И., Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Энергетические затраты на подъем воды из подземных источников. В сборнике: XV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева «Яковлевские чтения». 2020. С. 208-211.
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. Hurynovich A., Syczewa E. Methodology for designing underground water intakes taking into account the life cycle of deep-water and pumping wells. V international scientific and technical conference " Innovations in water pipelines and sewers», Warsaw. 2016. P. 128-13.
10. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздушных установках. Москва: Энергопромиздат, 2006. 360 с.
11. Фисенко В.Н. Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22–33.
12. Фисенко В.Н. Оценка энергоэффективности насосов в системах водоснабжения. В сборнике: Яковлевские чтения XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. М-во образования и науки Рос. Федерации, Московский государственный строительный университет. 2018. С. 116-123.
13. Фисенко В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения. Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 6. С. 52-63.
14. 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.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИЕЙ ГОРОДСКОЙ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

М.А. Разаков, аспирант, НИУ МГСУ; ассистент, НИУ МЭИ

Российская Федерация является страной в которой, приблизительно, 70% территории находится в зоне суровых климатических условий [1]. Экстремально низкие температуры фиксируются как в умеренном климатическом поясе так и в арктическом поясе. Поэтому особую актуальность для нашей страны приобретает организация системы теплообеспечения здания или сооружения. В структуре жилищно-коммунального хозяйства города помимо гражданских и промышленных зданий существуют и сооружения, обеспечивающие работу санитарно-технических инженерных систем. К таким зданиям относятся и городские канализационные насосные станции (ГКНС).

В ходе обследования инженерных систем обеспечения микроклимата 4 канализационных насосных станций, расположенных в Северо-Восточном Административном Округе города Москвы, было выделено 2 вида систем отопления относительно расположения основных элементов: центральная и местная. В станциях средней производительности (от 10 до 250 тыс. м³/сут) в основном используются местные электрические системы отопления, где происходит прямое преобразование электрической энергии в тепловую в обогреваемых помещениях [3]. На рис. 1 представлен внешний вид чугунного радиатора с электрическим блоком подогрева и заземлением. На рис. 2 представлена электрическая лучистая панель.



Рис. 1. Чугунный радиатор на КНС малой производительности (машинный зал)



Рис. 2. Лучистая панель на КНС малой производительности (диспетчерская)

Для подогрева приточного воздуха в данных типах КНС используются электрокалориферы и калориферы, присоединенные к тепловому насосу. В качестве низкопотенциального источника тепловой энергии используется сточная вода. Принципиальная схема теплового насоса представлена на рис. 3 [4].

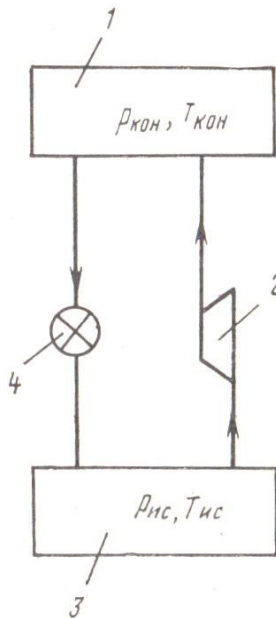


Рис. 3. Принципиальная схема компрессионного теплового насоса
 1 – конденсатор (теплообменник в приточной установке); 2 – компрессор;
 3 – испаритель; 4 – регулирующий вентиль

В КНС большой производительности (более 250 тыс. м³/сут) используются водяные системы отопления. Источником тепловой энергии является либо наружная система теплоснабжения города либо электрический котел. В грабельном отделении устанавливается аварийная система отопления [5]. Системы подогрева приточного воздуха в основном аналогичны системам подогрева, которые используются в низковольтных КНС за исключением насосных станций, где возможно присоединение к внешним тепловым сетям. На рис. 4 представлен обычный конвектор без кожуха, расположенный в грабельном отделении [4]. На рис. 5 представлен испаритель, расположенный в машинном зале.

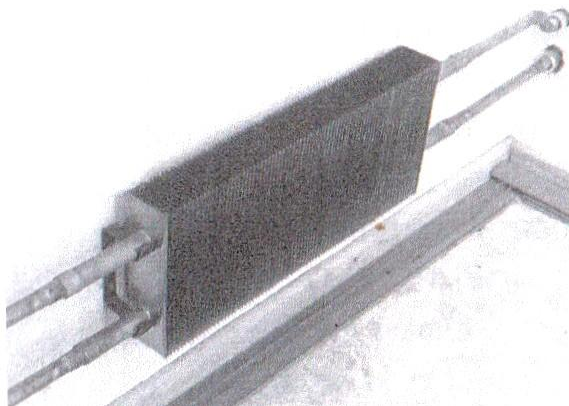


Рис. 4. Внешний вид конвектора без кожуха



Рис. 5. Испарительный блок теплового насоса в КНС большой производительности

Заключение: В данной работе рассмотрены основные виды систем отопления на некоторых канализационных насосных станциях г. Москвы. Системы теплообеспечения, исследованных насосных станций, имеют различия в основных конструктивных элементах и видах источников тепловой энергии. Они зависят как от вида КНС так и от возможности подключения сооружения к различным инженерным системам.

Библиографический список

1. Разаков М.А. Сравнение потребления энергоресурсов и показателя энергоемкости для "Северных" стран мира // В сборнике: ДНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ. сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института инженерно-экологического строительства и механизации. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2017. С. 368-371.
2. Сайт Мосводоканала [Электронный ресурс]. – М.: ОАО Мосводоканал, – Режим доступа: <http://www.mosvodokanal.ru/>, свободный.
3. Махов Л.М. Отопление. – Москва, АСВ, 2014.
4. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1983. 320 с.
5. Рымаров А.Г., Разаков М.А., Чернова Р.В. Управление работой системы отопления на канализационных насосных станциях // Естественные и технические науки. 2017. № 12 (114). С. 293–295.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА АЭРОПОРТОВ

С.Г. Савенкова, аспирант, НИУ МГСУ; Е.С. Гогина, к.т.н., доцент, НИУ МГСУ

Система водоотведения является неотъемлемым компонентом многих предприятий, в том числе и аэропортов. В статье рассмотрены особенности системы водоотведения стоков аэропортов, а также локализация уровня загрязнений в поверхностном стоке этиленгликоля, который негативно воздействует на окружающую среду.

Обозначения и сокращения

АГМ – антигололедные материалы.

АГР – антигололедные реагенты.

БПК – биологическая потребность в кислороде.

ВС – воздушное судно.

НДС – нормативы допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей.

ПАВ – поверхностно-активные вещества.

ПГМ – противогололедные материалы.

ПГС – песчано-гравийная смесь.

ПДК – предельно допустимая концентрация.

ПДС – предельно допустимый сброс.

ПОЖ – противообледенительные жидкости.

ПОЗ – противообледенительная защита.

ПСС – пескосоляная смесь.

Росавиация – Федеральное агентство воздушного транспорта.

СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества.

ХПК – химическая потребность в кислороде.

Виды сточных вод аэропортов

Стоки образующиеся в процессе деятельности аэропорта можно классифицировать следующим образом:

Дождевой сток – образуется в летний период времени и в целом характеризуется стандартными показателями. Может очищаться на классических очистных сооружениях. Данный сток не всегда является определяющим на участке, так как в зависимости от типа территории определяющим по объему или загрязнению может являться талый сток.

Талый сток – образуется в зимне-весенний период времени во время таяния снега. Характеризуется низкой температурой и повышенной концентрацией загрязнений.

Из специфических компонентов в нем могут содержаться:

– антигололедные реагенты (АГР) на основе форматов и ацетатов;

- антигололедные реагенты (АГР) на основе нитратов;
- противообледенительные жидкости (ПОЖ) содержащие этиленгликоль.

Производственно-дренажный сток (ПДС) – образуется в зимнее время и представляет из себя концентрированный сток из противообледенительных жидкостей ВС и антигололедных реагентов ВПП. Данный вид стока образуется ежедневно в небольших объемах по сравнению с дождевыми и тальными стоками, но его концентрация является сильно превышенной для подачи на очистные сооружения. Данный вид стока желательно собирать клининговыми машинами и утилизировать отдельно.

Хозяйственно-бытовой сток – постоянный сток, образующийся от посетителей и обслуживающего персонала терминального комплекса.

Слив туалетов ВС – образуется в относительно небольшом количестве, но является сверхконцентрированным по загрязняющим веществам, в добавок в нем присутствуют опасные для микроорганизмов соединения (ЧАМС), которые тормозят биологическую очистку и полностью выводят очистные сооружения из строя.

Определяющие факторы, оказывающие воздействие на поверхностный сток аэродромов

Состав поверхностного стока аэродромов на предмет содержания химических веществ и примесей требует качественного анализа. Химические вещества и примеси способны оказывать воздействие на четыре определяющих фактора экологической направленности:

- загрязнять поверхностный сток сверх норматива ПДК и/или норматива ПДС, установленных требованиями государственных органов и стандартов при отведении возвратных (сточных) вод в поверхностные водные объекты: водоемы, водотоки и моря;

- загрязнять грунтовые воды в результате просачивания поверхностного стока (преимущественно талых вод) в почвогрунт до его подачи на очистные сооружения;

- оказывать прямое или опосредованное негативное влияние на работоспособность сооружений и оборудования, предназначенных для очистки поверхностного стока аэродрома, а именно препятствовать достижению качества возвратных (сточных) вод в соответствии с ПДК и ПДС или исключать применение определенных технологий очистки воды;

- препятствовать использованию воды для орошения зеленых насаждений, преимущественно травяного покрова боковых и концевых полос безопасности.

Характерными источниками и причинами загрязнения поверхностного стока аэродромов экологически опасными веществами и материалами являются:

1. Разлив, утечки, оседающие выбросы и прочие потери нефтепродуктов (топливо, смазочные материалы), включая неполное сгорание топлива;

2. Применение противообледенительных жидкостей для обработки ВС (ПОЖ на основе гликолей);

3. Применение антигололедных реагентов (АГР на ацетатной, формиатной, карбамидной и нитратной основах с добавлением ингибиторов коррозии на основе фосфатов);

4. Абразивный износ твердых покрытий, содержащих нефтепродукты (асфалтен, битумы) и нефтеполимерные пропиточные составы;

5. Абразивный износ шин (покрышек) авто- и авиатехники;

6. Коррозия металлоконструкций (оборудование, техника) с выделением в окружающую среду ионов железа и тяжелых металлов;

7. Оседающие выбросы сажи двигателями самолетов;

8. Ветровой нанос пыли (частиц грунта) и растительных остатков (органический мусор) с грунтовых элементов лётного поля аэродрома, газонов и т.п., случайный хозяйственно-бытовой мусор с перрона и других поверхностей;

9. Аварии и чрезвычайные ситуации:

9.1. Аварийный разлив топлива;

9.2. Применение химических средств пожаротушения.

В общем случае, все нормируемые вредные вещества, загрязняющие поверхностный сток, можно подразделить на три группы:

1. химические вещества и элементы – химический состав конкретизирован;

2. взвешенные вещества – химический состав не конкретизирован; нормируется концентрация механических примесей в воде без учета химического состава;

3. ХПК и ВПК – показатели загрязнения воды органическими веществами без учета их химического состава; оба показателя взаимосвязаны: ХПК включает в себя ВПК, т.е. всегда выполняется условие $ВПК < ХПК$; ВПК отражает содержание в воде биоразлагаемых органических веществ; БПК_{полн.} – важный нормативный показатель качества воды на сбросе в водный объект.

Перечень приоритетных загрязняющих веществ для аэродромных покрытий позволяет определить необходимость применения известных технологий очистки сточных вод, включая поверхностный сток:

1. Крупные включения, удаляемые на процеживающих решетках: весть, пластиковая тара, фрагменты искусственного покрытия и шин, т.п.;

2. Загрязняющие вещества, удаляемые посредством гравитационного осаждения (отстаивание в емкостных сооружениях):

– быстрооседающие примеси: продукты абразивного износа твердых покрытий и шин; частицы песчаного грунта и пыли; фрикционные антигололедные материалы; намокшие растительные остатки; продукты истирания и коррозии железа;

– неоседающие коллоиды и плохооседающие тонкодисперсные примеси, которые после обработки стока коагулянтном и флокулянтном трансформируются в быстрооседающие примеси: тонкие продукты абразивного из-

носа твердых покрытий и шин; частицы глинистого грунта; разложившиеся растительные остатки; сажа и тонкий абразив моющих средств (полирующие добавки); гидроокиси тяжелых металлов; эмульгированные нефтепродукты; фосфаты.

3. Загрязняющие вещества, удаляемые посредством самопроизвольной флотации (отстаивание в емкостных сооружениях): плавающие вещества и всплывающие примеси: неэмульгированные нефтепродукты, растительные остатки, органический (хозяйственно-бытовой) мусор.

4. Водорастворимые загрязняющие вещества, поддающиеся сорбции: растворенные нефтепродукты, СПАВ, катионы и соединения тяжелых металлов.

5. Водорастворимые загрязняющие вещества, поддающиеся только биологической деструкции:

– гликоли, ацетаты, формиаты, ПАВ – группа органических веществ, определяющих концентрацию ВПК;

– карбамид и нитраты: азотсодержащие вещества в составе АГР, подверженные биологической аммонификации, нитрификации и денитрификации с образованием безвредного газообразного азота;

– биоразлагаемые детергенты: ПАВ в составе ПОЖ, АГР и моющих средств.

Контроль поверхностного стока на аэродроме

Наибольшую экологическую и, соответственно, производственно-эксплуатационную проблему формируют загрязнения поверхностного стока аэродромов в результате применения АГР на ацетатно-формиатной основе, АГР на основе соединений азота (мочевина и нитраты), и ПОЖ на гликолевой основе. Использование АГР и ПОЖ осуществляется преимущественно в холодное время года, что в обобщенном виде отражает место базирования аэродрома по критерию дорожно-климатическая зона (ДКЗ). Количество применяемых в аэропорту АГР в общем случае зависит от погодных условий, т.е. от принадлежности к ДКЗ, в меньшей от интенсивности полетов, т.е. от объема пассажирских перевозок. И все же есть тенденция, что чем интенсивнее пассажиропоток в аэропорту, тем в большем количестве используется АГР для обработки РД и ВПП. Количество применяемых ПОЖ напрямую зависит от объема пассажирских перевозок.

Соответственно, концентрация ацетата, формиата, этиленгликоля и пропиленгликоля, а также нитратов, мочевины и продуктов ее биотрансформации (аммоний и нитриты) напрямую должна зависеть от двух определяющих характеристик аэродрома:

1. Годовой объем пассажирских перевозок;

2. Дорожно-климатическая зона аэродрома.

В определенной степени от пассажиропотока, т.е. от числа прилетов и вылетов воздушных судов, зависит концентрация в поверхностном стоке нефтепродуктов и СПАВ. Другие не перечисленные выше загрязняющие

вещества, характерные для поверхностного стока аэродромов, в потенциале не имеют строго выраженной сезонной динамики, климатических особенностей и зависимости от пассажиропотока.

При организации производственного контроля поверхностного стока на аэродроме следует различать перечень показателей для исходной (до очистных сооружений) и очищенной (после очистных сооружений) сточной воды.

В исходном стоке следует анализировать те показатели, которые удовлетворяют одновременно трем нижеперечисленным условиям, а также необходимы для выполнения четвертого условия:

- концентрация загрязняющего вещества подвержена значимому изменению во времени;

- в процессе очистки сточной воды данное загрязняющее вещество подвержено удалению (осаждение, флотация, разложение, трансформация, сорбция и т.д.);

- информация о текущей концентрации загрязняющего вещества может быть получена оперативно и также оперативно использована для коррекции режима эксплуатации очистных сооружений или осуществления адекватных действий на территории водосбора по устранению источника залпового (нетипично высокого) поступления загрязняющего вещества;

- получение данных необходимых и достаточных для составления материального баланса загрязняющих веществ для обоснования финансовых затрат на расходные материалы (реагенты, сорбенты и т.д.), энергоресурсы, размещение отходов очистки.

Химико-аналитический контроль очищенного стока должен быть организован таким образом, чтобы обеспечить два условия:

1. Адекватный производственный контроль эффективности работы очистных сооружений, в том числе с целью корректировки технологического процесса очистки (достаточно 9 показателей);

2. Получение химико-аналитических данных, необходимых и достаточных для составления финансовой и экологической отчетности.

Один из важнейших вопросов производственного контроля состава очищенного поверхностного стока является: «Какие загрязняющие вещества должны быть включены в перечень контролируемых химико-аналитических показателей?».

Наиболее критичным периодом водоотведения поверхностного стока по количеству загрязняющих веществ и отрицательному влиянию на водные объекты является осенне-весенний сезон активного применения ПОЖ и АГР. Поэтому при наличии оттепелей в холодное время года и во время интенсивного снеготаяния производственный контроль состава поверхностного стока по ХПК/БПК, и минеральным соединениям азота (NH_3 , NO_3^- , NO_2^-) должен осуществляться и продолжаться вплоть до момента полного смыва гликолей, ацетата, формиата и соединений азота с поверхности аэродрома.

Возможные технологии очистки поверхностного стока аэродромов и меры по снижению негативного воздействия на окружающую среду

Состав поверхностного стока любого объекта в общем случае и аэродрома в частности определяется тем, из чего он формируется: с каких локальных площадок собираются дождевые, талые и дренажные воды, а также насколько они контактируют с отходами производства и потребления. Нередки случаи, когда производственные сточные воды из-за наличия в них атмосферных осадков классифицируются в качестве поверхностного стока. Большое экономическое и экологическое значение имеет правильное разграничение поверхностного стока на загрязненный сток, подлежащий очистке, и на условно чистый сток, который может быть отведен напрямую в водный объект – водоприемник.

Возможными технологиями очистки поверхностного стока аэродромов, с целью обеспечения ПДК и НДС являются сорбционная и биологическая очистка.

Сорбционная очистка поверхностного стока на активированном угле в существенно ограниченном варианте встречается в России: используется для доочистки воды от остаточных загрязнений (СПАВ и нефтепродуктов). Технология характеризуется высокой стоимостью сорбента и очень жесткими требованиями к качеству механической очистки стока перед его подачей на сорбцию.

Применение биологической очистки поверхностного стока на аэродромах России имеет место, к примеру, в аэропорту Домодедово, где эксплуатируются биофильтры. В странах ЕЭС, США, Канады и Австралии биологическая очистка поверхностного стока с аэродромных покрытий широко распространена. И все же в аэропортах России биотехнологии в сфере очистки поверхностного стока встречаются редко в силу отставания технической базы от природоохранного законодательства.

Применение технологии биологической очистки поверхностного стока аэродромов является необходимым условием обеспечения ПДК и НДС, а необходимость ее применения определяют следующие лимитирующие загрязняющие вещества:

1. гликоли в составе ПОЖ;
2. ацетаты, формиаты, карбамид и нитраты в составе АГР;
3. СПАВ и ПАВ в составе ПОЖ и АГР.

Необходимость применения технологии сорбционной очистки определяется концентрацией СПАВ в поверхностном стоке и во многом зависит от конкретного исполнения сооружений биологической очистки и от порядка обращения со сточными водами, образующимися при обработке ПОЖ и наружной мойке воздушных судов.

Для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду и, прежде всего, здоровье человека, необходим комплекс мероприятий. В рецептуру ПОЖ должны быть введены жидкие органические компоненты, которые могли бы:

1. Иметь большую растворимость и полностью абсорбировать (растворять в себе) неорганические солевые содержания антифризной и ингибиторной части ПОЖ;

2. Вследствие малой летучести являться не только невысыхающими, но и гигроскопичными;

3. По своей природе дополнительно обладать структурирующими или ингибирующими свойствами.

Наиболее рациональным решением видится создание на территории перрона специализированных участков для проведения обработки самолётов, где будет иметься своя система выведения отработанных жидкостей. Вероятнее всего система должна быть замкнутой и иметь инсинераторы (деактиваторы загрязняющих веществ). При этом используемые механизированные комплексы для обработки ВС необходимо модернизировать для точечного распыления растворов по поверхности фюзеляжа.

Принимая во внимание перечисленные нормативные требования и производственные факторы, можно сделать следующие выводы:

1. площадка для обработки воздушных судов ПОЖ должна быть обособлена таким образом, чтобы исключить сток отработанных растворов ПОЖ на прилегающие территории и в водоотводную систему аэродрома, а также полностью исключить или минимизировать приток дождевых вод с прилегающих к площадке территорий;

2. площадка для обработки воздушных судов ПОЖ должна иметь две системы отведения сточных вод с поверхности твердого покрытия:

– сбор промышленных сточных вод – отработанных растворов ПОЖ – на специализированные локальные очистные сооружения промышленной канализации для самостоятельной очистки (обезвреживания) в ограниченном объеме с последующим отведением очищенного стока в ливневую канализацию на глубокую доочистку разбавление дождевым стоком; не исключено, что для крупных аэродромов рационально осуществлять сбор отработанных растворов ПОЖ в накопитель для регенерации и вторичной утилизации гликолей;

– сбор дождевых вод в ливневую канализацию аэродрома в сезон, когда противообледенительная обработка воздушных судов не производится; для защиты общего поверхностного стока с территории аэродрома от загрязнения гликолями предпочтительно, чтобы водоотведение (отсечение) дождевого стока с площадки для обработки воздушных судов ПОЖ в ливневую канализацию аэродрома осуществлялось после смыва остатков гликоля на локальные очистные сооружения, предназначенные для обезвреживания отработанных ПОЖ.

Библиографический список

1. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004.

2. СП 32.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: ФАУ «ФЦС», 2012.
3. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. Дополнения к СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная ред. СНиП 2.04.03-85/ГНЦ РФ ФГУП «НИИ ВОДГЕО». М.: ОАО «НИИ ВОДГЕО», 2014. 88 с.
4. Требования к противогололедным материалам. ОДН 218.2.027-2003. Утверждены распоряжением Минтранса России от 16.06.2003 № ОС-548-р.
5. Инструкция по применению химических реагентов для предупреждения и удаления гололедных образований на аэродромных покрытиях. Министерство гражданской авиации. Государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «АЭРОПРОЕКТ». Москва 1989.
6. ОСТ 54-0-830.74-99. Система стандартизации гражданской авиации. Гражданские аэродромы. Химические реагенты для борьбы с льдообразованием на искусственных покрытиях. Технические требования., 2003.
7. Рекомендации по противообледенительной обработке воздушных судов. Рекомендации «Защита ВС от наземного обледенения» ФАВТ 05.02.2013 № 03.10-7.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ВОДОЗАБОРА КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧЕЙ ВОДЫ

А.В. Сеницын, асп. БНТУ; Ю.Е. Лившиц, доц., к.т.н., БНТУ; Е.А. Клебанов, ООО «Техникон»; Н.А. Гоцкая, ООО «Техникон»

Водоснабжение городов в Республике Беларусь преимущественно осуществляется из подземных водоисточников. Для этого используются скважинные водозаборы, которые в общем случае состоят из группы скважин, подающих воду по сборному водоводу на станции водоподготовки, далее в накопительные резервуары, откуда насосами станций 2-ого подъема подается под нужным давлением в город.

Снижение потребления электроэнергии является одной из важнейших задач для предприятий водоснабжения. Поскольку электроэнергия составляет 20-30% в структуре их производственных затрат [1]. Наиболее энергозатратным процессом в системе водоснабжения является процесс добычи воды.

Водозабор не является статичным объектом и при решении задачи оптимизации его энергопотребления необходимо учитывать ряд факторов и ограничений, приведенных на рис. 1. Что затрудняет его достоверное моделирование традиционными методами.

1. Скважинные насосные агрегаты	1.1 Переменная эффективность работы насосных агрегатов; 1.2 Переменный динамический уровень воды в скважине; 1.3 Износ насосных агрегатов; 1.4 Переменный состав установленных насосных агрегатов.
2. Гидравлическая сеть	2.1 Гидравлическое сопротивление сети; 2.2 Взаимное влияние скважин (эффект передавливания).
3. Внешние факторы	3.1 Переменное водопотребление; 3.2 Тарифы на электроэнергию.
4. Технологические ограничения	4.1 Химический состав воды; 4.2 Время и порядок включения скважин.

Рис. 1. Основные переменные факторы и ограничения, влияющие на решение оптимизационных задач

Как правило, крупные города имеют несколько водозаборов, работающих на общую водопроводную сеть. В таких условиях возникает задача оптимального с точки зрения затрат распределения объемов добычи воды между водоисточниками. Рассмотрим подходы к решению данной задачи, используемые в АСУТП «Акватория».

Типовая структура АСУ ТП водоснабжения и водоотведения (ВиВ) является многоуровневой и состоит из:

1. Полевого уровня, включающего в себя различные КИП (датчики давления, расходомеры и др.), исполнительные механизмы (насосные агрегаты, задвижки и др.);

2. Среднего уровня, состоящего из локальных систем управления на базе программируемых логических контроллеров, преобразователей частоты, а также средств сбора и передачи данных;

3. Верхнего уровня, предназначенного для организации единого централизованного управления системой водоснабжения, построенного на базе SCADA систем – программного обеспечения для сбора данных, диспетчеризации и дистанционного управления, и геоинформационных систем (ГИС).

Цифровые технологии подразумевают в первую очередь обработку большого объема данных, поступающих от всех объектов, входящих в систему, а также взаимосвязанное управление этими объектами. Поэтому соответствующие алгоритмы должны быть реализованы на верхнем уровне АСУ ТП.

Для определения оптимального состава водоисточников АСУ ТП должна решить следующие задачи:

1. Определить, какими водоисточниками может быть подана вода в заданный район города и какое давление для этого необходимо.

2. Определить зависимость технологической себестоимости воды от объема подачи.

3. Найти оптимальное решение, исходя из двух факторов:

3.1 Минимальная себестоимость добываемой воды.

3.2 Минимальные изменения в текущих режимах работы водозаборов.

В качестве инструментов решения задач управления водозабором предлагается использование методов «мягких вычислений» (soft computing), применяемых в условиях неопределенности, недостаточной точности исходных параметров или математической модели объекта в целом. Методы «мягких вычислений» объединяют такие классы алгоритмов, как нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы и др. При создании гибридных интеллектуальных систем данные области используются в различных комбинациях или по отдельности, дополняя друг друга.

Руководящим принципом «мягких вычислений» является «терпимость к неточности, неопределенности и частичной истинности для достижения удобства управления, устойчивости, низкой стоимости решения и лучшего согласия с реальностью» [2]. Этот принцип как нельзя лучше подходит для управления процессами водоснабжения, поскольку провести достоверное и прямое математическое моделирование водопроводных сетей города задача крайне сложная. Данные методы являются компромиссным решением по соотношению результата к затратам.

Для решения первой задачи АСУ ТП может использовать данные из геоинформационной системы, содержащей гидромодель системы водо-

снабжения. Но как альтернативный вариант предлагается использование данных о режимах давления в диктующих точках на сети и их корреляции с выходным давлением насосных станций вторых подъемов.

Для решения задачи определения себестоимости предлагается использование технологии «цифровых двойников». Она позволяет после анализа всех процессных данных, сохранённых в АСУ ТП, создать эмпирическую модель водозабора. Цифровой двойник (англ. digital twin) водозабора – его цифровая копия, подразумевающая использование процессных данных, полученных от объекта водоснабжения, для моделирования различных режимов работы водозабора.

Модель предоставляет достоверные данные о себестоимости воды для каждого из заданных объемов подачи, поскольку она выбирает наименьшую себестоимость из реально зафиксированных режимов работы объекта. При расчете удельных затрат модель учитывает затраты электроэнергии всех водоподъемов, ассоциированных с водозабором, а также затраты на водоподготовку. Состав затрат показан на рис. 2.

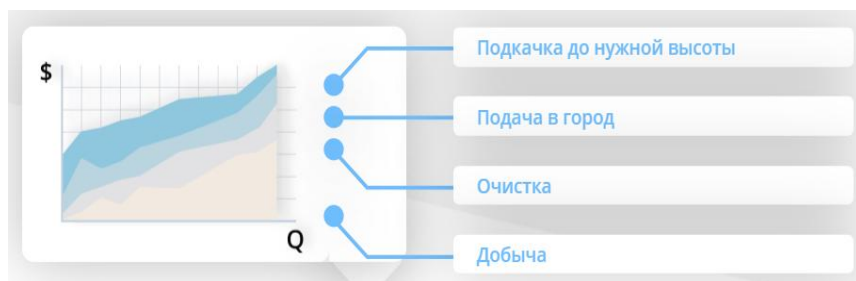


Рис. 2. Состав затрат на транспортировку воды

Для решения оптимизационной задачи алгоритм анализирует измерения с датчиков, агрегированные по дням, а затем строит модель из комбинации параметров расхода и мощности, проверенную на полученных данных с помощью метода наименьших квадратов. Далее алгоритм визуализирует результат идентификации модели поведения объекта водоснабжения в функции стоимости. Пример работы алгоритма показан на рис. 3.

Далее можно произвести поиск оптимального решения задав для функции в качестве критерия минимизацию суммарного энергопотребления и в качестве ограничительных критериев допустимый диапазон варьирования изменения объемов добычи.

Задав широкий диапазон изменения объемов, можно определить потенциал повышения эффективности в пределе. Для определения реализуемого диапазона изменения объема добычи, необходимо определить границы зон влияния водозаборов, что можно сделать с помощью ГИС, либо используя технологию data mining (интеллектуального анализа данных), поиск корреляций между графиками параметров.

Точки на сети, связанные в каждый момент времени с водозабором, определяются по степени корреляции давления в них с выходным давлением насосной станции второго подъема водозабора. Для этого производится попарное аналитическое сравнение графиков давления в различных точках сети.

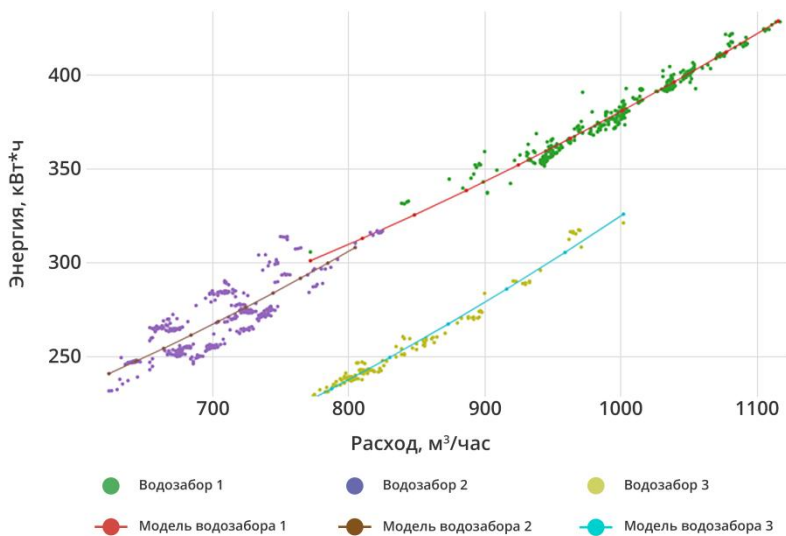


Рис. 3. График зависимости потребления электроэнергии от объема добычи водозабора:

1 – водозабор 1, 2 – модель водозабора 1, 3 – водозабор 2, 4 – модель водозабора 2, 5 – водозабор 3, 6 – модель водозабора 3

Автоматический поиск корреляций подразумевает динамическое определение зон влияния насосных станций в сложной распределённой водопроводной сети. Сложностью анализа корреляции n станций между собой является количество итераций N .

$$N = n^n$$

Критериями для оценки взаимосвязи в таком случае является средняя и мгновенная степень корреляции между заданными объектами водоснабжения.

Автоматический поиск корреляций применяется для диагностики причин возникновения нештатных ситуаций, и оптимальное управление выходным давлением в сетях с взаимным влиянием.

Пример результата работы алгоритма поиска корреляций показан на рис. 4. Каждая цветовая группа обозначает те объекты водоснабжения, степень корреляции которых между собой отвечает критерию оптимальности.

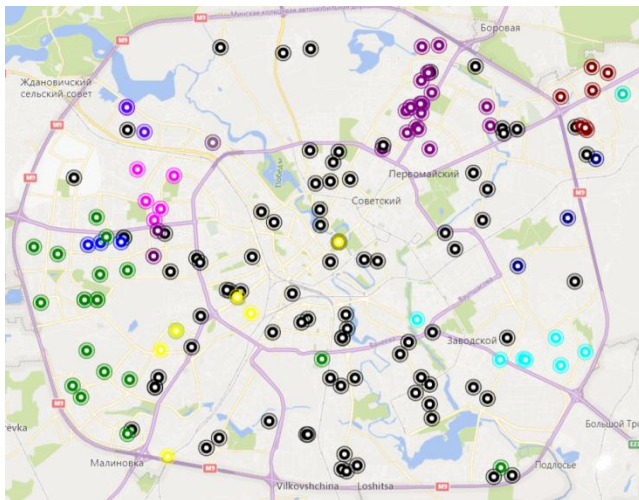


Рис. 4. Пример карты корреляции

Таким образом, современные технологии обработки процессных данных – цифровые двойники и интеллектуального анализа данных, могут позволить АСУ ТП решить задачу по поиску оптимального распределения объемов добычи воды между водоисточниками в городе.

Библиографический список

1. Красин, А. Выгода чистой воды // Живи как хозяин: все о жилищно-коммунальном хозяйстве Республики Беларусь: ежемесячный отраслевой журнал / учредитель Государственное предприятие "Жилкомиздат" – 2017. – № 11. – С. 30-33.
2. Заде Л.А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/интеллектуальных систем. Новости искусственного интеллекта, 2001. № 2-3. – с. 7-11.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ САНИТАРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

И.А. Синянский, к.т.н., доц., каф. строительства, Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва; **О.И. Шипков**, к.т.н., проф., каф. «Архитектура», ФГБОУ ВО РАЖВиЗ Ильи Глазунова, г. Москва; **Е.В. Орлов**, к.т.н., доц., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва; **Е.А. Сергеева**, преподаватель, каф. жилищно-коммунального комплекса, НИУ МГСУ, г. Москва; **О.Н. Зубарева**, к.т.н., доц., каф. архитектурного проектирования, ФГБОУ ВО МИИГАиК, г. Москва

При возникновении чрезвычайных ситуаций, которые вызываются различными средовыми факторами, например, землетрясением, возникает опасность не только разрушения зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, но и также появления различных последствий после окончания стихийных бедствий. В данном случае речь пойдет о возникновении опасности загрязнения территорий человеческими выделениями по причине того, что инженерные системы водоснабжения и водоотведения будут полностью недееспособны.

Как правило, после землетрясений выживших людей размещают в специальные лагеря для временного проживания, обеспечивая их всем необходимым (горячей едой, чистой одеждой и т.д.)

Сбор, накопление и утилизация сточных вод на территории лагеря по размещению людей после землетрясения является важной задачей, которая должна оперативно решаться [1-2].

По мнению авторов, рациональным решением является использование специальных безводных унитазов (туалетов). Они являются самыми простыми в использовании, им не нужно ни электричество, ни вода для своей работы, а также какие-либо другие сложные технические средства. Принцип работы таких безводных унитазов следующий: они собирают фекалии и урину в специальную биоразлагаемую пленку, которую после заполнения можно вывозить на поля ассенизации. В исключительных случаях допускается ее утилизация путем захоронения в грунт, где через несколько месяцев она полностью переработается путем естественного разложения.

В мире себя хорошо и давно зарекомендовал сухой безводный унитаз Rasto шведской фирмы Danfo (рис. 1). Для решения проблемы с обеспечением санитарной надежности территорий государство Япония неоднократно закупала такой приемник сточных вод у Швеции в количестве нескольких тысяч штук. Данный унитаз показал свою хорошую работу в любых природных условиях, выполняя свою функцию без каких-либо сбоев.

Унитаз Rasto состоит из следующих элементов: основание, чаша унитаза с натянутой биоразлагаемой пленкой, сиденье и крышка.

Нижняя часть унитаза является основанием, на которое опираются все остальные элементы. Также оно служит хранилищем для загрязненной биоразлагаемой пленки, которая поступает туда после смыва.

Верхняя часть унитаза – чаша. На нее натягивается рулон полиэтиленовой пленки, которая является биоразлагаемой. После того, как человек воспользовался унитазом, урина и фекалии попадают на эту биоразлагаемую пленку. Далее с помощью механического спуска загрязненная часть пленки проходит через редукторы и направляется в хранилище. На место старой пленки протягивается новая, которая полностью закрывает чашу унитаза.



Рис. 1. Сухой безводный унитаз Pacto (производитель: фирма Danfo (Швеция)) (режим доступа: <https://promtu.ru/wp-content/uploads/2016/07/Biotualet-bezvodnyiy-Pacto-Danfo.jpg>)

Данная пленка является прочной и состоит из нескольких слоев биоразлагаемого полиэтилена. Таким образом, она не будет разрываться при правильном ее использовании и может переноситься с собранными отходами на различные расстояния.

Стандартного рулона такой биоразлагаемой пленки хватает в среднем на одну тысяча смывов. После чего он убирается из прибора, а на его место натягивается новый рулон.

Сверху у унитаза находится сиденье. Чаша унитаза закрывается в верхней части крышкой.

Данный унитаз имеет сборную конструкцию и может быть достаточно быстро собран и приведен в рабочую готовность.

Фирмой Danfo для этого унитаза выпускается различные виды туалетных кабинок, куда он может быть установлен. Возможно регулировать его положение относительно земли.

При необходимости для вентиляции отсека с биоразлагаемой пленкой предусмотрено наличие выходного отверстия для подключения вытяжной трубы с козырьком для естественной тяги.

Целесообразно на территории лагеря установить специальный контейнер, куда будет удаляться такая биоразлагаемая пленка [3-4]. После того, как опасность землетрясения уйдет, данный контейнер автомобильным транспортом будет вывозиться на поля ассенизации.

Таким образом, в лагере в зависимости от количества проживающих людей может быть установлено требуемое количество туалетных кабинок с сухими безводными унитазами.

Опыт Японии на протяжении нескольких лет использования такого сухого безводного унитаза показал перспективность и универсальность такого решения. Единственным требованием становится безотказность поставки биоразлагаемой пленки в виде кассет для данных сухих безводных унитазов.

Такие средовые факторы, как землетрясение, происходят в разных частях земного шара ежедневно. Несмотря на большое количество исследований по этой теме, не всегда удается точно определить, насколько сильным оно будет. Но задача по обеспечению санитарной надежности территорий должна в полной мере быть обеспечена правительством и всеми государствами. Для решения вышеперечисленной проблемы данный сухой безводный унитаз показал очень достойные результаты. Таким образом, использование такого приемника сточных вод рекомендуется и в нашей стране. Для этого целесообразна покупка определенного количества таких приборов для нужд Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС), которые будут использоваться в различных частях нашей страны при ликвидации последствий стихийных бедствий.

Библиографический список

1. Исаев В.Н. Проблемы водоснабжения и водоотведения // Водочистка. 2010. № 4. С. 56-58.
2. Максименко Ю.Л., Кудряшова Г.Н. Охрана водных ресурсов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2015. – 256 с.
3. Павлинова И.И., Баженов В.И., Губий И.Г. Водоснабжение и водоотведение: Учебник для бакалавров. – М.: Издательство «Юрайт», 2012. – 472 с.
4. Наназашвили И.Х., Литовченко Б.А., Бунькина И.А. Благоустройство и экология в городской среде на территории высокоуплотненной застройки // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 1. С. 58-59.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОПРЕПАРАТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖИРОВ, НЕФТЕПРОДУКТОВ И ФЕНОЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ

А.К. Стрелков, проф., д.т.н., АСА СамГТУ; **А.О. Базарова**, аспирант, АСА СамГТУ

В последнее время начали выпускать биопрепараты, адаптированные для использования в области водопроводно-канализационного хозяйства. Применение биопрепаратов для очистки сточной вод, является новым методом очистки и имеет преимущества перед другими технологиями.

Для очистки сточных вод с высоким содержанием жиров, наибольшее распространение на территории Российской Федерации, получила схема, включающая жироловки, усреднители, установки напорной реагентной флотации, биологические очистные сооружения с аэротенками или биофильтрами [1].

Частыми проблемами, выявленными на подобных станциях, являются нестабильная работа установки физико-химической очистки в связи с отсутствием автоматизированных систем корректировки pH и дозирования коагулянта, а также неэффективная работа сооружений биологической очистки, требующая их модернизации для полного окисления органических веществ, нитрификации, денитрификации [2].

Основной проблемой эксплуатации мембранного биореактора, является повышенный иловый индекс, который в дальнейшем приводит к загрязнению мембран, что инициирует большой процент расхода воды на их промывку. При использовании данной технологии, происходит потеря жировых компонентов как вторичного сырья для дальнейшего использования в промышленности [3]. Биомембранные технологии, имеют высокую стоимость по сравнению с традиционными сооружениями.

Биопрепараты отличаются от реагентов тем, что содержат в себе культуры бактерий, которые по определению должны быть непатогенными и нетоксичными, поэтому их применение безопасно, экологично и не приводит к загрязнению образующихся осадков [4]. При попадании в питательную среду бактерии быстро поглощают субстрат в виде органических веществ, не оставляя патогенным микроорганизмам возможности для развития.

Объектом исследования является, маслоэкстракционный завод г. Безенчука, на котором производился сбор и анализ общих данных. Осуществлен отбор проб с различных участков и проведены исследование в лабораторных условиях, которые показали следующие концентрации по различным показателям.

Из чего можно сделать вывод, что значительные превышения по жирам в цехе рафинации, небольшие превышения по фенолам в экстракционном участке, по нефтепродуктам превышения отсутствуют.

Также по 6 показателям были оценены поступающие сточные воды и очищенные сточные воды.

Концентрация стоков с различных технологических участков маслоэкстракционного завода г. Безенчук

Опред. показатели	Цех рафинации	ТЭЦ	Прессовой участок	Экстракционный участок	Ед. изм
БПК-5	446 ± 40	< 0,5	< 0,5	381 ± 34	мгО ₂ /дм ³
ХПК	960 ± 144	< 4,0	< 4,0	740 ± 111	мг/дм ³
РН	6,0 ± 0,2	8,6 ± 0,2	7,5 ± 0,2	7,1 ± 0,2	ед. РН
Жиры	2224,0	27,0 ± 3	7,0 ± 1,3	8,4 ± 1,5	мг/дм ³
Нефтепродукты	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	мг/дм ³
Фенол	-	0,040 ± 0,012	0,050 ± 0,015	0,068 ± 0,021	мг/дм ³

Таблица 2

Концентрация поступающих сточных вод на очистные сооружения маслоэкстракционного завода г. Безенчук

Опред. показатели	До очистки	После очистки	Ед. изм
БПК-5	196 ± 6	50 ± 6	мг О ₂ /дм ³
ХПК	410 ± 16	108 ± 16	мг/дм ³
РН	7,3 ± 0,2	6,9 ± 0,2	ед. РН
Жиры	326 ± 3	38 ± 3	мг/дм ³
Фенол	< 0,11	< 0,0005	мг/дм ³
Нефтепродукты	2,87 ± 0,72	< 0,0005	мг/дм ³

На основании полученных данных можно сделать вывод, что до норм ПДК водоема рыбохозяйственного назначения очистка не осуществлена.

Далее в лабораторных условиях была проведена серия опытов по подбору оптимальных доз биопрепарата. Диктующими показателями, для оценки результатов исследования, являлись: жиры, нефтепродукты, фенолы.

Исследование биодеструкции на сточных водах предприятий маслоэкстракционной промышленности, производилось в лабораторных условиях. Точка отбора: цех рафинации – исходная концентрация жира 2224,0 мг/дм³.

Ожидание от результатов исследования, были следующие: чем больше концентрация жиров, тем интенсивнее идет процесс биодеструкции.

Следующая точка отбора: резервуар-усреднитель перед очистными сооружениями, исходная концентрация жира 326 мг/дм³, важно отметить, что эксперимент проведен в статических условиях без накопления/наращивания биомассы, также нет дополнительных сооружений очистки.

Результаты применения биопрепарата Microbelift с исходной концентрацией жиров 2224,0 мг/дм³

Дозировка биопрепарата (г/л)	Жиры (мг/дм ³)
5	1526
8	1198
10	890
12	344
14	281
16	199

Таблица 4

Результаты применения биопрепарата Microbelift с исходной концентрацией жиров 326 мг/дм³

Дозировка биопрепарата (г/л)	Жиры (мг/дм ³)	Нефтепродукты (мг/дм ³)	Фенол (мг/дм ³)
0,3	309	0,5	<0,01
0,5	277	<0,1	<0,01
0,7	151	<0,01	<0,001
1	75	<0,005	<0,0005
3	61	<0,005	<0,0005
6	54	<0,005	<0,0005
10	35	<0,005	<0,0005
12	22	<0,005	<0,0005
15	14	0,5	<0,01
17	6,8	<0,1	<0,01

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение биопрепарата для очистки сточных вод с высоким содержанием жиров, нефтепродуктов и фенольных примесей показал высокий эффект очистки. Нормативы допустимого сброса в городскую канализацию, были достигнуты в статических условиях без применения дополнительных способов очистки. Комплексное воздействие биопрепарата и экологичность обуславливает высокую перспективность его использования.

Библиографический список

1. Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под общ. ред. В. Н. Самохина. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
2. Воронов, Ю. В. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / Ю. В. Воронов и др. – М.: Стройиздат, 1990. 224 с.

3. Видякин М.Н., С.А. Гарипова Особенности внедрения мембранных биореакторов для обработки сточных вод // Экология производства. 2014. № 11. С. 61-68.
4. Блинов, В. А. Пробиотики в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. – Саратов : ИЦ "Наука", 2011. 171 с.
5. «Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90026».

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ СТОКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Р.Ж. Тулеушова, инженер; **М.К. Наурызбаев**, д.т.н., профессор; **И.А. Абдурашулов**, д.т.н., профессор КРСУ

Введение

В настоящее время в Казахстане и Кыргызстане распространена практика, когда предприятия, не находящиеся в государственной собственности, препятствуют проведению мониторинга промышленных стоков на их территории. При этом предприятие предъявляет для контроля оборудованный по проекту канализационный сток технической воды, который соответствует экологическим нормативам, чем ограничивается экспертиза работы очистных сооружений.

В тоже время имеет место деградация первоначальных характеристик оборудования и очистных сооружений в процессе эксплуатации. Основная причина этого, очевидно состоит в том, что производство и очистные сооружения в совокупности образуют сложный гидротехнический цикл. Поскольку вероятность неучтенного отказа системы пропорциональна (в большинстве случаев) количеству узлов, из которых она состоит, то это приводит к тому, что наряду с проектным канализационным стоком предприятия, со временем будет проявляться некоторая доля неучтенных стоков.

Оценка качества очистных сооружений в большинстве случаев производится по канализационным стокам, оставляя открытым вопрос о количестве и составе неучтенных выходов.

Помимо искажения оценки экологической ситуации, отсутствие данных по неучтенным стокам не дает возможность проектировщикам адекватно корректировать исходный проект, тем самым закладываются предпосылки для тиражирования недоработок присущих конструкции очистного сооружения. Недостаток информации о результатах промышленной эксплуатации очистной системы, негативно сказывается на разработке и проектировании более совершенных устройств.

В условиях, когда возможности независимой инспекции существенно ограничены, альтернативным способом получения нужной информации становится мониторинг, проводимый за периметром производственной зоны. Ниже приводится обзорное описание методологии, использующей беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для реализации данной задачи.

Общее описание методологии

Неучтенные стоки уходят за периметр предприятия в виде открытых неучтенных стоков, также имеет место попадание стоков в грунтовые воды. Характерной чертой неучтенных стоков за пределами предприятия является то, что их относительно небольшое количество распространяется на

большую площадь. Это создает сложности для наземного мониторинга, но одновременно является предпосылкой для использования средств дистанционного зондирования, которые дают интегральную (по площади) оценку измеряемых параметров.

Существует множество примеров прикладного использования БПЛА [1, 2], в том числе и для мониторинга воды [3-5]. Несмотря на внешнее сходство миссий БПЛА по дистанционному зондированию, целевое использование БПЛА для мониторинга неучтенных стоков вблизи границ предприятия требует решения ряда специфических задач, в числе которых:

- выбор бортовой аппаратуры;
- разработка специализированных методов обработки данных;
- определение правил составления полетного задания;
- разработка нормативов на тип БПЛА;
- разработка правил и нормативов по обеспечению безопасности полетов.

Неучтенные стоки могут проявляться как в виде открытой воды – ручейки и лужи, так и распространяться подпочвенными водами. Это обстоятельство инициирует разработку двух основных и принципиально разных способов оценки стоков в описываемом подходе.

Первая задача решается путем оценки одного прямого признака загрязнения – наличия интерференционной пленки на поверхности воды, свидетельствующей о наличии нефтяных примесей. Для ее решения можно задействовать подход, изложенный в [6, 7], который здесь можно кратко пересказать следующим образом.

Полученный снимок водной поверхности представляет собой растровый массив битовых данных, несущих информацию об интенсивностях в трех цветовых каналах. Легко видеть, что растровому массиву можно сопоставить некоторую функцию от изображения, зависящую от двухмерных координат и интенсивностей в каналах. Эта математическая функция не имеет наглядной физической интерпретации.

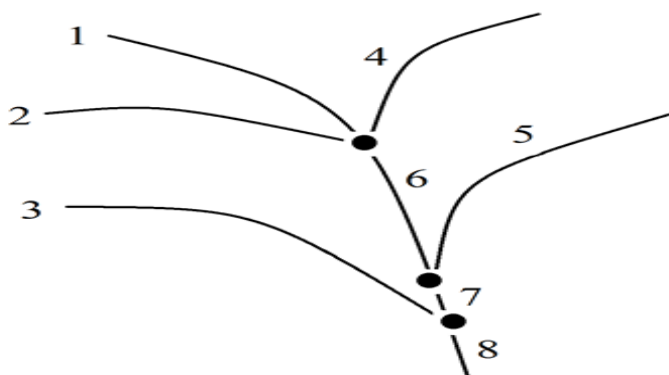
Данная функция, соответствующая гладкой поверхности чистой воды будет играть роль невозмущенной функции. Возмущенная функция будет соответствовать, например, водной поверхности при наличии волн или замутнений. Другой случай возмущенных функций создают интерференционные пленки на поверхности воды. Число функций возмущений бесконечно велико, но это множество функций разбивается на классы, соответственно физической причине вызвавшей данное возмущение. Тогда все возмущения, вызванные ветровым воздействием на поверхность воды, будут отнесены к одному классу, возмущения обусловленные замутнением воды к другому и т.д.

Особый класс составят функции, появившиеся вместе с нефтяными загрязнениями в виде тонких поверхностных пленок, создающих интерференционную картину в отраженном свете.

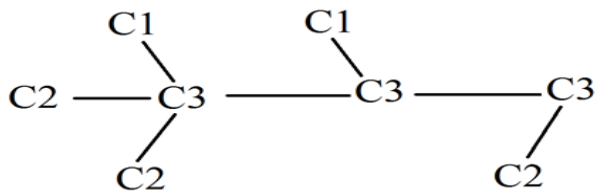
Способ измерения расстояния между двумя функциями, т.е. попросту различий между ними в математике называется функциональной мерой. В

[6] показано, как надлежащим выбором меры можно определить класс возмущенных функций, соответствующих колебаниям мостового пролета, опасных для устойчивости сооружения. Здесь функциями возмущения являлись просто фазовые траектории в фазовом пространстве, образованном интегральным импульсом пролета и пространственной координатой, взятой вдоль оси пролета. Для случая растрового изображения используется, условно, аналог фазового пространства в координатах трех цветовых интенсивностей RGB и пространственных координат x и y .

Важно, что таким образом бесконечно большому числу функций в классе можно сопоставить единственный образ, характеризующий класс в целом. Например, в [7] описан алгоритм, отображающий фигуру, изображенную на рис. 1, а, в структурную формулу на рис. 1, б.



а)



б)

Рис. 1. Геометрический образ и его структурная формула [7]

Существенно то, что структурная формула остается неизменной для любой геометрической фигуры из бесконечно большого числа фигур, топологически подобной исходной. Для класса возмущенных функций, обу-

словленных наличием нефтяных загрязнений, можно также выбрать некоторую меру, которая отобразит данный класс в некоторый уникальный образ.

Таким образом, при наблюдении открытой воды, перед бортовым комплексом БПЛА ставится задача распознавания образа возмущенной функции, соответствующая структурной формуле интерференционной картинки. В этом случае имеется только одна более или менее надежная оценка, это оценка нефтяных загрязнений.

Более широкий спектр оценок загрязнения присутствует в мониторинге состояния чистоты подпочвенных вод. Часть сточных вод попадают в почву и путем фильтрации или, попадая в грунтовые воды, оказываются за пределами предприятия. При этом изменения в минеральном составе воды, даже в небольших количествах, способны заметно повлиять на вегетативную способность сосудистых растений. Зеленая растительность является естественным усилителем для процесса измерения состава подземных вод.

Вегетативная способность в дистанционном зондировании оценивается вегетативным индексом:

$$NDVI = \frac{\beta_{NIR} - \beta_{RED}}{\beta_{NIR} + \beta_{RED}}, \quad (1)$$

где β_{NIR}, β_{RED} — отражательные способности объекта съемки в ближнем инфракрасном и красном цвете соответственно. Этот индекс сильно зависит от состояния здоровья растений.

Существует обширная литература по использованию БПЛА для оценки вегетативных индексов $NDVI$ в сельском хозяйстве. Однако в нашем случае прямое измерение этих параметров для оценки степени загрязненности грунтовых вод результата не даст. Это связано с тем, что вегетативный индекс, помимо качества питания растений, зависит также от стадии вегетации, сорта растений и плотности растительной массы. Выделить из данной совокупности факторов влияние только загрязнения достаточно сложная задача, но она специфична для излагаемой методологии мониторинга.

Здесь могут оказаться полезными статистический метод, основной посыл к которому заключается в следующем. При выполнении полетного задания БПЛА обследует достаточно большую площадь. Если разбить эту площадь на большое число квадратов, то в каждом квадрате могут оказаться как здоровые, так и болезненные растения.

Первым шагом, на изображении сохраняются только пиксели зеленого диапазона, и только они учитываются в дальнейшем расчете. Пусть W_i — индекс $NDVI$ i —го квадрата, D_{ik} — количество растений k —го сорта в i —м квадрате, h_k — отражательная способность k —го сорта, p_k — коэффициент здоровья растений k —го сорта. Тогда в линейном случае можно представить:

$$W_i = \sum_{k=1}^n D_{ik} h_k p_k + \varepsilon_i, \quad (2)$$

где ε_i — ошибка измерений в данном квадрате. Коэффициент p_k равен 1 для здорового растения и нулю для погибшего. Согласно данным исследований [8], обычно его значение для живых растений, питающихся загрязненной водой может опускаться до 0,6-0,8. Для соседних квадратов будет:

$$W_i - W_{i+1} = e_i. \quad (3)$$

Здесь e_i — отклонение, не совпадающее по смыслу и значению с ε_i из (1), поскольку ε_i ненаблюдаемая случайная ошибка, а e_i — измеряемое отклонение. Если выбрать порядок нумерации квадратов, например, номера квадратов будут возрастать при обходе изображения сверху вниз и справа налево, то можно видеть, что исходный двумерный растровый массив отобразился в линейное множество M , состоящее из индексов W_i и определенное на части изображения, где находится растительность. В этом случае сохранение малого значения e_i на нескольких подряд идущих интервалах будет свидетельствовать об отсутствии загрязненных вод (предполагается, что разливы неучтенных сточных вод происходят на ограниченных территориях).

Сделанные нестрогие заключения должны быть подкреплены статистическими оценками малости e_i , критерием малости зон разлива сточных вод и, самое главное, статистическими корреляциями вида:

$$\sigma_{ik} = \text{Cor}(W_i, p_k) \text{ и } \rho_{ik} = \text{Cor}(W_i, h_k). \quad (4)$$

Для однородного растительного массива в отсутствии загрязнений регрессионная линия W является прямой с нулевым угловым коэффициентом и обладающей свойством гомоскедастичности.

При условии, что размер зоны загрязнения мал в сравнении с размером M , очаги поражения растений будут наблюдаться как выбросы, нарушающие гомоскедастичность.

Уравнения (2,3) могут составить основу для линейной статистической модели, в рамках которой коэффициенты p_k будут интерпретированы как факторы нарушающие гомоскедастичность генеральной совокупности, состоящей из всех элементов M .

Данный подход сейчас находится в стадии разработки и здесь статистической моделью регрессии может быть метод обобщенных наименьших квадратов (Айткен, 1935) или, в случае, когда h_k представляется вероятностной моделью — моделью Хендерсона [9, 10], исходящей из функции максимального правдоподобия.

Заключение

Идея независимого контроля неучтенных сточных вод крупных предприятий, поддерживается местными органами власти, которые готовы преследовать по закону нарушителей экологических нормативов, но без захода на территорию нарушителя не располагают средствами сбора объективных доказательств.

С другой стороны данные о неучтенных стоках могут быть полезными для разработчиков и строителей очистных сооружений, предоставляя информацию, способствующую усовершенствованию очистных сооружений.

Средства дистанционного зондирования могут помочь решить данную проблему при условии технической способности к определению степени загрязненности. В этом отношении предложенные пути определения поверхностных нефтяных пленок и степени загрязнения подпочвенных вод могут оказаться актуальными при разработке мобильных сегментов независимой системы мониторинга.

Библиографический список

1. Компания Agrostream [Электронный ресурс]:/ [https:// agrostream.net/# interface](https://agrostream.net/#interface), заглавие с экрана, дата посещения 3.8.2019.
2. AUVSI –ассоциация беспилотных транспортных систем [Электронный ресурс] / <https://www.auvsi.org/> дата посещения 28.10.2019.
3. Brunner P., Franssen H.J, Kgotlhang L., Bauer-Gottwein P., Kinzelbach W. How can remote sensing contribute in groundwater modeling? *Hydrogeol. J.* 2007, 15, 5–18.
4. El-Rawy M., Fathy H., Abdalla. Integration of remote sensing data and in situ measurements to monitor the water quality of the Ismailia Canal, Nile Delta, Egypt. / *Environmental Geochemistry and Health*, 42, 2101-2120 (2020), Springer, access: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-019-00466-5>.
5. Eunhee Lee Heesung Yoon Sung Pil Hyun & otr., Unmanned aerial vehicles (UAVs) based thermal infrared (TIR) mapping, a novel approach to assess groundwater discharge into the coastal zone / *Limnology and Oceanographics Methods*, F Volume14, Issue 11, November 2016, p.725-735 // first published: 28 July 2016 <https://doi.org/10.1002/lom3.10132>.
6. Наурызбаев М.К., Тулеушова Р.Ж. Описание динамики колебаниями мостовой конструкции в слабой мере. ISSN 2073-0071 Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук № 6 (89), Ч1, стр.149. 2016 г.
7. Nauryzbayev, M. Tuleushova, R. Imangaliev, E. One approach to pattern recognition algorithm in weak measure based on the psychological theory of J. Kelly / *Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education (CITech-2020)*. International Conference, (Almaty) ct. 2020. <https://acagor.kz/conference/citech-2020>.

8. Устойчивость растений к химическому загрязнению : уч. Пособие / сост. Кайгородов Р.В.; Перм. гос. ун-т .: Пермь, 2010, 151 с.

9. HENDERSON, C. R. (1984). Applications of Linear Models in Animal Breeding. University of Guelph.

10. G. K. Robinson. That BLUP is a Good Thing: The Estimation of Random Effects. / Source: Statistical Science, Vol. 6, No. 1 (Feb., 1991), pp. 15-32
Published by: Institute of Mathematical Statistics Stable URL:
<https://www.jstor.org/stable/2245695> //Accessed: 01-11-2019 07:01 UTC.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СООРУЖЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕДЯНЫХ ЗАТОРОВ НА РЕКАХ КЫРГЫЗСТАНА

А.Ш. Токтогулова, ст. преподаватель КГТУ им. И. Раззакова; **И.А. Абдурасулов**, д.т.н., профессор КРСУ им. Б.Н. Ельцина; **Т.З. Масалбеков**, инженер

Как известно, одним из опасных природных явлений во всем мире, приводящих к подтоплению, является затор льда на реках. Особенно явление заторообразование на малых реках, также как больших реках опасны. Например, в городе Бишкек на реках Ала-Арча и Аламедин (см. рис. 1 и 2). Эти реки, протекая через город Бишкек, способствуют озеленению столицы Кыргызстана, снабжая зеленные насаждения поливом в знойные летние дни, далее орошают долины низовья реки Чуй и заполняют водохранилище. Однако, на этих небольших реках, особенно в черте столицы, бывают опасные явления: зимой зажор и затор льда; весной – половодье. При этом, заторы бывают именно в середине зимы, но не ежегодно. На этих реках отсутствует каких-либо защитные гидротехнические сооружения от затора льда с зажорами. Причем, наиболее опасными и труднодоступными местами для очистки ото льда с зажорами были мосты автотранспортные, где невозможно было работать, используя специальную технику. Поэтому на этих опасных участках аварийные работы велись вручную [1]. Несмотря на то, что эти реки являются малыми, образованные заторы льда с зажорами создают для службам МЧС республики и владельцам прилежащим строениям большие проблемы.



Рис. 1. На дне реки Ала-Арча имеется (например, по ул. Токтоналиева), широкий канал с высокими бетонными бортами, где на всю ширину предусмотрены бетонные пороги с перепадами, для ярусной ступеньки с горизонтальной поверхностью, предназначенные для понижения (энергии) скорости течения обильного потока воды, появляющегося в период половодья

Для предотвращения образования заторов с зажорами на определенном участке реки, где часто наблюдаются это явления, предлагались в предыдущее стетья, на способ активный отвод талых вод из-подо льда и прибывших сверху по руслу воды с ледоходом и шугоходом, без разрушения целостности образованного льда, даже со снеговым покрытием. Отвод вод

осуществляется путем вложения по центру русла реки, начиная с конца хвоста предполагаемого затора с зажорами, последовательно соединенных железобетонных желобов в вырытый канал, начало которого с полуворонкообразным забором с откосом и дном углубленным ниже уровня дна русла реки. Предложенный способ исключает образование заторов льда с зажорами на малых реках. Использование предложенного способа может исключить образование затора и зазора, особенно у мостов и гидротехнически – регуляционных сооружений на реках Ала-Арча и Аламедин. Обзор с анализом литературы показал, что выше предложенный способ, в области знаний по борьбе с заторообразованием обнаружены не был. Нами рассматривались наличия и конструкции устройств, сооружений возможные гидротехнически сооружения.



Рис. 2. Вид на зазор за мостом на пересечении р. Ала-Арча и ул. Льва Толстого, снятый с северной стороны моста. Как видно, анализируя ситуацию, близу под мостом работают двое сотрудников МЧС, (они мало заметны). один из них руководит, другой находится за крупным зазорным образованием

В известном учебном пособии “Гидротехнические сооружения”, под редакцией Н.П. Розанова (М.: Агропромиздат, 1985) [2], изложены общие сведения о гидротехнических сооружениях, отмечены особенности и условия их работы, включая общие вопросы проектирования в период существования могущественного и единого государства СССР. В пособии приведены материалы о фильтрации воды под гидротехническими сооружениями и обходе их, описано множество различных гидротехнических сооружений: мелиоративных, водопропускных, водосбросных, плотин, каналов, затворов для регулирования рукава русла, водозаборных и специальных гидротехнических сооружений и конструкций на реках. В этом источнике рассмотрена задача “пропуск льда через водопропускные сооружения” (стр. 74), где отмечено, что гидротехник должен определять условия пропуска льда через створ гидроузла, с учетом возможности задержания льда в верхнем бьефе, для таяния или установления необходимости сброса льда в нижний бьеф через водопропускные сооружения. Далее, в разделе “Специальные гидротехнические сооружения и конструкции”, рассмотрены виды защиты водозаборных сооружений от льда, шуги и мусора (стр. 337), в частности, приводятся конструкции шугосбросов (см. 378-379). Однако, в

этой литературе не рассматриваются специальные гидротехнические сооружения, конкретные конструкции или устройства, препятствующие образованию затора или зажора на реках и на мостах. В другом информационном поле известно много научных работ по борьбе с заторами и зажорами льда, на главным образом на реках России. Рассматривались различные технические решения, в том числе на уровне изобретения, в проблемах ликвидации заторообразования. Например, известны выпущенные в рамках Минэнерго СССР в 1970 году “Методические указания по борьбе с заторами и зажорами льда” (ВСН-028-70/Минэнерго СССР, “Энергия”, Л.) [3], где в его предисловии к которым отмечается, что настоящая работа предназначается для специалистов различного профиля: гидротехников, гидрологов, авиаторов, взрывников, водников и водохозяйственников, принимающих то или иное участие в работах по предупреждению образования заторов и зажоров льда на реках и водохранилищах. Известна книга В.А. Бузина “Зажоры и заторы льда на реках России”, выпущенная в 2015 году в Санкт-Петербурге, (УДК 556.535.5.013) [4]; также есть монография “Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России” [5], с большим числом соавторов, вторым из которых является В.А. Бузин, в которой изложены обобщенные и систематизированные результаты исследования природных явлений зажора и затора льда. Далее, по Интернету как по современному, быстро доступному источнику поиска научных и патентованных работ находим научную работу (УДК 614.8:551.311.2) авторов Г.М. Нигметов – к.т.н., В.И. Пчелкин – к.в.н., Ю.А. Филатов, к.т.н. на тему «Ледовые заторы на реках Российской Федерации (РФ), пути и способы борьбы с ними» [6]. В этой работе подчеркивается географические особенности территории РФ: «На земном шаре Россия больше всех страдает от таких опасных природных явлений как заторы льда на реках. Основными причинами таких ситуаций являются географическое расположение страны на севере Евразии, холодный климат, а также преимущественно северное направление течения большинства российских рек». Однако Кыргызстан, где географическое расположение – Средняя Азия, также не меньше страдает от таких опасных природных явлений как заторы льда и зажоры шуги, не таких крупных, как на Российских реках, но которые происходят не только весной как в России при вскрытии рек, не в осенний период замерзания с образованием зажора шуги, а именно в суровый зимний период, в декабре и январе. Заторы и зажоры бывают не только на реках Ала-Арча и Аламедин, но и на других реках на территории КР, которых в семи областях Республики более 90 единиц, без учета мелких. Но эти реки протекают либо вдали от населенных пунктов, в горных ущельях, и не создают опасности. Либо реки, протекающие через населенные пункты, или города, например Ош (река Ак-Бура) и Нарын (река Нарын), имеющие высокие берега и высотные дорожные мосты, на которых заторы не так страшны, как на выше названных двух реках.

В результате исследований, с наблюдением на опорных постах рек Ала-Арча и Аламедин, в черте города Бишкек, установлено, что заторы

происходят именно в середине зимы, от движения ледяного покрова и, главным образом, от зажора льда, состоящего из рыхлого льда или шуги в русле реки, и особенно, при выпадании обильного снега. Или в следствие потепления, как в зимнее время 2012-2013 и 2017-2018 годов.

Для проведения общего обзора и анализа опасных природных явлений (зажоры и заторы льда на реках), было просмотрено множества доступных видео- и аудиоматериалов по Интернету при многократном их повторении. К сожалению все эти просмотры относились к явлениям на Российских крупных реках Сибири и Дальнего Востока. Но были проведены натурные исследования путем наблюдения, фотографирования и выполнения видео-аудио записей по заторам и зажорам на реках Ала-Арча и Аламедин на территории г. Бишкек. Выполнено множество фотосъемок до и после ликвидации заторов на наблюдаемых участках. Кроме того, были просмотрены информационные материалы, снятые службами МЧС КР [1], и сюжеты телепередач того времени, когда журналисты освещали случившиеся явления. Было проанализировано множество известных изобретений по борьбе с заторами и зажорами на реках. В итоге внимание остановлено на запатентованном изобретении “Сооружение для предотвращения заторообразований на реке” [7].

Сущность выше указанного изобретения по содержанию близко к сущности рассматриваемой проблемы: повышение эффективности предотвращения заторообразований на определенных опасных участках рек, какими являются стойки не высоких мостах, без разрушения целостности образованного льда со снеговым покрытием, путем отвода за пределы моста по желобам, уложенным в канал с углубленным дном, вырытым ниже уровня дна русла реки талых вод из подо льда и прибывших сверху по руслу реки вод с мелким льдом, и шугой.

Задачей данного [7] изобретения “Сооружение для предотвращения заторообразований на реке” была, сохранение целостность образованного льда и снегового покрова на поверхности льда по руслу реки, на определенном участке, начиная спереди, где имеются препятствия движению ледохода и шугохода, главным образом у моста, отвод воды из-под моста по желобам, уложенным в канал с углубленным дном, вырытым ниже уровня дна русла реки.

Поставленная задача решается сооружением, содержащим канал и тело клиновидной формы железобетонного бруса с косыми торцевыми гранями, которые с помощью штифта закреплены на дне реки под острым углом α к направлению речного потока воды, начиная от берега реки до борта последовательно соединенных концами желобов, уложенных в канал с углубленным дном, вырытым ниже уровня дна русла реки, при этом верхние грани борта желобов не превышают уровня дна реки.

Данное техническое решение может решить поставленную задачу, если прибывший сверху поток воды будет только с мелкими льдами и шугами направлены в полуворонкообразный заборный откос 4 (см. ПАТЕНТ за № 2141, фиг.1, [7]). Далее, поток воды устремляется по

течению по каналу 3 с желобами 2, унося мелкий лед и шугу (см. там же). Однако, имеется недостаток по данному изобретению. Но может быть, что к этому моменту уже образованы зажоры и заторы до полуворонкообразного заборного откоса, предусмотренного впереди первого блока желобов, вложенных в вырытый ниже дна реки канал. Могут по полуворонкообразному заборному откосу поступить сверху, совместно с рыхлым льдом и шугой. Кроме того крупные льдины, шириной больше ширины желобов сверху, могут сдвинуться в ранее образованный затор или зажор льда с большим объемом и забить вход в желоба, образуя заторы. Аналогичное явление наблюдается в быту, при переливании густой жидкости с примесями в другой сосуд.

Имеющийся недостаток по патенту [7] объясняется следующим образом. Так как, реки Ала-Арча и Аламедин с высокими бетонными бортами, на всю их ширину предусмотрены бетонные пороги с водосбросами для создания ярусной ступеньки с поверхностью, параллельной горизонтальному дну реки, как показано на фото 1, которые предназначены для понижения (энергии) скорости течения обильного потока воды, появляющегося в период весеннего половодья в реках, в жаркие периоды обильного таяния снега и льда в горах или весенних дождей с ливнями.

Как установлено, наблюдением, в холодный период в начале и конце зимы воды в русле рек Ала-Арча и Аламедин будет мало. Поэтому зимой на дне этих рек, на ярусных ступеньках формируются твердые, довольно толстые корки льда. После снегопада, поверхность льда покрывается снегом. Во время обильного снегопада, вследствие которого происходит понижение мороза, температура в атмосфере будет положительной (такая погода характерна для климата КР). Уровень воды в руслах рек поднимается из-за талых вод и еще поступающих сверху. Тогда под действием силы Архимеда, освобожденные от связи с берегом ледяные покровы поднимаются. Так как температура в стыках между береговыми краями льда и гравиями, или бетонным бортом, или же просто по земляным краям реки разная, ледяные покровы будут освобождены от сцепления с берегом, образуя кромку льда. Поднятые ледяные глыбы (покровы), сверху покрытым снегом, будут двигаться по воде вниз, и при переходе через бетонные ступеньки на дне реки, падая с последней могут разломаться на куски, далее поступают на следующую нижнюю ярусную ступеньку. Однако, из-за небольшой высоты ступеньки, например, как на реке Ала-Арча, не все глыбы льда могут разламываться на достаточно мелкие куски, чтобы потом быть унесенными потоком воды по желобам, вложенным в канал. Здесь могут быть крупные льдины, шириной больше ширины желоба. Поэтому могут образовываться заторы у входа в желоб, быстро заполняя полуворонкообразный заборный откос, объем которого небольшой. Кроме этого, унесенные водой по желобам ледоходы и шугоходы могут также накопиться за мостом, а именно после желобов, вложенных в вырытый канал, где согласно описанию в ПАТЕНТУ № 2141, дно канала под желобом в конце сравняется с дном реки, поэтому и там

могут образоваться заторы и зажоры: после желоба скорость потока воды со льдом и шугой резко уменьшается из-за соответственного резкого расширения живого сечения потока воды. Если есть за бортом желоба течение воды, то их скорости сравниваются. Если нет, то скорость покинувшего желоб потока воды со льдом и шугой уменьшится на нет. За счет вновь поступающей сверху по желобам потока воды с наносами тут быстро накопится шуга и лед и образуется затор. Аналогичное явление имело место за мостом одного из опорно-наблюдательных постов (участок), расположенного на пересечении р. Ала-Арча и ул. Льва Толстого. Такое явление видно на фото 2, где образован именно за мостом крупный зазор льда, сфотографированный автором, зимой в 2012-2013 г.г. Там видно, как зазор льда, скопившись, поднялся с обратной стороны моста, т.е. за мостом, почти перекрывая мост. Как видно, двое сотрудников МЧС КР обследуют образованное явление за мостом (второй сотрудник виден за зазорным образованием. Хорошо виден на цветной фото.). Этот участок считается местом постоянного образования заторов.

Таким образом, недостатком гидротехнического сооружения, ПАТЕНТ за № 2141, является то, что прибывшей сверху по руслу реки крупногабаритный шугоход и ледоход, или прорвавшийся сверху поток и сдвинувшийся затор могут наглухо забить полуворонкообразный заборный откос, образуя снова затор уже у входа в желобы. Еще, унесенные водой по желобам лед и шуга могут накопиться за мостом, образуя также зажоры льда, которые, разрастаясь снизу вверх, могут достичь (дорости до) моста и, перекрыв поток воды, образовать наводнение.

Задачей данной статьи является устранение указанных недостатков указанного патента [7]: повышение надежности работы предложенного в данном патенте сооружений для предотвращения заторообразований на реке путем создание на начале желобов, вложенных в канал, сооружение, в виде высокой железобетонной водосбросной перегородки, в виде водопада с объемным пространством на всю ширину реки, с глубиной, измеряемой от верхней грани бетонного порога водопада, до дна канала под желобами. При этом, длина пространства у водопада, начиная от его порога водопада до торца первого блока желобов, будет равна примерно ширине реки. Береговые стенки реки и боковые стенки пространства водопада из железобетонной плиты будут соединены в стыкованных сопряжениях со стенками первого блока из последовательно вложенных в канал, вырытый на дне реки, желобов. На конце последнего блока желобов будет также сооружен водопад с большим котлованом, шириной примерно равной ширине реки, и как можно большей длиной по руслу реки, куда будут поступать льда и шуга.

Гидротехническое сооружение, в виде высокой железобетонной водосбросной перегородки, с которой спадает водопад с объемным пространством, шириною близкой ширине реки, глубиной, измеряемой, начиная от верхней грани бетонного порога на реке до глубины, наравне с

дном канала под желобов, при этом длина пространства, измеряемая, от его порога до торца первого блока желобов, будет приблизительно ширине реки, образуя достаточно большое пространство для свободного маневрирования льда. При этом береговые стенки реки и боковые стенки пространства из железобетонной плиты будут соединены в стыкованные сопряжения со стенками первого блока желобов, а на конце последнего блока желобов будет также сооружен водопад с большим котлованом, шириной близкой на ширине реки, и как можно большой длиной по течению руслу, куда будут поступать льды и шуга. Такой водопад позволяет в значительной степени разрушить при падений с большой высоты сплошные льдины и комковатые зажорные образования крупных размеров, и далее уносить потоком воды по желобам как лед и шугу, которые будут поступать в котлован, сооруженный на конце последнего блока желобов, где невозможно образование заторов.

Конструкция желобов и водопад, для удобства их транспортировки и монтажа сделаны составными, состоящими из отдельных одинаковых блоков, укладываемых с учетом теплового зазора последовательно встык, в вырытые каналы на дне реки и в поперечный канал под высокие железобетонные водосбросные перегородки, образуя водопад.

Поставленная задача решается тем, что сооружение для предотвращения заторообразования на реках, содержащее, согласно патента , канал и тело клиновидной формы, выполненное в виде железобетонного бруса с косыми торцевыми гранями, закрепляются на дне реки под острым углом α к направлению речного потока, начиная от берега реки до борта желоба, уложенного в канал с углубленным дном, вырытый ниже уровня дна реки, при этом верхние грани борта желоба не превышают уровень дна реки; на начале желобов, вложенных в канал, сооружена высокая железобетонная водосбросная перегородка в виде водопада с объемным пространством, шириною на всю ширину реки, глубиной, измеряемой от верхней грани бетонного порога на дне реки до глубины, наравне с дном канала под желоб, при этом длина объемного пространства водопада будет равна расстоянию до торца первого блока желобов и близка ширине реки. При этом береговые стенки реки и боковые стенки пространства у водопада из железобетонной плиты соединены в стыкованные сопряжения со стенками первого блока желобов, а на конце последнего блока желобов также сооружен водопад с большим котлованом шириной, равной ширине реки, и как можно большой длиной по течению реки, куда поступают льды и шуга.

При большой ширине реки, количество рукавов ручья могут быть много, тогда количество желобов могут быть больше одного, например, три параллельные, и береговые стенки реки и боковые стенки пространства у водопада, выполняются из железобетонной плиты. Они соединены в стыкованные сопряжения с бортовыми стенками первого блока каждого из трех параллельных желобов по остроугольным, клинообразным железобетонным плитам.

Устройство предлагаемое гидротехнического сооружение поясняется чертежами: на фиг. 1 представлен общий вид сооружения, в продольном разрезе по оси русла реки, без потока воды, с указанием вида на стойки, опоры и поперечного сечения перекрытия моста, профиля автодороги и тротуаров с придорожными откосами, или вид согласно разрезу А-А, на фиг. 2 и 3; на фиг. 2 и 3 – общие виды сооружения на реке без указания потока воды, в плане с указанием одному и трем ручейным каналам на дне реки, опоры моста, снятые с них плиты перекрытия, и с указанием элементов сооружения, предусмотренных по прототипу; на фиг. 4 – вид с увеличением, на участке реки с видом на водопад с объемным пространством, согласно выноске Б, на фиг. 1; фиг. 5 – вид с увеличением на конструкцию остроконечной пики -, разколотник льда 20; фиг. 6 – вид с увеличением на поперечное сечение участка реки по объемного пространства на водопаде, согласно сечению Г-Г на фиг. 2, с поворотом на 90°, с фронтальным видом, а также видом, согласно на фиг. – 4 по сечению Г-Г; фиг. 7 – вид на фиг. 4, с указанием происходящих процессов водотока на фоне сооружения водопада и в тот момент потока воды из подо льда, и в момент ледохода, с крупным подвижным ледяным покровом на потоке воды; фиг. 8 – вид с увеличением, как на фиг. 7, в момент активного разламывания поступающего сверху покрова льда крупных размеров, на достаточно мелкие куски, железным остроконечным пиком – разколотником льда.

Гидротехническое сооружение состоит из размещенных по центру русла реки 1 элементов прототипа с одним и тремя ручейными каналами 2 на дне 3 реки 1, вложенными в них желобами 4, состоящим из одинаковых железобетонных блоков и тела клиновидной формы, выполненного в виде железобетонного бруса 5, с косыми торцевыми гранями, закрепленными на дне 3 реки 1 под острым углом α . Далее сооружение состоит из высокой железобетонной водосбросной перегородки в виде водопада 6, объемного пространства 7 после порога 8 водопада 6, где ширина последнего равна ширине реки 1, а его глубина равна глубине, измеряемой от верхней грани бетонного порога 8 до дна 9 канала 2 под желобом 4. Длина пространства 7 после водопада 6 от его порога 8 до торца первого блока 10 из желобов 4 будет близка ширине реки 1. При этом, береговые стенки 11 реки 1 и боковые стенки 12 пространства 7 водопада 6, из железобетонных плит, соединены встык в сопряжения с боковыми стенками 13 первого блока 10 желобов 4. На конце последнего блока 14 желобов 4 сооружен водопад 15, с аналогичной конструкцией водопада 6, с большим котлованом 16 (см. фиг. 1, выноски В).

При большой ширине реки 1, количество рукавов ручья может быть больше, тогда количество каналов 2 на дне 3 реки 1, может быть больше одной, например, три, тогда береговые стенки 11 реки 1 и боковые стенки 12 пространства 7 водопада 6 из железобетонных плит, соединены в стыкованные сопряжения с бортовыми стенками первых блоков 10 желобов 4 по остроугольным клинообразным 17 откосным

железобетонным плитам 18. Для отвода подледной воды через водопады 6 и 15, на их поверхности предусмотрены в ряд расположенные водяные каналы 19.

В конструкции водопада 6 предусмотрены железные остроконечные пики расколотников 20 (см. фиг. 5), расположенных в ряд по ширине водопада 6 с равным интервалом, равным, не более $2/3$ размера средней ширины желоба 4.

Гидротехническое сооружение работает следующим образом.

Предотвращение образования затора и зажора до начала желобов 4, вложенных в канал 2, на дне 3 реки 1, осуществляется введением в строй сооружения в виде высокой железобетонной водосбросной перегородки, в виде водопада 6 с объемным пространством 7. Так как широкий покров льда, большой ширины желобов 4, и комковатые зажорные образования крупных размеров при падении с высокой водосбросной перегородки–водопада 6, проходя через железобетонный порог 8, могут разламываться на куски, меньшие ширины желобов 4, уносимые потоком воды по желобам 4, то эти куски в виде льдин и шуги поступят через также сооруженную на конце последнего блока 14 желобов 4 водосбросная перегородка - водопад 15 в большой котлован 16, где заторы или зажоры в принципе образоваться не могут.

Падающие куски льда в пространство 7 после водопада 6 будут вынесены потоком воды на вход первого блока 10 желоба 4, и уплывут, так как в любом случае уходящий поток воды по желобам 4 затягивает к себе, следом текущий поток со всем содержимым.

В объемном пространстве 7 поднимаемый силами Архимеда лед направляется на вход первого блока 10 и образует ледоход. Как известно, плотность воды больше плотности льда и комка зажорного образования. В более объемном пространстве 7, если окажется, что ширина льда больше ширины желобов 4, на входе в желоб застрявший лед может перекрыть поток воды. В этом случае появившийся затор вызывает накопление воды в пространстве 7 с большим объемом. Тогда тут под действием силы Архимеда и еще толкающей силы давления, появившейся от движения под застрявший лед поток воды будет поднимать застрявший лед вверх. Этому соопустует также трапециадальная форма поперечного сечения желобов 4, так как расширяющаяся вверх форма поперечного сечения желобов 4 не будет препятствовать подъему льда. Под действием неравномерности суммарных сил по сторонам льда и силы трения льда о стенки желоба, застрявший лед может наклонясь, поместиться в желоб 4 и далее уноситься потоком воды. Лед, уже поступивший в желоб 4, застрять не может, потому что для этого у него нет причин. Даже если лед застрял у желоба 4 и образовал затор, то из-за трапецевидности поперечного сечения желоба 4 и объема, заполненного потоком, воды в пространстве 7, под действием сил Архимеда и давления потока воды лед поднимется вверх, даже за пределы желобов 4 и окажется вытолкнутым на берег, на поверхность неподвижного покрова льда со снеговым покрытием. Неподвижность

покрова льда по берегам канала 2, т. е. на дне 3 реки 1 обеспечивает сооружение, описанное по прототипу, где тело клиновидной формы, выполненное в виде железобетонного бруска 5, не позволяет покрову льда двигаться, даже если на данной территории потеплеет до плюсовых температур. Тогда воды, растаявшие под льдом уходят в желоб 4, поэтому под ледовым покрытием отсутствует сила Архимеда.

При полноводном потоке воды по желобам 4 очевидно будет движение льда и шуги и над желобом 4 образуются *закраины* – полосы открытой воды вдоль берега канала 2, на дне 3 реки 1 с неподвижным льдом, покрытым снегом (см., стр. 11, [3]). Таким образом, при предложенном гидротехническом сооружении образование затора в желобе 4 впереди и за мостом быть не может. В худшем случае, на опасном участке, где ранее образовались заторы, уровень потока воды даже выше ледового покрытия на дне 3 реки 1, тогда образуется *польнья (майна)* – участок открытой водной поверхности среди ледяного покрова, по линии над поверхностью желобов 4 (см., стр. 11, [3]). Здесь образование затора быть не может, из-за отсутствия препятствия на поверхности покрова льда. Лед и шуга уносятся потоком воды вниз, образуя ледоход и шугоход по линии над поверхностью желобов 4 и вместе с потоком воды поступают в котлован 16 через водопад 15.

В суровый зимний период реки замерзают, тогда лед и шуга не образуются, а появляются *забереги* – полосы неподвижного льда вдоль берега (см., стр. 11, [3]). Тогда вода может быть течет под ледовым покрытием желоба 4. В такой период расход воды в реке и в желобе 4 будет меньше, чем в другой период зимы, и явлений в виде ледохода и шугоход не будут.

В необычно теплые зимы, такие как в 2012-2013 и в 2017-2018 годах предложенное гидротехническое сооружение, в составе сооружения по прототипу в зоне русла реки 1 на его дне 3 с каналом 2, вложенными желобами 4, и водопад 6 с объемным пространством 7 и на конце желобов 4 водопад 15 и с большим котлованом 16, наличием потока воды, имеющего ледоход и шугоход, будет надежно работать. Пропуск льда и зазора через ранее затороопасный участок будет проходить безпроблем, свободно.

Если на вышеуказанном участке река замерзнет, тогда образуется неподвижный ледяной покров. В этот период расход воды в русле реки 1 будет минимальным, и вода в объемном пространстве 7 может протекать под ледовым покрытием в желобе 4, и течь далее по желобам 4, и возможно, под ледовым покрытием через водопад 15, имеющем на поверхности в ряд расположенные водяные каналы 19, далее вниз в котлован 16 с ледовым покрытием. Поток воды с верхнего горизонтального ярусного дна 3 русла реки 1, поступает в объемное пространство 7 из подольда через водопад 6, где также могут быть образованы ледяные покровы или сосульки, откуда вода под ними поступает вниз под ледовой покров на дно объемного пространства 7, далее оттуда по желобам 4

потечет в котлован 16 через водопад 15. Чтобы подледные потоки воды сверху прошли через водопады 6 и 15, на их поверхности предусмотрены в ряд расположенные водяные каналы 19 (см. фиг. 4; 6; 7 и 8), через которые протекают подоледные воды вниз и попадают в подлед следующего нижнего уровня.

В период ледохода и шугохода на реках, с целью надежного разламывания поступающих сверху покрова льдин и комковатого зажорного образования с крупных размераов на достаточно мелкие куски, в конструкции водопада 6 предусмотрены железные остроконечные пики - расколотники льда 20, расположенные в ряд по ширине водопада 6, через интервалы, равные не более $\frac{2}{3}$ размера средней ширины желоба 4.

При падении ледянного покрова с порога 8 водопада 6, ударом об остроконечный пик - расколотник 20, ледяной покров может разламываться на достаточно мелкие куски, меньшие ширины желоба 4 и уноситься потоком воды по желобам 4. Конструкция расколотника льда 20 может быть съемной. Для закрепления расколотников льда 20 в конструкции водопада 6, предусмотрены гнезда, сквозные отверстия.

Предложенное гидротехническое сооружение надежно обеспечит защиту затороопасных участков на реках от заторообразований льдами и зажорами.

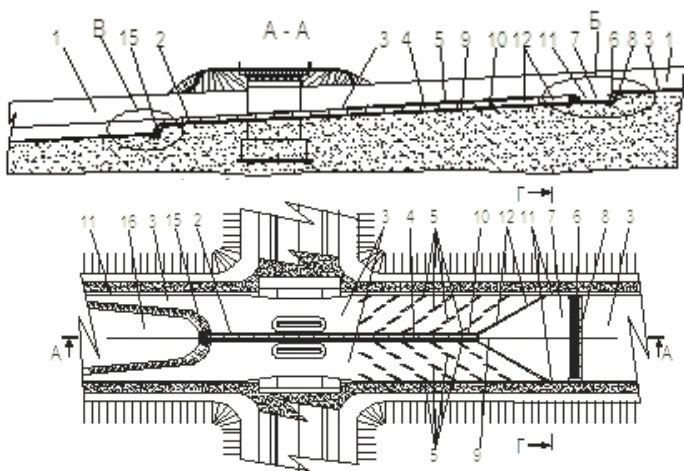


Рис. 3 и 4. представлен общий вид сооружения, в продольном разрезе по оси русла реки, без потока воды, с указанием вида на стойки, опоры и поперечного сечения перекрытия моста, профиля автодороги и тротуаров с придорожными откосами, или вид согласно разрезу А-А (см. Фиг. 2). На фиг. 2 – общий вид сооружения на реке без указания потока воды, в плане, с указанием одного ручейного канала на дне реки, опоры моста, снятые с них плиты перекрытия, и с указанием элементов сооружения, предусмотренные по патенту [7].

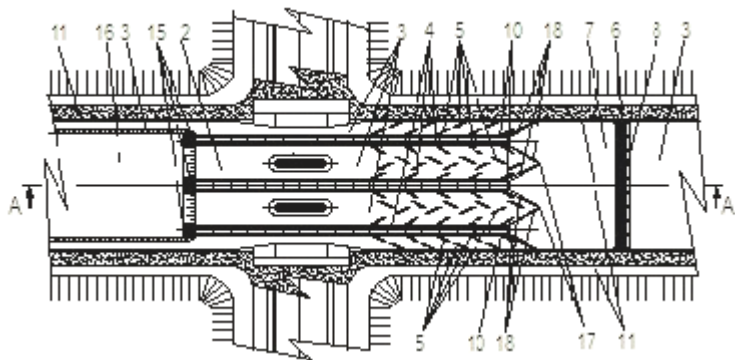


Рис. 5. Тоже общий вид сооружения на реке без указания потока воды, в плане, с указанием трех ручейных каналов на дне реки, остальные элементы такие же, как на рис. 4.

Для обстоятельного описания надежности работы предложенного сооружения, ниже представлены следующие иллюстрации. На фиг. 4 – вид на участки реки с видом на водопад с объемным пространством, в увеличенном виде, согласно выноске Б, на фиг. 1, где вынесены необходимые позиции для пояснения. Здесь же на фиг. 5 – увеличенный вид конструкции остроконечного пика расколотника льда 20.

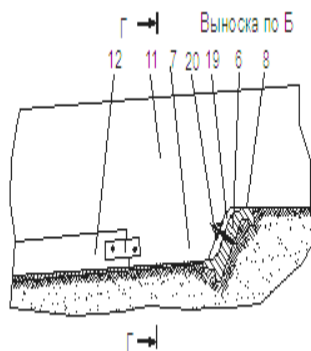


Рис.6



Рис.7

На рис. 8 – вид на поперечное сечение участка реки, согласно сечению Г-Г на рис. 4, в увеличенном виде и поворотом на 90° полученный фронтальный вид на водопад 6, а также видом, согласно на рис. – 6, по сечению Г-Г, предоставлены на обзор о береговых стенках реки 11, водяные канавки 19, в ряд расположенные на поверхности водопада 6, предусмотренные для отвода подледных вод через водопад в морозный период зимы, и в ряд расположенные в специальных гнездах на теле

водопада, для вставления туда расколотников льда 20. На рис. 9 – вид, что на рис. 6, с изображением процесса на реке в момент, когда поток воды подо льдом, или в момент ледохода, с крупным подвижным льдом. На рис. 10 – вид рис. 9 с увеличением в момент разламывания на достаточно мелкие куски, льдин крупных размеров падающие сверху покров, на железные расколотники льда с остроконечными пиками.

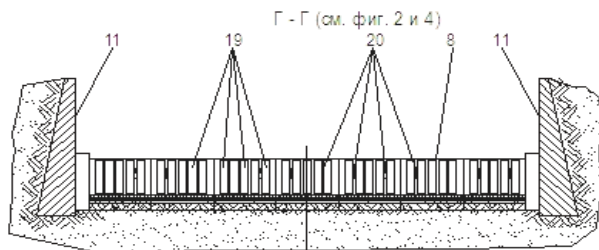


Рис. 8

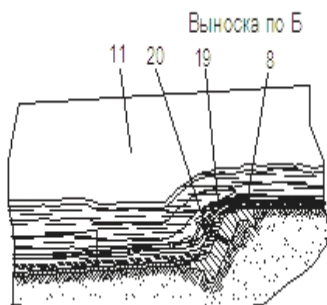


Рис. 9



Рис. 10

Вывод. Предложенное гидротехническое сооружение может надежно обеспечить защиту затороопасных участков реки от заторообразований льдами и загорам на реках в городе Бишкек, на реках Ала-Арча и Аламедин.

Библиографический список

1. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской республики (изд. 8 с изм. и доп.). - Бишкек: МЧСКР, 2011. - 718 с.
2. Гидротехнические сооружения / Н. П. Розанов, Я. В. Бочкарев, В. С. Лапшенков и др. под ред. Н. П. Розанова. - М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.

3. Методические указания по борьбе с заторами и зажорами льда. “Энергия”, Л.: 1969 ВСН-028-70/Минэнерго СССР, – 151 с.
4. Бузин В.А. Зажоры и заторы льда на реках России”, СПб.: ГГИ, 2015.-222 с.
5. Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России. Монография. Козлов В.Д., Бузин В.А., Фролова Н.Д. и др. Изд. РГАУ-МСХА, 2015. – 348 с.
6. Ледовые заторы на реках Российской Федерации (РФ), пути и способы борьбы с ними. Г.М. Нигметов - к.т.н., В.И. Пчелкин - к.в.н., Ю.А. Филатов. С Интернета.
7. Сооружение для предотвращения заторообразований на реке. КГ ПАТЕНТ № 2141, С1 30.04.2019. Бюл. № 4.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА ПРОТЕЧКИ ВОДЫ В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Д.В. Тырин, студент; А.А. Сахарова, старший преподаватель кафедры «Водоснабжение и водоотведение», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Правильный выбор сантехнического оборудования играет одну из важнейших ролей в улучшении качества жизни. Поэтому его поломка ведет как к экономической, так и к технической дестабилизации состояния частного дома или квартиры и его владельцев. Даже появление элементарных протечек ведет к порче имущества не только владельца, но и соседей снизу. Кроме того, существует еще и угроза поражения электрическим током при попадании влаги в электросеть. Самым правильным решением устранения протечки это грамотно установленный датчик протечки воды, точнее целая система, собранная из этих устройств.

На данный момент имеет 2 вида датчиков протечки воды: проводные и беспроводные (рис. 1). Вариаций этих 2-х видов множество, но принцип работы у них всех один. Он основывается на разнице между электропроводимостью воды и воздуха.



Рис. 1. Датчик протечки воды:
1 – проводной датчик; 2 – беспроводной датчик [4]

Основой датчика является пара электродов. Их установка происходит непосредственно в тех местах, где чаще всего возможна протечка: ванная, душевая кабинка, раковина, стиральная машина и т.д.

Монтаж возможен двух видов:

1. Монтаж в пол. Происходит врезка датчика в плитку или напольное покрытие, чтобы они были приподняты на высоту не более 3-4 мм. Это способствует к улучшению работы и устраняет ложное срабатывание.

2. Установка на поверхность пола. В таком методе датчик крепится прямо на поверхность напольного покрытия контактными пластинами вниз.

При протечке на них попадает вода, что в свою очередь снижает сопротивление и происходит замыкание электрической цепи. Далее, информация поступает на основной прибор – контроллер (рис. 2), который анализирует полученную информацию. Монтаж контроллера производится на подготовленное место в стене. Для более эффективного использования контроллера место должно выбираться с учетом легкодоступности при аварийном случае (протечке).



Рис. 2. Контроллер системы антипротечки [5]

При получении контроллером сигнала о протечке, он подает сигнал на закрытие электромагнитного клапана (рис. 3), расположенного на стояке, непосредственно на самом вводе. Электромагнитный клапан представляет собой шаровый кран с электроприводом, который монтируется после ручных вентилей на вводе трубопровода. Он предназначен для своевременной остановки подачи воды при аварийной ситуации.

Чтобы устранить протечку, сначала закрываются ручные вентили трубопровода и выключается питание контроллера. Затем устраняется причина аварии, датчики протечки необходимо избавить от влаги, установить обратно в рабочее положение и включить питание контроллеру.

Кроме того, такую систему очень часто применяют в проектировании оборудования «умного» дома, что показывает его эффективность данной системы с точки зрения финансовой выгоды, а также технического прогресса. Поэтому рекомендуется установка системы антипротечки для комфортной жизни как в квартире, так и в частном доме.



Рис. 3. Электромагнитный клапан системы антипротечки [6]

Библиографический список

1. Сайт «Энциклопедия по отоплению, канализации и водоснабжению» [электронный ресурс] - Режим доступа: <https://aqua-rmnt.com/>.
2. Сайт «Совет инженера» [электронный ресурс] - Режим доступа: <https://sovet-ingenera.com/vodosnab/v-drugoe/datchik-protechki-vody-svoimi-rukami.html>.
3. Сайт «Кванта +» [электронный ресурс] - Режим доступа: <https://kvanta.ru/zashhita-ot-protehek/datchik-protechki-vody-vidy-i-printsip-dejstviya-kak-vybrat-i-ustanovit-sistemu-anti-potop-svoimi-rukami>.
4. Электронный ресурс, - Режим доступа: <https://gidrolock.msk.ru/wa-data/public/shop/categories/54/11.jpg>.
5. Электронный ресурс, - Режим доступа: https://www.zaggo.ru/sas/image/00_protechka.jpg.
6. Электронный ресурс, - Режим доступа: <https://profiheat.ru/image/cache/data/neptun/neptun-shema-ustanovki-800x800.jpg>.

О ПОКАЗАТЕЛЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ БИЗНЕСА В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С НАСОСАМИ В НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКЕ

В.Н. Фисенко, к.т.н., Ru Well Systems

Под экологической ответственностью бизнеса перед обществом понимают, как соблюдение этического регламента, так и правовых норм ведения бизнеса. Осуществление и реализация экологической ответственности связано с комплексом природоохранных мероприятий. К этим мерам участников хозяйственной деятельности должны обязывать экологическое законодательство и стандарты РФ.

Экспертные оценки показывают [1], что роль экологической деятельности компаний будет все более возрастать в силу обострения экологических проблем, и роста нагрузок на окружающую среду, и изменение экологической ответственности компаний зависит от позиции заинтересованных сторон: государственной власти и гражданского общества в лице потребителей и экологов.

Сегодня насосы и насосные системы в различных отраслях экономики являются крупными потребителями электроэнергии [2], и косвенными загрязнителями атмосферы вследствие выбросов парниковых газов, происходящих при производстве электроэнергии для них, работа заводов по производству материалов, узлов и комплектующих насосов также оказывает негативное воздействие на экологию, кроме того техногенные аварии насосного оборудования могут вызывать значительные загрязнения окружающей среды, в зависимости от состава перекачиваемой жидкости.

Последний фактор недавно внезапно приобрел неожиданную актуальность: в городе Oldsmar, штат Флорида (США), система водоснабжения чуть не была отравлена после взлома компьютерной сети в начале февраля 2021 г, когда неизвестные лица удаленно подключились к компьютеру городской системы очистки воды и управляя работой дозировочного насоса ненадолго увеличили количество гидроксида натрия, также известного как щелочь, более чем в 100 раз [3].

О рисках цифровизации насосных систем и подобных возможных негативных последствиях ранее уже предупреждалось в российских профильных изданиях [4], но реакции заинтересованных сторон – органов государственной власти и управления пока не последовало.

По оценкам некоторых отраслевых аналитиков [5], до 75% установленных насосов имеют большую мощность, чем необходимо, причем у многих – не менее чем на 20%. Поскольку на промышленные насосы приходится до 25% мирового потребления энергии, потенциал значительного воздействия на экологию и потенциал экономики ресурсов огромен. Дополнительным негативным фактором [6], является неодинаковый перерасход энергии в пределах рабочей зоны (AOR) у однотипных насосов разных производителей.

Участие научного сообщества, причастного к разработке и использованию насосов, в решении экологических и климатических проблем может продвигаться одновременно по двум направлениям:

- Модернизация самих насосов под использование и учет энергии от различных видов генерации: как традиционной энергии, полученной от сжигания ископаемого топлива – энергии от ядерного распада- синтеза, так и водородной когенерации – преобразованной гидравлической энергии – энергии силы ветра и солнечного излучения.

- Производство энергоэффективных и энергосберегающих насосов и насосных систем, и разработка методов их экологичной и экономической эксплуатации на практике, в первую очередь за счет «системного поэтапного подхода» и предварительного имитационного моделирования разрабатываемых и действующих технологических систем, в которых планируется применение насосов.

На рис. 1 представлена блок-схема разработки современного нормативно-правового обеспечения энергосберегающей работы насосного оборудования в РФ на основе разработок и опыта советского периода.

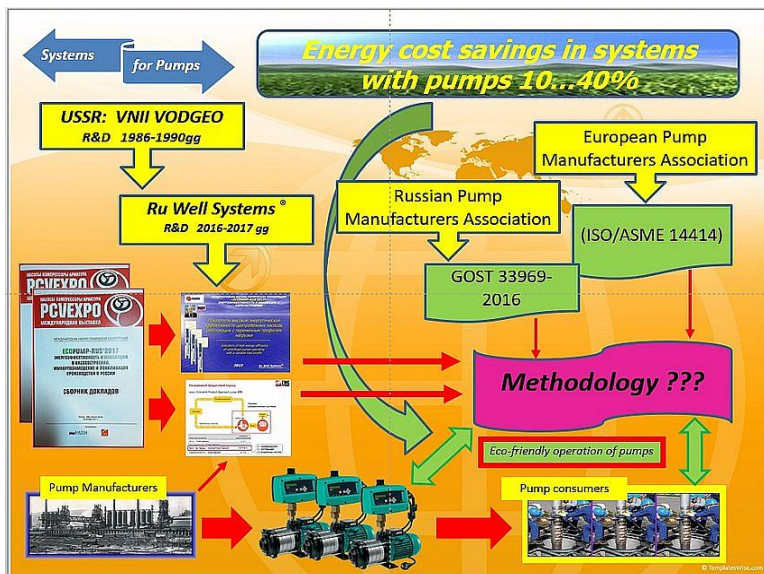


Рис. 1. Блок-схема разработки современного нормативно-правового обеспечения энергосберегающей работы насосного оборудования в РФ

Следует отметить, что межведомственные барьеры и отсутствие целевого финансирования разработки нормативно-правового обеспечения являются главными причинами отставания РФ и ЕАЭС в указанном выше вопросе от развитых стран. Даже в перечне показателей современной ГИС ВКХ Министерства строительства РФ используются устаревшие показате-

ли, неконкурентоспособные с аналогичными показателями IWA [7] в ЕС, которые сегодня применяют даже малоразвитые страны Азии и Африки.

Цель публикации – сформулировать подход к формированию короткого списка показателей-критериев для энергоэффективного и экологичного применения насоса и групп насосов в различных коммунальных и технологических системах с насосами в новой низко углеродной экономике.

Это могут быть технологические показатели технического уровня и качества продукции, как, например, американский рейтинг HI Energy Rating (ER) и индексы MEI в ЕС, формулирующие специализированные требования и преграждающие попадание неэффективной насосной продукции на рынки своих стран.

Это могут быть эксплуатационные показатели [8] качества и технического уровня насосов, определяемые при проведении инспекции энергоэффективности по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414), оценивающие параметры продолжительности «Жизненного цикла» [9] насосного оборудования.

Развитие конструкторско-технологической модернизации основных типов массово используемых насосов и электродвигателей в развитых странах достигло предельных ограничений в рамках существующего технологического уклада экономики и не может дать существенной экономии энергетических ресурсов.

Расширенный «продуктовый подход» в ЕС забуксовал и показал ограниченность снижения возможного энергопотребления насосов, а переход к «системному подходу» пока вызывает сложность учета многообразия насосных систем в нормативно-правовом регулировании.

Наработки и опыт применения еще в работах советских ученых [2, 10,11] «системного подхода» и имитационного моделирования коммунальных систем с насосами, тяжело и с большими усилиями продвигаются в новые нормативные документы в технических комитетах ISO/ASME, при поддержке ассоциаций производителей насосов РАПН [12] и ВРМА [6,13].

Существенно снизить экологически вредные выбросы в атмосферу может изменение самой парадигмы энергопотребления в части совместного использования и учета энергии от различных видов генерации при оценке эффективности систем с насосами.

Простейшая схема учета – (%) содержание энергии от различных видов генерации за цикл времени:

+ (E уголь-газ) + (E атом -H2) – (E гидро) – (E ветер-солнце) Знак (+) дает информацию о выбросах парниковых газов. Знак (-) позволяет вычесть «зеленую» энергию из расчета удельного энергопотребления насоса за год или цикл времени.

Так, например, скважинные водозаборы подземных вод при использовании «солнечной генерации» для работы насосов дают почти 100% снижение вредных выбросов в атмосферу и почти нулевое удельное энергопотребление, за счет «озеленения» потребляемой энергии. В водораспределительной сети возможный ресурс – рекуперация гидравлической энергии РАТ-насосами [14], работающими в турбинном режиме и микротурбинами.

При расчетах негативного воздействия насосного оборудования на окружающую среду важна величина удельного расхода энергии на единицу продукции [15], так как в течение жизненного цикла насоса наиболее существенным фактором является стоимость электроэнергии [1, 2, 16].

Поэтому вторым направлением существенного снижения экологически вредных выбросов в атмосферу является применение «системного поэтапного подхода» и имитационного моделирования с оптимизацией режимов работы разрабатываемых коммунальных и технологических систем для организации работы насосов в рабочих точках минимального удельного потребления энергии – в точках ВЕР с возможным отклонением (+) -10%, допустимым, или допустимым, но заведомо худшим вариантом является отклонение от ВЕР в пределах рабочей области (ISO/ASME) +10% и -25%.

Наилучшая точка эффективности (ВЕР) насоса - это рабочая точка, расход (производительность) и напор, при которых насос обеспечивает максимальную эффективность, а вероятность потери энергии и возникновения нежелательной силы, вибрации и шума минимальна.

При отклонении рабочей точки насоса от ВЕР возникают повышенные вибрации в насосе и прогиб вала, вызванный чрезмерным радиальным усилием. Поскольку вал вращается, и результирующая радиальная сила давит на вал только с одного «результирующего направления», это заставит вал изгибаться (отклоняться) два раза за оборот. Прогибы происходят на 180 градусов друг от друга. Следовательно, вал насоса, работающий при 3550 об / мин, будет изгибаться (отклоняться) 7100 раз в минуту, это будет 426 000 отклонений в час. Повышенные вибрации и прогиб вала приводят к большинству отказов насосов и разрушению рабочих колес, при работе за пределами допустимой рабочей области (AOR).

На рис. 2 приведены графики изменения радиальной силы от положения рабочей точки насоса относительно ВЕР для различных диаметров напорных труб насоса (верхний график - стандартный диаметр, а самый нижний удвоенный стандартный диаметр).

Применительно к водозаборам с погружными скважинными насосами это означает, что при установке насоса в скважине без колонны водоподъемных труб (с устройством беструбного водоподъема) – PSWR-схема [2, 10] насос испытывает меньшие радиальные нагрузки и прогиб вала, а, следовательно, имеет более высокую вероятность безотказной работы согласно ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414).

На рис. 3 показан рабочий процесс установки погружного скважинного насоса с устройством беструбного водоподъема (PSWR-схема) на объекте сельскохозяйственного водоснабжения [2].

Таким образом, особенностью модернизации нормативно-правового обеспечения систем с насосным оборудованием в экономике нового типа «с низким углеродным следом», является широкое применение при проектировании и управлении действующими объектами методов исследования операций (ИО, англ. operations research – OR) – это разработка и применением методов нахождения оптимальных решений на основе математиче-

ского моделирования, имитационного и статистического моделирования и различных эвристических подходов к поиску Парето – оптимальных решений исследуемой задачи [17].

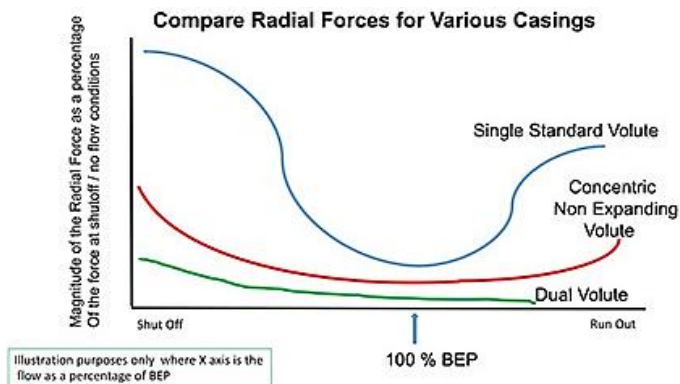


Рис. 2. Радиальные силы для различных диаметров напорных труб насоса (Jim Elsey of MaDDog Pump Consultants LLC- American Society of Mechanical Engineers)



Рис. 3. Установка скважинного насоса с устройством беструбного водоподъема на объекте сельскохозяйственного водоснабжения [2]

Характерная особенность исследования операций – применение системного подхода к поставленной проблеме. Системный подход заключается в нахождении локальных оптимумов действующих подсистем и глобального оптимума системы в целом. В качестве индикаторов – критериев могут служить новые нормативные показатели, официально утверждаемые органами власти и оперативного управления в отраслях промышленности и эксплуатационные (фактические) показатели, собираемые в различных действующих отраслевых и локальных ГИС.

Различие подходов производителей насосов к испытаниям и оценке энергоэффективности насосного оборудования и специалистов – разработчиков систем с насосами заключается в следующем

Производители во время тестовых испытаний для профиля нагрузки насоса с постоянной скоростью в расчетных точках ISO/ASME-75%, 100% и 110% ВЕР и профиля нагрузки для насосов с переменной скоростью в расчетных точках на 25%, 50 %, 75% и 100% потребляемой мощности ВЕР имеют одинаковые веса (интервалы времени тестирования) [13].

У разработчиков систем с насосами в реальных системах соотношение весов в расчетных точках меняется в зависимости от профиля нагрузки. Профиль загрузки насосов определяется условиями технологических процессов в промышленных системах или режиме потребления в коммунальных системах, а также принятой стратегией и алгоритмами группового управления в много насосных системах [12, 13].

Общим универсальным показателем для тестовых испытаний и расчетов и проверок в реальных системах, является индекс экологической эксплуатации насоса или группы насосов- «**Eco-Friendly Index**» **EFI** [6, 12, 15], который рассчитывается для насосов с постоянной скоростью [6] и для насосов с переменной скоростью [15] на основе концепции ВЕР и используется для дальнейших расчетов удельной энергии, КПД на тестовых и фактических профилях нагрузки, при расчетах перерасхода энергии (экономии), выбросов парниковых газов, эффективности использования насосов обслуживающим персоналом и расчетах эффективности систем и конструкций, в которых используются насосы.

Немаловажным фактором является совместимость [17] индекса **EFI** с конкурирующими показателями в США- индекс PER и в ЕС- индекс EEI, что создает возможность сопоставимости исследований и расчетов.

Формирование обновленных и расширенных групп показателей-критериев позволит своевременно оценивать и принимать правильные управленческие решения как при создании новых насосных систем, так и при контроле за действующими системами с насосами.

Библиографический список

1. Фисенко В.Н. Расширение перечня показателей энергетической эффективности объектов промышленных и коммунальных систем с насосами для оценки потенциала сокращения выбросов парниковых газов // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2019. № 7 (139). С. 42-56.
2. Фисенко В.Н. Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22-33.
3. Сайт СМИ Тампа Бэй Таймс, [Электронный ресурс]. <https://www.tampabay.com/news/pinellas/2021/02/08/someone-tried-to-poison-oldsmars-water-supply-during-hack-sheriff-says/>.

4. Сайт журнала «Водоснабжение и санитарная техника», [Электронный ресурс]. <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2018/2018-06/7258-energeticheskaya>.

5. Pedro Cardoso, Ricardo Rato, Marco Estrela, Antonio Santos, Marina Peixoto, Laura Monteiro, Didia Covas, Pedro Póvoa. Assessment of Pumps Performance In Water Supply Systems//14th International Conference «Computing and Control for the Water Industry (CCWI)», 7-9 November 2016, Amsterdam, Netherlands - p.8.

6. Фисенко В.Н. О системе показателей энергетической эффективности насосов в системах водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. № 6 (126). С. 54-60.

7. Performance Indicators for Water Supply Services - Second Edition By: Helena Alegre, Jaime Melo Baptista, Enrique Cabrera, Jr., Francisco Cubillo, Patrícia Duarte, Wolfram Hirner, Wolf Merkel, Renato Parena DOI: <https://doi.org/10.2166/9781780405292> Publisher: IWA Publishing Published: 2013.

8. Фисенко В.Н. Влияние технического уровня погружного насоса на энергоэффективность скважинного водозабора // В сборнике: Яковлевские чтения. сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2017. С. 204-209.

9. Фисенко В.Н. Жизненный цикл погружных центробежных насосов в водозаборных скважинах // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 7. С. 54-63.

10. Фисенко В.Н., Система имитационного моделирования подъема воды из скважины с беструбной установкой погружного электронасоса (СИМОНА-ВС), Калинин, НПО «Центрпрограммсистем», Госфонд алгоритмов и программ, 1990.

11. Николенко И.В., Рыжак А.Н. Нелинейная модель оптимизации параметров силовых агрегатов насосной станции подкачки системы водоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 4 (724). С. 47-63.

12. Фисенко В.Н., Показатели высокой энергетической эффективности центробежных насосов, работающих с переменным профилем нагрузки // Международная научно-техническая конференция «ЕСОPUMP-RUS'2017 «Энергоэффективность и инновации в насосостроении. Импортзамещение и локализация производства в России». 26 октября 2017 г., Москва, Изд. МВЦ "Крокус-Экспо". 2017, с. 84-99.

13. Pump Industry Awards 2018 Finalists/Indicators of high-energy efficiency of centrifugal pumps operating with a variable load profile, Ru Well Systems Private Research Innovation Company//Сайт ЖУРНАЛА «WORLD PUMPS», [Электронный ресурс]. <https://www.worldpumps.com/operating-design/news/pump-industry-awards-2018-finalists/#.W4t6Zc9Tlt8.twitter>.

14. A. Carravetta, O. Fecarotta, G. Del Giudice, H. Ramos, Energy Recovery in Water Systems by PATs: A Comparisons among the Different Installation Schemes, *Procedia Engineering* Volume 70, 2014. Pages 275-284, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.031>.

15. Фисенко В.Н. Об оценке энергоэффективности насосных систем по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) и параметрам жизненного цикла методики LCC //Международная научно-техническая конференция «ECOPUMP-RUS'2018 «Инновации и энергоэффективность в насосостроении» - 25 октября 2018 г., Москва, Изд. МВЦ «Крокус-Экспо». 2018, стр. 61-73. Режим доступа: <https://youtu.be/XVCs1mYt4A>.

16. Фисенко В.Н. Оценка технического уровня погружного насоса при проведении инспекции энергоэффективности скважинного водозабора по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) // *Вода Magazine*, 2017. № 5 (117). С. 24-29.

17. Фисенко В.Н. Критерии эффективной работы насосов в промышленных и коммунальных системах водоснабжения и водоотведения // 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. 201-208.

МЕТОДИКА И ПРАКТИКА КОНТРОЛЯ ПЕСКОВАНИЯ ЗАКОЛЬМАТИРОВАННЫХ СКВАЖИН В РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ ТЕХНОЛОГИЕЙ ВИГДОС-СИЦА

А.А. Цымбалов, к.т.н., ООО ГК «Архимед»

Введение

Пескование в водозаборных скважинах может наблюдаться в процессе ее опробования после обсадки трубами, эксплуатации и на этапе ведения ремонтно-восстановительных работ (РВР). Пескование или пескопроявление (ПП) водозаборной скважины является конструктивно-технологическим или эксплуатационным дефектом, снижающим производительность подземного источника. Решение данной проблемы требует системного подхода.

Механизм процесса ПП при эксплуатации водозаборной скважины состоит в суффозии частиц песка из околоскважинной зоны через фильтрационный элемент во внутреннюю часть скважины. Пескопроявление частиц песка, глины и ила из пласта вызывает механическую кольматацию скважины. Если процесс суффозии происходит через фильтр, то песок заполняет отстойник, а затем фильтровую часть скважины до определенной высоты, образуя песчаную пробку. Высота песчаной пробки и ее плотность у каждой скважины зависят от наполняемой массы и гранулометрического состава песка пласта.

Песчаная пробка нарушает эксплуатационные параметры скважины. На начальном этапе она уменьшает дебит скважины незначительно, где-то на 20-40%. С ростом объема песка в стволе скважины пробка перестает обеспечивать расчетную водопроницаемость.

Вариант возникновения пескования водозаборной скважины на этапе ведения ремонтно-восстановительных работ направлен на совершенствование системы «пласт-скважина» с целью обеспечения проектного дебита или поставленной задачи технического задания. В основном эти работы ведутся на закольматированных скважинах.

Цикл РВР закольматированных скважин установленных в рыхлых песчаных горизонтах связан с очисткой (доочисткой) околоскважинной зоны от кольматационного осадка. В скважинах на воду генезис кольматации в начальной фазе имеет следующий состав осадка [10, 14]: песок кварцевый 95%, органический осадок 3,5%, прочие включения 1,5%. В зависимости от формирования контактных связей в поровой водонасыщенной системе «пласт-скважина» изменяется пористость и плотность осадка, что характеризует его физико-механические свойства [11, 15].

Обработка околоскважинных зон закольматированных скважин технологией ВИГДОС-СИЦА предусматривает разрушение твердого осадка кольматанта и переформирование гранулометрического состава фракций

системы «пласт-скважина». Поэтому скважина после РВП проходит стадию освоения горизонта, как вновь пробуренная. Данный технологический процесс требует удаление мелких фракций песка через сетку фильтра на дневную поверхность. Следовательно, при сдаче скважины заказчику требуется обеспечить четкие расчетные данные по выходу песка из системы «пласт-скважина». В ряде работ [1, 2] отмечено, что «до настоящего времени в России нет четко прописанных правил и требований проектирования фильтров водозаборных скважин, как это имеет место в большинстве зарубежных стран». Следует констатировать, что в отраслевых российских нормативно-технических документах (НТД) отсутствует регламентирующая норма пескования водозаборных скважин. Если в п. 5.30 (СНиП П-31-74. Часть 2. Нормы проектирования. Глава 31. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения) водозаборным скважинам допускалось иметь механические примеси не более 0,01% для нормальной эксплуатации в них центробежных скважинных насосов, то СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* этот пункт посчитал не актуальным.

В настоящий момент контроль пескования скважины при вводе ее в эксплуатацию возложен на специалистов буровых организаций. Это очень ответственная задача, отражающаяся на долговечности скважины и начале генезиса кольтатации околоскважинной зоны, должна иметь критерии оценки. Как известно, после буровых работ следует осуществлять прокачку скважины, оборудованием превышающим проектный дебит не менее чем в 2 раза в течение 3-5 суток. Данный процесс удаляет мелкие механические частицы из системы «пласт-скважина» и позволяет скважинному водозаборному насосу обеспечить проектный дебит.

На практике прокачка скважины буровиками ведется не всегда с соблюдением всех нормативов по пескованию. Ускоренному процессу пескования скважины способствует отсутствие технической культуры у специалистов, отвечающих за эксплуатацию водозаборных сооружений, из-за не соблюдения мер профилактики и планового технического обслуживания фильтровой зоны. Такой подход первоначально отражается на кратковременном песковании, и ощутим только в момент пуска насоса. Это связано с резким изменением гидродинамики в системе «пласт-скважина». Пусковой скачок забора воды лопастями насоса обеспечивает поступление в скважину из пласта определенного количества песка предусмотренного производителями насосов. Он указан в технических характеристиках паспорта изделий. Допустимая норма песка составляет не более 50-100 мг/л.

Новые отраслевые НТД созданные в связи с изменением общественного строя в России требуют профессиональной доработки. Отсутствие многих положений, существующих ранее, в разработанных НТД отрицательно сказываются на:

- а) выработке профессионального уровня компетенций при подготовке и переподготовке специалистов;
- б) качестве исполнения буровых работ;

в) соблюдении алгоритма откачки скважины;
г) допустимости установки скважинных фильтров (не более 3-5 метров из тонкопористых материалов, задерживающих мелкозернистый и пылеватый песок), снижающих водоотдачу пласта.

Перечисленные технические недоработки приводят к росту некондиционных скважин с коротким (до 5 лет) сроком эксплуатации, требующих постоянного сервисного обслуживания и финансовых затрат на их переобустройство.

Автором выявлена и обозначена проблема, заключающаяся в том, что при песковании водозаборной скважины в процессе эксплуатации или на этапе ведения ремонтно-восстановительных работ необходимо знать текущее численное значение уровня песка, т.е. иметь критерий в виде предельно-допустимой нормы.

Цель работы: определение содержания песка в полевых условиях при эксплуатации скважины, проведении РВР технологией ВИГДОС-СИЦА и сдачи скважины заказчику для дальнейшей эксплуатации.

Объектом исследований являлись околоскважинные зоны закольматированных скважин кандидатов на проведение РВР в Саратовской области.

Предметом исследований стало разработка методики определения содержания песка в воде при проведении РВР и эксплуатации водозаборных скважин.

Контроль водозаборные скважины кандидаты на осуществление РВР проходят на этапе технического обследования, т.е. перед РВР и на этапе сдачи скважины заказчику – после РВР.

НТД и другими материалами указано на не допустимость явления пескования водозаборных скважин и на получение результатов отрицательных последствий пескопроявления [1, 3, 12, 13].

Анализ ООО ГК «Архимед» [9] выполненный на выборке из 120 скважин Саратовской области установил следующие причины выхода водозаборных скважин из рабочего состояния (рис. 1):

- 1.Кольматация околоскважинной зоны и фильтра скважины с наружной и внутренней стороны – 55%.
- 2.Заилевание обсыпки околоскважинной зоны – 30%.
- 3.Износ рабочего оборудования и инженерных систем – 8%.
4. Пескование – 5%.
- 5.Прочие причины – 2%.

Из анализа следует, что пескопроявление скважин составляет 5%, но опосредованно этот процесс влияет на износ рабочего инженерного оборудования, которое равно 8%. Поэтому в сумме к данной проблеме можно отнести 12%.

Методика исследований

Выработка методических подходов в определение содержания песка в воде при эксплуатации водозаборных скважин производилась на основе нормативно-методических документов:

1. Методы результатов измерения проб произведены по ГОСТ 24902, ГОСТ Р51232.

2. Методы отбора грунтовых вод из скважин полевыми методами для получения репрезентативных проб выполнялись в соответствии ГОСТ 24481, ГОСТ 17.1.5.05, ИСО 5667-2.

3. ГОСТ 23740-2016 Грунты. Методы определения содержания органических веществ [5].

4. Комплекс мер, признанных на международном уровне как надлежащая производственная практика (GMP).

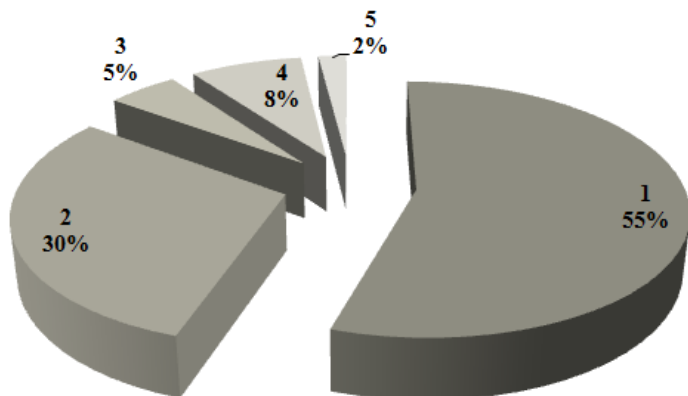


Рис. 1. Факторы риска потери работоспособности скважинных водозаборов (по Цымбалову, 2018):

1 – кольматация околоскважинной зоны и фильтра скважины с наружной и внутренней стороны; 2 – заиление обсыпки околоскважинной зоны; 3 – износ рабочего оборудования и инженерных систем; 4 – пескование; 5 – прочие причины

Результаты и обсуждения

Определение сухого остатка вещества (песка) производилось по следующей методике. Расчет содержания песка в воде при эксплуатации водозаборных скважин выполняется по схеме А и схеме Б.

Схема А.

1. Рассчитываем величину массовой концентрации сухого песка для водозаборного устройства (ВЗУ) по уравнению (1):

$$M_0 = (M_2 - M_1) 10^6 / V, \quad (1)$$

где M_0 – концентрация сухого песка после высушивания в сушильном шкафу, мг/л; M_2, M_1 – масса сухого песка с чашкой после высушивания и масса пустой чашки соответственно, г; V – объем забора пробы воды в емкость, мл; 10^6 – коэффициент пересчета единиц измерения из г/мл в мг/л.

2. Сравниваем значение концентрации сухого песка полученного по формуле (1) с предельно-допустимой нормой соответствующего ВЗУ (табл. 1) по выражению $M_0 < [M]$.

Таблица 1

Предельно-допустимые нормы песка содержащиеся в воде при эксплуатации водозаборных скважин

№ п/п	Водозаборные устройства	Массовая концентрация [M], мг/л ($г/м^3$)	Массовая доля [ω], %
1.	ВЗУ (зарубежный производитель)	50	0,005
2.	ВЗУ (российский производитель)	100	0,01

Схема Б.

1. Рассчитываем величину массовой доли песка для водозаборного устройства (ВЗУ) по уравнению (2):

$$\omega = 100 m_0 / (m_0 + m_1), \quad (2)$$

где m_0 – масса сухого песка после высушивания, г; m_1 – масса воды, г;

Масса воды в пробе забора воды в емкость состоит из массы песка и массы воды:

$$m_2 = m_0 + m_1, \quad (3)$$

где m_2 – масса сухого песка после высушивания и воды в пробе забора воды, г;

Поэтому из (3) следует (4):

$$m_1 = m_2 - m_0 \quad (4)$$

2. Сравниваем значение массовой доли песка полученного по формуле (2) с предельно-допустимой нормой соответствующего ВЗУ (табл. 1) по выражению $\omega < [\omega]$.

Объекты водозаборных скважин (табл. 2), на которых изначально происходило пескование, восстанавливались технологией ВИГДОС-СИЦА. Интервал минимального времени работы некоторых закольматированных скважин на момент технического обследования составлял от 45 секунд до 10 минут. Все скважины независимо от состояния технической запущенности были восстановлены и возвращены в хозяйственный оборот. Информация о ведении РВР и фрагменты консультаций недропользователей в период реабилитации скважины имеются в открытом доступе на информацион-

но-консультативном сайте А.А. Цымбалова [4, 6, 8]. Рабочие моменты в период обследования скважин перед РВР по технологии ВИГДОС-СИЦА представлен на рис. 2.

Таблица 2

Объекты водозаборных скважин Саратовской области, на которых адаптирована методика определения содержания песка в воде

№ п/п	Наименование подземного источника	Месторасположение скважины	Параметры скважины	Методика (схема А/Б)	Дата проведения работ
1	Скважина	п. Усть-Курдюм (Саратовский р-н СО)	Н = 22м, Ø114 мм, Фильтр сетч.	А	2010 г.
2	Скважина	п. Вольновка (Саратовский р-н СО)	Н = 21м, Ø114 мм, Фильтр сетч.	А	2011 г.
3	Скважина	п. Малая Тополевка (Энгельсский р-н СО)	Н = 33м, Ø114 мм, Фильтр сетч.	А	2013 г.
4	Скважина	СНТ «Дубки» (Волжский р-н г. Саратова)	Н = 64м, Ø127 мм, Фильтр сетч.	А	2014 г.
5	Скважина	с. Полянское (Татищевский р-н СО)	Н = 65м, Ø219 мм, Фильтр сетч.	Б	2016 г.
6	Скважина	с. Расловка-2, СНТ «Луг» (Саратовский р-н СО)	Н = 42м, Ø140 мм, Фильтр сетч.	Б	2017 г.
7	Скважина	д. Милорадовка (Краснопартизанский р-н СО)	Н = 50м, Ø159 мм, Фильтр сетч.	А	2018 г.
8	Скважина	с. Ст. Яблонка (Хвалынский р-н СО)	Н = 60 м, Ø125 мм, Фильтр сетч.	А	2019 г.
9	Скважина	с. Хмелевка (Саратовский р-н СО)	Н = 82м, Ø125 мм, Фильтр сетч.	Б	2020 г.

Заключение

На основании данного материала можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная методика по выходу песка из скважины позволяет в полевых условиях произвести расчеты.

2. Расчеты концентрации песка дают критериальную оценку выбора скважинного водозаборного устройства, что отражается на безаварийной эксплуатации водозаборной скважины.

3. Методику по выходу песка из скважины следует включить при доработке СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*.



Рис. 2. Рабочие моменты закольматированных водозаборных скважин Саратовской области при техническом обследовании [8]:

а, б – применение спецтехники для подъема водозаборного устройства ЭЦВ; в – средняя часть не работающего ЭЦВ забитая осадком; г – отбор проб воды из пескующей скважины; д – проба кольтматационного осадка; е – состояние транспортирующего трубопровода скважины при подъеме насоса на дневную поверхность

Работа выполнена в рамках Программы НИР ООО ГК «Архимед» по теме Арх.№ ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольтматации околоскважинной среды и разработка методов декольтматации водозаборных скважин» [7].

Библиографический список

1. Алексеев В.С. Особенности использования подземных вод для водоснабжения в России: сб. докл. XI межд. науч.-техн. конф., посвящ. памяти акад. РАН Сергея Васильевича Яковлева (г. Москва, 16 марта 2016 г.). М.: Изд-во АСВ, 2018. С.6-10.

2. Алексеев В.С. Критерии проектирования фильтров водозаборных скважин/ В.С. Алексеев, В.Г. Тесля//ВСТ. №11. 2009. С.21-28.
3. Башкатов А.Д. Предупреждение пескования скважин.-М.: Недра, 1991. 176 с.
4. Вопросы и ответы. Вопрос №45 от Яндекс Кью: Из-за чего происходит пескование скважин? / ООО ГК «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М.2014-2021. Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/voprosy-i-otvety/193-vopros-ekspertu-57-iz-za-chego-proiskhodit-peskovanie-skvazhin-yandeks-kyu-https-yandex-ru-q-org-q> (дата обращения: 21.03.2021).
5. ГОСТ 23740-2016 Грунты. Методы определения содержания органических веществ. М.: Стандартиформ, 2019 [Электронный ресурс] Режим доступа URL: // <https://dokipedia.ru/document/5344642> (дата обращения: 21.03.2021).
6. Новости 2019 г. Восстановление цикличной скважины/ООО ГК «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М.2014-2019. Режим доступа URL:<http://doktorsc.ru/index.php/novosti/157-2019g-vozstanovlenie-tsiklichnoj-skvazhiny> (дата обращения: 21.03.2021).
7. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М. 2014–2021. Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (дата обращения: 21.03.2021).
8. Сайт канд.техн.наук Александра Алексеевича Цымбалова / ООО ГК «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М. 2014–2021. Режим доступа URL:<http://doktorsc.ru> (дата обращения: 21.03.2021).
9. Цымбалов А.А. Методические подходы к оценке и управлению риском кольматации околоскважинных зон методом ВИГДОС-СИЦА // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: сб. науч. тр. РАН, ИГЭ РАН, ВНИИ ГОЧС (ФЦ) по материалам 10-ой межд. науч.-практ. конф. «Геориск-2018» в 2-х т., т.2.-М.: РУДН, 2018.-С.162-167.
10. Цымбалов А.А. Определение разрушения фазовых контактов кольматанта в системе пласт-скважина // Булатовские чтения: сб. ст. IV межд. науч.-практ. конф., посвящ. памяти А.И. Булатова (г.Краснодар, 31 марта 2020 г.) в 7 т. Разработка нефтяных и газовых месторождений. Т.2. - Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2020. С. 419-423. Режим доступа URL: <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2020/2/PDF/2020-2.pdf> (дата обращения: 21.03.2021).
11. Цымбалов А.А. Особенности кольматационного осадкообразования в околоскважинной водонасыщенной среде // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: сб. науч. тр. СО РАН, ГИН СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГГ СО РАН по материалам IV всерос. науч. конф. (г. Улан-Удэ, 17-20 августа 2020г.). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2020.-С.278-281. Режим доступа URL: http://geo.stbur.ru/doc/conf-2020-08/Digest_WR2020_1.pdf (дата обращения: 21.03.2021).

12. Цымбалов А.А. Рекомендации в устранении и предотвращении пескования водозаборных скважин // Новые идеи в науках о Земле: сб. науч. тр. Рос .гос. геологоразвед. ун-та по материалам XIII межд. науч.-практ. конф.(5–7 апреля, 2017 г., г.Москва) :в 2 т.: доклады / ред. коллегия: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий.-Т. 1.-М.: МГРИ-РГГРУ, 2017. С. 494-495.

13. Цымбалов А.А. Роль и обеспечение гидрогеологических условий индивидуальных водозаборов, влияющих на долговечность скважин // Яковлевские чтения [Электронный ресурс]: сб. докл. XIII межд. науч.-техн. конф., посвящ. памяти акад. РАН Сергея Васильевича Яковлева (г.Москва, 15 марта 2018 г.). М.: Изд-во Нац. иссл. Моск. гос. строит. ун-та, 2018. С. 127-130. Режим доступа URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/36119/> (дата обращения: 21.03.2021).

14. Цымбалов А.А. Типизация контактных связей структурных элементов кольматанта системы пласт-скважина: материалы 64-й межд. науч. конф. Астрахан. гос. техн. ун-та (г.Астрахань, 20-25 апреля 2020г.). Секция «Математика, физика, механика» [Электронный ресурс]. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2020.-С. 191.Режим доступа: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM), № гос. рег.0321902695 <https://elibrary.ru/item.asp?id=43845501> (дата обращения: 21.03.2021).

15. Цымбалов А.А. Формирование закольматированных зон в околоскважинной водонасыщенной среде [Электронный ресурс] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: сб. науч. тр. СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГГ СО РАН по материалам III всерос. науч. конф. с межд. уч. (г.Чита, 20-25 августа 2018 г.). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. С. 198-200. Режим доступа URL: http://inrec.sbras.ru/IIIconfWR2018/assets/got_sb_окон.pdf (дата обращения: 21.03.2021).

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

В.Р. Чупин, проф., д.т.н., ИРНИТУ; **А.С. Душин**, инженер ООО «Сетевая компания «ИРКУТ»

Системы подачи и распределения воды (СПРВ) являются важнейшими в инфраструктуре современного города. От их состояния, эффективности и надежности функционирования зависят здоровье и благополучие населения. Поэтому исследование режимов функционирования, выявление закономерностей возникновения, развития и ликвидации аварийных ситуаций, включая наложение стохастического и циклического характера потребления воды, имеют большое значение для повышения надежности и долговечности работы систем водоснабжения. Возникает необходимость в разработке комплексных моделей функционирования систем водоснабжения с учетом вероятностной природы водопотребления и возникновения аварийных ситуаций, разработке методики по оценке эксплуатационной надежности СПРВ.

Математическая модель функционирования водопроводных систем, учитывающая вероятностный характер отбора воды и возникновения аварийных ситуаций и обеспечивающая адекватность оценки режимов и процессов, происходящих в СПРВ

На основании обработки статистических данных о фактическом потреблении воды в отдельных жилых зданиях построены гистограммы распределения отборов воды, по часу t и определены их математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение.

Математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение отборов воды по часу t :

$$\bar{Q}_t = \sum_{\text{int}=1}^k Q_{t,\text{int}} \rho_{t,\text{int}}, \quad \sigma_{Q,t} = \sqrt{\sum_{\text{int}=1}^k (Q_{t,\text{int}} - \bar{Q}_t)^2 \rho_{t,\text{int}}}$$

где k – количество интервалов разбиения возможного потребления воды; $Q_{t,\text{int}}$ – отбор воды в соответствующем интервале по часу t , м³/ч; $\rho_{t,\text{int}}$ – вероятность возникновения данного расхода в интервале по часу t .

Произведено сопоставление фактического распределения отборов воды с нормальным законом распределения. Пример на рис. 1.

Составление модели вероятностных отборов воды потребителями

Разрабатываемая модель связана с представлением каждого узла большой группой потребителей, имеющих непрерывное распределение отборов воды.

Вероятностная характеристика потребителя воды представлена на рис. 2.

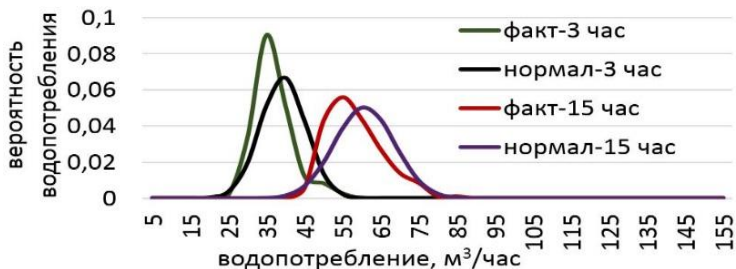


Рис. 1. Соответствие фактического распределения отборов воды нормальному закону распределения

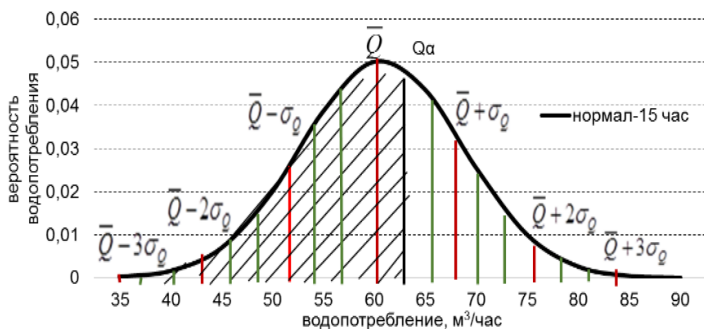


Рис. 2. Плотность распределения вероятности потребления воды по часу

Распределение отборов воды для каждого часа t рассматривается в пределах трехкратного среднеквадратичного отклонения «3 сигма»: $\bar{Q}_t^{\min} - 3 \cdot \sigma_{Q,t}^{\min}$ – нижний предел; $\bar{Q}_t^{\max} + 3 \cdot \sigma_{Q,t}^{\max}$ – верхний предел.

Для каждого часа исследуемого периода времени функция распределения вероятности водопотребления разбивается на ряд интервалов. Каждый интервал будет составлять $\sigma_{j,t}/3$. Следовательно, количество интервалов k будет равно 18, сечений $\alpha_s = 19$. Отбор воды в каждом сечении α_s составит:

$$Q_{j,\alpha_s,t} = \bar{Q}_{j,t} - 3 \cdot \sigma_{j,t} + \alpha_s \cdot \sigma_{j,t} / 3,$$

Для математического описания плотности распределения вероятности потребления воды использован нормальный закон распределения (преобразования Лапласа)

$$\rho_k = \Phi\left(\frac{\beta - M x}{\sigma x}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - M x}{\sigma x}\right) =$$

$$\begin{aligned}
&= \Phi \left(\frac{Q_{j,\alpha_s,t}^{mpeб} - \bar{Q}_{j,t}^{mpeб}}{\sigma_{Q,j,t}^{mpeб}} \right) - \Phi \left(\frac{Q_{j,\alpha_s-1,t}^{mpeб} - \bar{Q}_{j,t}^{mpeб}}{\sigma_{Q,j,t}^{mpeб}} \right) = \\
&= \Phi \left(\frac{\bar{Q}_{j,t}^{mpeб} - 3 \cdot \sigma_{Q,j,t}^{mpeб} + \alpha_s \cdot \sigma_{Q,j,t}^{mpeб} / 3 - \bar{Q}_{j,t}^{mpeб}}{\sigma_{Q,j,t}^{mpeб}} \right) - \\
&- \Phi \left(\frac{\bar{Q}_{j,t}^{mpeб} - 3 \cdot \sigma_{Q,j,t}^{mpeб} + \alpha_s - 1 \cdot \sigma_{Q,j,t}^{mpeб} / 3 - \bar{Q}_{j,t}^{mpeб}}{\sigma_{Q,j,t}^{mpeб}} \right) = \\
&= \Phi -3 + \alpha_s / 3 - \Phi -3 + \alpha_s - 1 / 3
\end{aligned}$$

ρ_k – вероятность появления интервала между сечениями α_{s-1} и α_s ; $\Phi(X)$ – функция Лапласа (табличные величины)

В качестве α_s , как начала интервала, $Q_{j,0,t}^{mpeб} = \bar{Q}_{j,t}^{mpeб} - 3 \cdot \sigma_{Q,j,t}^{mpeб}$ по часу t , в качестве β , конец интервала, $Q_{j,\alpha_s,t}^{mpeб} = \bar{Q}_{j,t}^{mpeб} - 3 \cdot \sigma_{Q,j,t}^{mpeб} + \alpha_s \cdot \sigma_{Q,j,t}^{mpeб} / 3$ – требуемый отбор воды потребителем j по сечению α_s по часу t , $M x - \bar{Q}_{j,t}^{mpeб}$ – математическое ожидание отбора воды потребителем j по часу t , $\sigma x - \sigma_{Q,j,t}^{mpeб}$ – среднеквадратическое отклонение отбора воды потребителем j по часу t , k – интервал, ρ_k – вероятность возникновения интервала k .

Отбор воды потребителем j в интервале k по часу t

$$Q_{j,k,t} = Q_{j,\alpha_s,t} + Q_{j,\alpha_s-1,t} / 2; k [\alpha_s-1; \alpha_s]$$

Требуемый отбор воды потребителем j по часу t

$$Q_{j,t}^{mpeб} = \sum_{k=1}^{18} Q_{j,k,t}^{mpeб} \cdot \rho_k,$$

где $\rho_k = \Phi -3 + \alpha_s / 3 - \Phi -3 + \alpha_s - 1 / 3$.

Отбор воды потребителем j по часу t при безаварийном и аварийных режимах

$$Q_{j,t}^{расч} = \sum_{k=1}^{18} Q_{j,t,безав,k}^{нефикс} \cdot \rho_k \cdot f_{снрв} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{18} Q_{j,t,i,k}^{нефикс} \cdot \rho_k \cdot d_i$$

$$Q_{j,t}^{расч} = \prod_{i=1}^n 1 + \gamma_i^{-1} \cdot \left(\sum_{k=1}^{18} Q_{j,t,безав,k}^{нефикс} \cdot \rho_k + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{18} Q_{j,t,i,k}^{нефикс} \cdot \rho_k \cdot \gamma_i \right)$$

где t – исследуемый час; $Q_{j,k,t}^{нефикс}$ – отбор воды потребителем j в интервале k по часу t по результатам гидравлического расчета.

Составление математической модели вероятностного потокораспределения

Зависимость значений коэффициентов неравномерности водопотребления от численности населения и линейный характер изменения вероятностного коридора отборов воды представлены на рис. 3, 4.

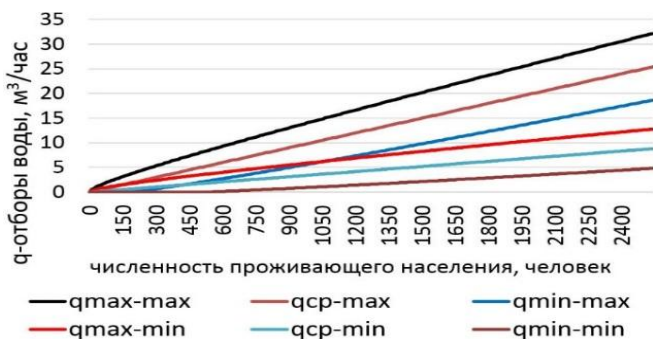


Рис. 3. Зависимость отборов воды в вероятностном коридоре от численности населения, м³/час

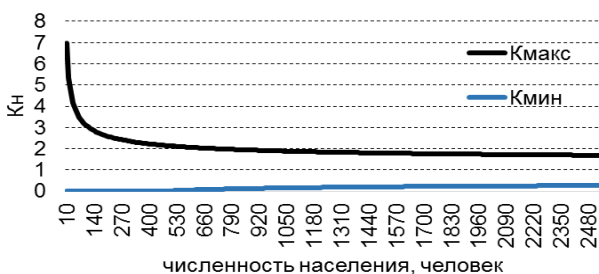


Рис. 4. Зависимость значений коэффициентов неравномерности водопотребления от численности населения

Неравномерность отбора воды больших групп потребителей будет отличаться незначительно. Это свойство можно использовать при составлении математической модели вероятностного потокораспределения.

Распределение потоков X по ветвям i по сечениям α_s [0, ..., 18] по каждому часу t можно выразить 2 – мя системами уравнений (законы Кирхгофа): 1 система – безаварийный режим (без изменения структуры сети), 2 система – аварийные режимы (с изменением структуры сети – поочередное отключение аварийных участков i [1, ..., n]).

$$\begin{cases} AX_{\alpha_s,t} = Q_{\alpha_s,t} \\ A^T P_{\alpha_s,t} = SX_{\alpha_s,t}^2 - H_t \end{cases} \quad \begin{cases} A_{aa} X_{\alpha_s,t} = Q_{\alpha_s,t} \\ A_{aa}^T P_{\alpha_s,t} = SX_{\alpha_s,t}^2 - H_t \end{cases}$$

где A – $m-1 \times n$ матрица соединений узлов и ветвей расчетной схемы сети с элементами a_{ij} ; A_{aa} – усеченные матрицы, получаемые из A путем поочередного исключения элементов n_i , т.е. $A_{aa} - m-1 \times n-1$; X – n – вектор расходов на ветвях расчетной схемы с элементами x_i ; $X_{aa} - (n-1)$ – вектор расходов на ветвях расчетной схемы с элементами x_i ; H – n – вектор действующих напоров на ветвях; P – $(m-1)$ – мерный вектор узловых давлений с элементами P_j ; t – время (час); Q – $(m-1)$ – мерный вектор узловых отборов с элементами $Q_j = f(t, \alpha_s, P_j)$:

$$Q_j = \begin{cases} Q_j^*, & \text{если } P_j \geq P_j^*, \\ Q_j - P_j, & \text{если } Z_j < P_j < P_j^*, \\ 0, & \text{если } P_j \leq Z_j, \end{cases}$$

где Q_j^* – требуемый отбор в узле j ; P_j^* – требуемый свободный напор в узле j , м; Z_j – геодезическая отметка поверхности земли, м.

Вероятностные показатели готовности и безотказности снабжения водой потребителей и детерминированные уровни снижения объемов водоснабжения в аварийных ситуациях

Используя методику по расчету надежности тепловых сетей, разработанную Сенновой Е.В., предлагается производить оценку надежности обеспечения потребителей водой показателями: K_j , P_j , где K_j – коэффициент готовности к обеспечению расчетного водоснабжения j -го потребителя, P_j – вероятность безотказного водоснабжения j -го потребителя.

Коэффициент готовности к обеспечению расчетного водоснабжения j -го потребителя (определяется для каждого потребителя расчетной схемы j)

$$K_j = P_0 + \sum_{f \in F_i} P_f \quad K_j = \prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)^{-1} \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^n \gamma_i \right)$$

где p_0 – стационарная вероятность рабочего состояния сети, p_i – вероятность состояния сети, соответствующая отказу i -го элемента, F_j – множество элементов ВС, выход которых в аварию не нарушает расчетный уровень водоснабжения j -го потребителя; p_f – вероятность состояния сети, соответствующая отказу f -го элемента, $\gamma_i = \lambda_i / \mu_i$.

Вероятность безотказного водоснабжения j -го потребителя P_j – вероятность обеспечения j -го потребителя не ниже минимально допустимого значения (определяется для каждого потребителя расчетной схемой j)

$$P_j = \exp \left[- \left[p_0 \cdot \sum_{d \in D_j} (\lambda_d l_d \tau_{j,d}) \right] \right]$$

где D_j – множество элементов ВС, выход которых в аварию нарушает пониженный уровень водоснабжения j -го потребителя; $\tau_{j,d}$ – продолжительность обеспечения потребителя j водой ниже минимально допустимого значения $\tau_{j,d} = T \cdot \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} 1 - \rho_{j,t}$; T – продолжительность исследуемого периода, год; $\rho_{j,t}$ – вероятность часового обеспечения j потребителя, при $\bar{q}_{j,k} \geq \varphi_k^{ag}$, $k \in F_j^k$, где $\bar{q}_{j,k}$ – относительный (к расчетному расходу) часовой расход воды у j -го потребителя при отказе j -го элемента кольцевой части сети; F_j^k – множество участков кольцевой части водопроводной сети, гидравлически связанных с j -м потребителем; φ_k^{ag} – норма подачи воды потребителям в аварийных ситуациях. В данном случае обеспечение потребителя со снижением не более 30 %.

Вероятность безотказного снабжения j -го потребителя водой

$$P_j = \exp \left(- \left[\prod_{i=1}^n 1 + \gamma_i^{-1} \cdot \sum_{d \in D_j} \lambda_d \cdot l_d \cdot \left(T \cdot \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} 1 - \rho_{j,t} \right) \right] \right)$$

Нормирование значений вероятности безотказной работы и коэффициента готовности согласно: СНиП 2.04.02-84: 1 категория: $t_{снуж} = 3$ сут со снижением до 30% $t_{неп} = 10$ мин.

$$K_j \text{ норм} = \frac{8760 - t_{снуж}}{8760} = 0,99178 \quad P_j \text{ норм} = \frac{8760 - t_{неп}}{8760} = 0,99998$$

При формировании показателей надежности обеспечения потребителей использован нормальный закон распределения (преобразования Лапласа)

$$P_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} = 0,5 \pm \Phi \left(\frac{\beta - M \cdot x}{\sigma \cdot x} \right) = 0,5 \pm \Phi \left(\frac{\bar{Q}_{j,t}^{\text{треб}} - Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}}}{\sigma_{Q,j,t}^{\text{треб}}} \right) =$$

$$= 0,5 \pm \Phi \left(\frac{\bar{Q}_{j,t}^{\text{треб}} - \bar{Q}_{j,t}^{\text{треб}} - 3 \cdot \sigma_{Q,j,t}^{\text{треб}} + \alpha_s \cdot \sigma_{Q,j,t}^{\text{треб}} / 3}{\sigma_{Q,j,t}^{\text{треб}}} \right) = 0,5 \pm \Phi \left(-3 + \alpha_s / 3 \right)$$

Коэффициент готовности к обеспечению расчетного водоснабжения j-го потребителя

$$K_j = \prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)^{-1} \cdot \frac{1}{24} \times$$

$$\times \frac{1}{24} \cdot \sum_{i=1}^{24} f \in F_i \left(0,5 \pm \Phi \left(-3 + \alpha_s / 3 \right) + \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot 0,5 \pm \Phi \left(-3 + \alpha_s / 3 \right) \right)$$

при $Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} = Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}}$.

Для определения коэффициента готовности к обеспечению расчетного водоснабжения j-го потребителя определяется площадь, отсекаемой фигуры в пределах $[Q_{j,0,t}, \dots, Q_{j,\alpha_s,t}]$.

Вероятность безотказного снабжения j-го потребителя водой

$$P_j = \exp \left(- \left[\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n d \in D_j \lambda_i \cdot l_i \cdot \left(T \cdot \frac{1}{24} \cdot \sum_{i=1}^{24} 1 - 0,5 \pm \Phi \left(-3 + \alpha_s / 3 \right) \right) \right] \right)$$

при $Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} < 0,7 \cdot Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}}$, где i – отключаемый участок; n – количество участков; T – исследуемый час; $\gamma_i = \lambda_i / \mu_i$; $Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}}$ – требуемый отбор воды потребителем j по сечению α_s по часу t ; $Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}}$ – отбор воды потребителем j по сечению α_s по часу t по результатам гидравлического расчета

Для определения вероятности безотказного снабжения j-го потребителя водой определяется площадь, отсекаемой фигуры в пределах $[Q_{j,0,t}, \dots, Q_{j,\alpha_s,t}]$.

Новый подход к оценке вероятностных и детерминированных показателей надежности обеспечения водой каждого потребителя. Описание методики

- Определение значений требуемых отборов воды потребителями по каждому α_s -сечению [0, ..., 18], по каждому часу t [0, ..., 24];
- Проведение потокораспределений для безаварийных и аварийных режимов работы СПРВ по отборам каждого α_s -сечения каждого часа t ;
- Оценка узловых отборов воды после каждого потокораспределения. Если потребитель получает исследуемый расход, его обеспечение для этого состояния считается надежным. Переход к следующему этапу;

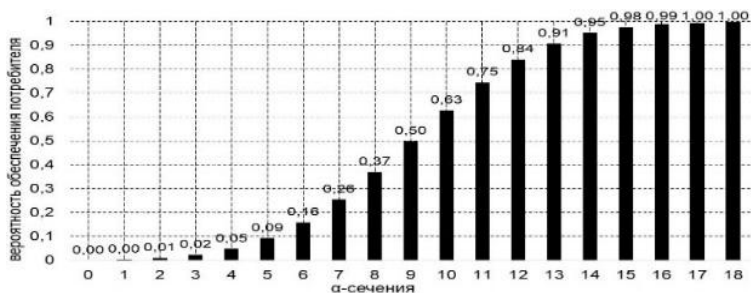


Рис. 5. Определение вероятности обеспечения потребителя

- Если на каком-то из этапов расчета потребитель стал получать расход воды, меньше исследуемого значения, то расход с предыдущего сечения и его вероятность фиксируются. Вероятность обеспечения потребителя рассматриваемого режима равна произведению вероятности обеспечения потребителя в данном режиме и вероятности наступления этого режима;

Формирование показателей надежности обеспечения потребителей

После проведения серии гидравлических расчетов $24 \cdot 19 \cdot (N+1) = 546 \cdot (N+1)$ для каждого потребителя путем сложения произведений вероятностей обеспечения потребителей в каждом режиме на соответствующие вероятности наступления этих режимов производится формирование обобщенных показателей надежности обеспечения водой.

$$K_j = \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} \left(\rho_{j,t,безав}^{обесп} \cdot \rho_0 + \sum_{i=1}^n \rho_{j,t,i}^{обесп} \cdot \rho_{откл,i} \right)$$

$$P_j = \exp \left(-\frac{1}{24} \cdot \rho_0 \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{d=1}^{24} \lambda_d \cdot \tau_{j,t} \right)$$

Сопоставление расчетных показателей надежности обеспечения потребителей водой с нормируемыми значениями: $K_j \geq K_{j(норм)}$; $P_j \geq P(норм)$.

Приведен пример. На рис. 6 представлена схема водоснабжения, содержащая 6 узлов, 7 участков. На рис. 7 представлен диапазон возможных нагрузок потребления воды группой домов.

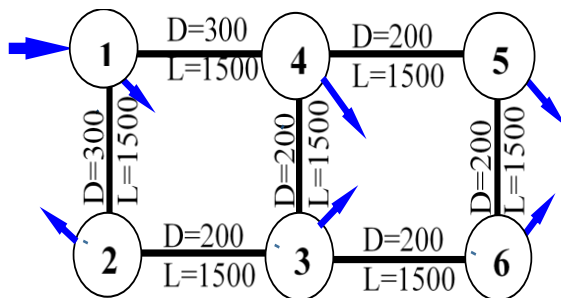


Рис. 6. Кольцевая схема СПРВ

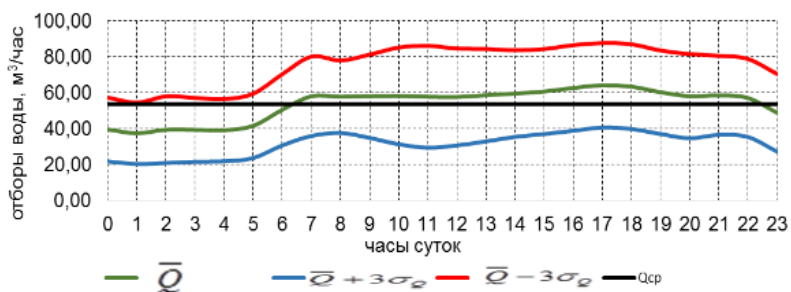


Рис. 7. Диапазон возможных нагрузок потребления воды группой жилых домов по городу Иркутску за исследуемые сутки

Каждый узел представляет собой группу потребителей с отборами воды, указанными на рис. 7.

Принято: материал трубопровода – сталь, период нормальной эксплуатации, (интенсивность отказов трубопровода, соответствующая периоду нормальной эксплуатации, $1/(км \cdot ч)$), $\lambda = 0,064 \cdot D^{-0,8}$, где D – диаметр трубопровода, м; Время восстановления трубопровода $T_{вс} = 24$ часа; $\mu_{вс} = 8760/24 = 365$.

Результаты вычисления стационарной вероятности рабочего состояния сети СПРВ p_o представлены в табл. 1.

Определение вероятностей обеспечения потребителей требуемым и аварийным количеством воды производится по каждому часу при безаварийном и ординарном потоке отказов (частные случаи).

Расчет стационарной вероятности рабочего состояния сети p_0

участки	L, м	D, мм	λ	μ	γ	$P_{ав} = \gamma / \Pi(1 + \gamma)$
1-2	1500	300	0,1677	365	0,00069	0,00068
2-3	1500	200	0,2319	365	0,00095	0,00095
4-3	1500	200	0,2319	365	0,00095	0,00095
1-4	1500	300	0,1677	365	0,00069	0,00068
4-5	1500	200	0,2319	365	0,00095	0,00095
3-6	1500	200	0,2319	365	0,00095	0,00095
5-6	1500	200	0,2319	365	0,00095	0,00095
$\Pi(1 + \gamma)$						1,00616
$p_0 = 1 / \Pi(1 + \gamma)$						0,99388
$\sum P_{ав} = \sum (\gamma / \Pi(1 + \gamma))$						0,00611

Формирование показателей надежности обеспечения потребителей водой (от частных случаев к обобщенным показателям)

$$K_j = \frac{1}{24} \cdot \sum_{i=1}^{24} \left(\rho_{j,t,безав}^{обесп} \cdot p_0 + \sum_{i=1}^n \rho_{j,t,i}^{обесп} \cdot p_{откл,i} \right)$$

$$P_j = \exp \left(-\frac{1}{24} \cdot p_0 \cdot \sum_{i=1}^{24} \sum_{d=1}^n \lambda_d \cdot l_d \cdot \tau_{j,t} \right)$$

Оценка надежности обеспечения потребителей. Сопоставление расчетных показателей надежности обеспечения потребителей j водой с нормируемыми значениями.

$$K_j \geq K_e(\text{норм}), K_e(\text{норм}) = 0,99178; P_j \geq P_j(\text{норм}), P_j(\text{норм}) = 0,99998.$$

Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сопоставления расчетных показателей надежности обеспечения потребителей водой с нормируемыми значениями

наименование показателя	нормирование	узлы					
		1	2	3	4	5	6
K_j	0,99178	0,99998	0,99951	0,9988	0,99931	0,9981	0,9978
P_j	0,99998	1,00000	0,999980	0,999837	0,999574	0,999543	0,999574

По результатам расчета вероятность безотказного обеспечения потребителей j водой узлов 3, 4, 5, 6 ниже нормируемых значений, соответственно, работа системы является ненадежной.

Предлагаемая методика позволяет учитывать многорежимность работы СПРВ и в этих условиях производить оценку надежности обеспечения водой каждого потребителя.

Библиографический список

1. Ильин Ю. А. Расчет надежности подачи воды. – М.: Стройиздат, 1987. 320 с.
2. Гальперин Е. М. Надежностные расчеты кольцевых водопроводных сетей // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 3. С. 26–29.
3. Ступина Л.А., Чупин В.Р. Проблема нормирования надежности водоснабжения потребителей в задачах проектирования систем транспорта воды. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Киев УМК ВО. 1989. С. 171-174.
4. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. М.: Стройиздат, 1979. 232 с.
5. Шопенский Л. А., Юрьева И. П. Построение расчетных графиков водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 11. С. 25–27.
6. Шопенский Л.А. Аналитическое описание режимов водопотребления и построения расчетных графиков. Сб. научных трудов. Вып. I. М.: ОНТИ ЦНИИЭП инженерного оборудования 1975 г;
7. Карамбиров С.Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности. Монография. М.: МГУП, 2004. 197 с.
8. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1979. 496 с.
9. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.
10. Чупин Р.В., Душин А.С. Оценка надежности обеспечения потребителей водой // Водоснабжение и санитарная техника. № 12, 2017. С. 35-42.
11. Чупин В.Р., Душин А.С. Оценка надежности обеспечения потребителей водой. Разработка показателей надежности водоснабжения потребителей // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. № 3 (30), 2019. С 578-593.
12. Чупин В.Р., Душин А.С. Оптимизация параметров новых и реконструируемых систем подачи и распределения воды с учетом бесперебойного водоснабжения потребителей // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. № 4 (31), 2019. С. 790-803.
13. Сеннова Е.В., Кирюхин С.Н. Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов. ОАО «Газпром промгаз», Москва, 2013 г.

РАЗДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАТА УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАТОВ ТБО НА РАСТВОРЫ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ХЛОРИДЫ АММОНИЯ

Т.Н. Ширкова, главный инженер проекта, АО «МосводоканалНИИпроект»

Полигоны хранения твёрдых бытовых отходов (ТБО) являются источниками загрязнения подземных и поверхностных вод токсичными продуктами разложения органических веществ [1]. «Тело» полигона ТБО представляет собой «губку», пропитанную водой, содержащей токсичные органические и неорганические загрязнения в высоких концентрациях.

Возраст полигона оказывает влияние на содержание в воде загрязнений, которые накапливаются по мере гниения и разложения бытовых отходов [1, 2]. Осадки вызывают попадание в «тело» полигона воды, которая «вытесняет» содержащуюся в «теле» загрязнённую воду, образуя так называемый «фильтрат» ТБО. Попадание фильтрата ТБО в подземные и поверхностные водоисточники создаёт серьёзную экологическую проблему. Возможность очистки фильтрата ТБО до уровня современных требований, предъявляемых к очищенной воде, поступающей в водоемы рыбохозяйственного назначения, представляет сложную техническую задачу [3-6]. Наиболее эффективной технологией очистки фильтратов ТБО в настоящее время признана технология обратного осмоса, позволяющая эффективно удалять из воды не только загрязнения в ионной форме (аммоний), но и растворенные органические соединения, определяемые показателем ХПК [7-10]. Серьёзную проблему при использовании технологии обратного осмоса представляет образование концентратов и их утилизация [11-12]. Расходы концентратов при обработке фильтратов ТБО методом обратного осмоса составляют от 20 до 30 процентов от всей поступающей на обработку воды. В практике эксплуатации систем обратного осмоса на полигонах ТБО получаемый концентрат возвращается в «тело» полигона путём его равномерного «разбрызгивания» над поверхностью. Поскольку дождевые воды «вытесняют» часть концентрированного раствора из тела полигона, поступление с концентратом всех удаленных из фильтрата ТБО загрязнений и смешение их с дождевой водой сохраняет баланс загрязнений: после смешивания дождевой воды и концентрата получается вода, соответствующая по составу фильтрату ТБО. А образующийся фильтрат ТБО поступает на очистку, где разделяется на очищенную воду и концентрат. Очищенная вода сбрасывается в водоём, а концентрат возвращается в «тело» полигона. Такой подход к «утилизации» концентрата имеет серьёзный недостаток: сброс 30-ти процентов концентрата «в тело» полигона дополнительно увеличивает количество обрабатываемой воды на 45% за счет дополнительно вытеснения фильтрата из «тела» полигона (рис. 1).

Наши новые исследования посвящены технологии, как сократить расход концентрата. Обработать осмосом концентрат сложно – органика мешает фильтрованию. Поэтому применена хитрость: мы концентрируем, потом в 5-10 раз разбавляем концентрат чистой водой. Органика концентри-

руется, а соли проскакивают через мембрану. Пермеат, содержащий хлорид аммония, концентрируется до концентрации 70-80 граммов в литре. Таким образом, получаем концентрат аммония (удобрение) и концентрат органики (50-60 граммов в литре), который можно утилизировать вместе с осадком сточных вод или направлять на биологическую очистку.

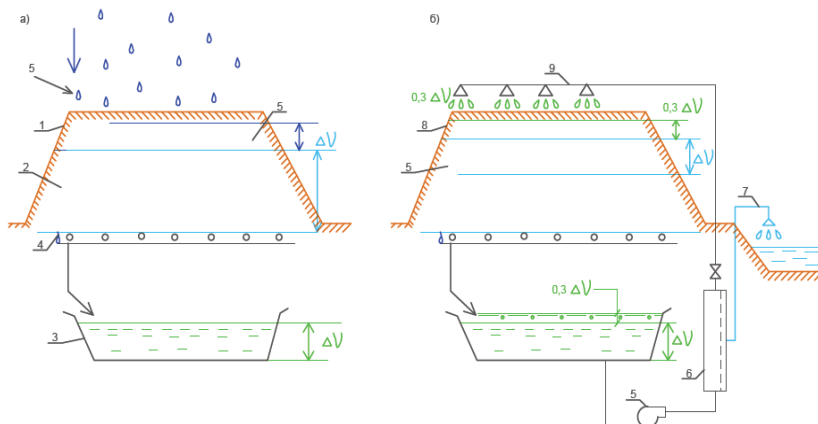


Рис. 1. Загрязнение подземных и поверхностных вод токсичными продуктами разложения органических веществ полигонов ТБО:

а – образование фильтрата ТБО во время дождя; б – очистка фильтрата ТБО методом обратного осмоса и возврат концентрата в «тело» полигона

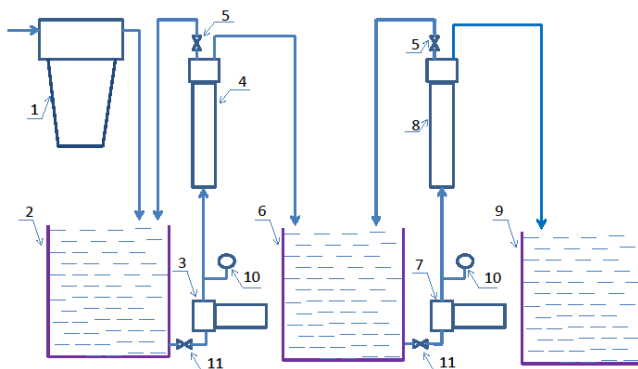


Рис. 2. Схема проведения эксперимента.

1 – патронный фильтр; 2 – бак исходного концентрата; 3 – рабочий насос первой ступени; 4 – наночисточный аппарат первой ступени; 5 – регулирующий давление вентиль; 6 – бак сбора пермеата первой ступени; 7 – рабочий насос второй ступени; 8 – обратноосмотический элемент второй ступени; 9 – бак сбора пермеата второй ступени; 10 – манометры

Доклад посвящен обработке концентратов установок обратного осмоса. На всех полигонах работает традиционная схема: фильтрат ТБО проходит очистку в режиме контактного осветления: в воду добавляется флокулянт и она проходит через загрузку фильтра. После этого вода проходит через микрофильтр и подается на мембранную установку. Мембранная установка обратного осмоса – трехступенчатая. Поскольку в фильтрате ТБО содержатся органические вещества и соли, осмотическое давление такого раствора достаточно велико. Поэтому на первой ступени установки обратного осмоса применяются мембраны высокого давления и процесс разделения идет под давлением 6 МПа. При этом не удается достичь расхода концентрата менее, чем 30-33 процента от расхода обрабатываемого фильтрата ТБО (рис. 3).

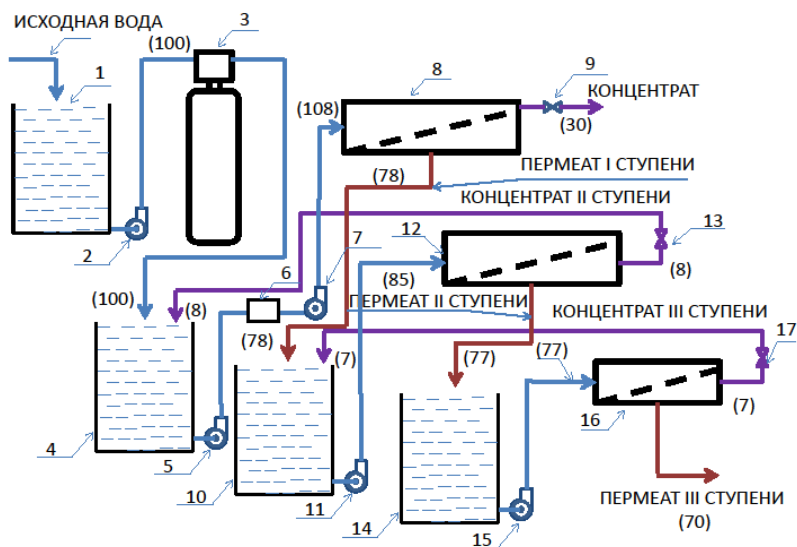


Рис. 3. Схема с применением мембран высокого давления на I ступени:

- 1 – бак исходного фильтрата; 2 – подающий насос; 3 – механический фильтр; 4 – бак осветленного фильтрата после удаления взвеси; 5 – «бустерный» насос; 6 – дисковый микрофильтр; 7 – рабочий насос первой ступени высокого давления; 8 – мембранный аппарат первой ступени с высоконапорными мембранами обратного осмоса; 9 – регулирующий вентиль давления первой ступени; 10 – бак сбора пермеата первой ступени; 11 – рабочий насос второй ступени; 12 – аппарат второй ступени с мембранами низкого давления; 13 – регулирующий вентиль давления второй ступени; 14 – бак сбора пермеата третьей ступени; 15 – рабочий насос третьей ступени; 16 – аппарат третьей ступени с мембранами низкого давления; 17 – регулирующий давление вентиль третьей ступени; 18 – аппарат-концентратор снижения расхода концентрата первой ступени; 19 – бак сбора концентрата первой ступени; 20 – рабочий насос аппаратов установки утилизации концентрата первой ступени; 21 – регулирующий давление ступени утилизации концентрата

В работе описана экспериментальная проработка новой технологии дальнейшего сокращения расхода концентрата (до величины, не превышающей 2-3 процента расхода исходного фильтрата ТБО) с применением нанофильтрационных мембран с низкой селективностью. Усовершенствованная схема представлена на рис. 4.

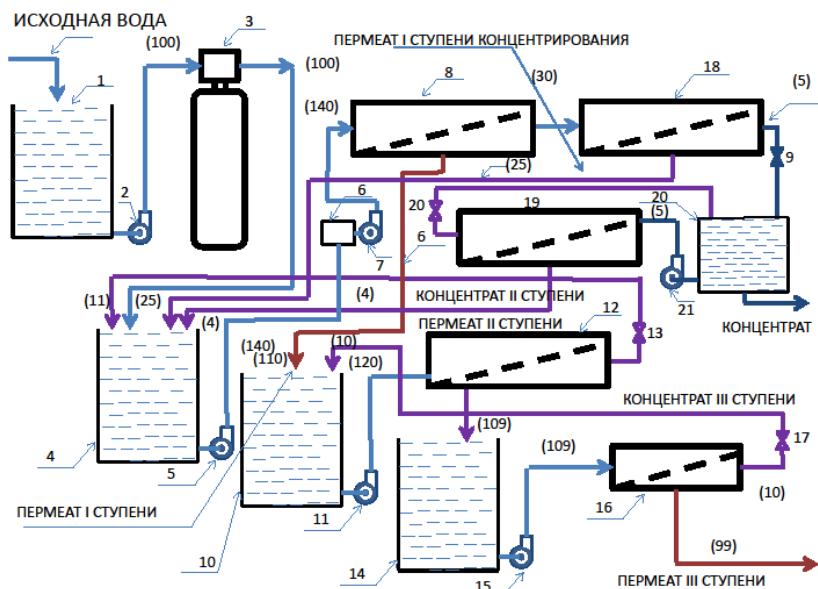


Рис. 4. Усовершенствованная схема сокращения расхода концентрата с применением нанофильтрационных мембран с низкой селективностью:

- 1 – бак исходного фильтрата; 2 – подающий насос; 3 – механический фильтр; 4 – бак осветленного фильтрата после удаления взвеси; 5 – «бустерный» насос; 6 – дисковый микрофильтр; 7 – рабочий насос первой ступени высокого давления; 8 – мембранный аппарат первой ступени с высоконапорными мембранами обратного осмоса; 9 – регулирующий вентиль давления первой ступени; 10 – бак сбора пермеата первой ступени; 11 – рабочий насос второй ступени; 12 – аппарат второй ступени с мембранами низкого давления; 13 – регулирующий вентиль давления второй ступени; 14 – бак сбора пермеата третьей ступени; 15 – рабочий насос третьей ступени; 16 – аппарат третьей ступени с мембранами низкого давления; 17 – регулирующий давление вентиль третьей ступени; 18 – аппарат-концентратор снижения расхода концентрата первой ступени; 19 – бак сбора концентрата первой ступени; 20 – рабочий насос аппаратов установки утилизации концентрата первой ступени; 21 – регулирующий давление вентиль ступени утилизации концентрата

Эксперимент: мы начинаем концентрировать раствор (иловую воду) и строим зависимость содержания ХПК, аммония, хлоридов в концентрате и фильтрате (рис. 5, 6). Как видно на рис. 7 производительность мембран резко падает.

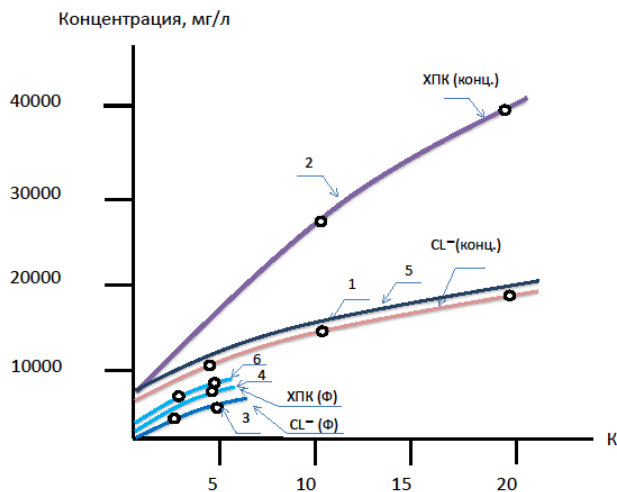


Рис. 5. Зависимость значений концентраций ХПК, хлоридов, аммония от значения коэффициента снижения объема К (отношения исходного объема концентрата к объему концентрата в конце эксперимента):

1, 3, 5 – концентрирование исходного концентрата; 4, 5, 6 – значения ХПК, аммония и хлоридов в пермеате

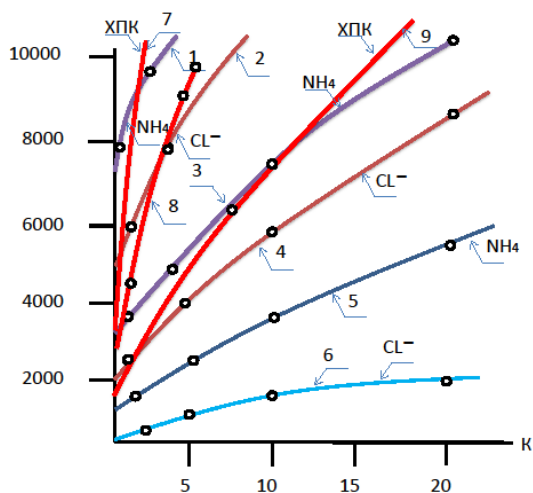


Рис. 6. Зависимость значений концентраций ХПК, хлоридов, аммония от значения коэффициента снижения объема К (отношения исходного объема концентрата к объему концентрата в конце эксперимента):

1, 2, 7, 8 – в исходном концентрате; 3, 9 – аммоний и хлориды при концентрировании концентрата после разбавления в 10 раз; 5, 6 – аммоний и хлориды в пермеате при концентрировании исходного концентрата

Производительность
мембранного аппарата л/час

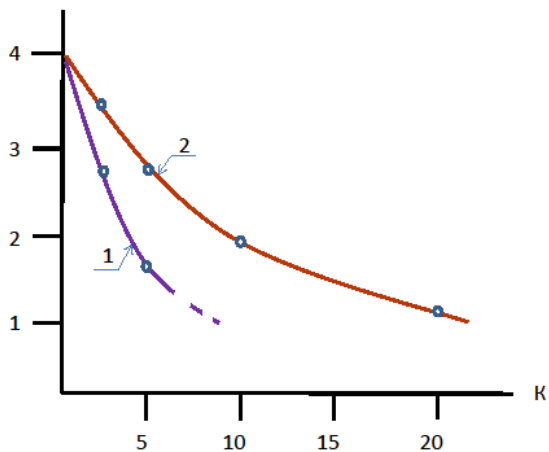


Рис. 7. Производительность мембранного аппарата:
1 – концентрирование исходного концентрата; 2 – после разбавления

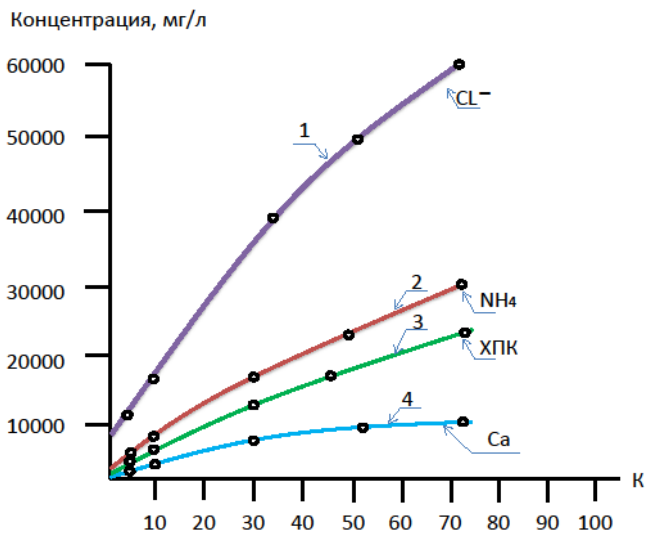


Рис. 8. Концентрации в пермеате после разбавления концентрата. Концентрирование пермеата с целью получения концентрированного раствора хлорида аммония

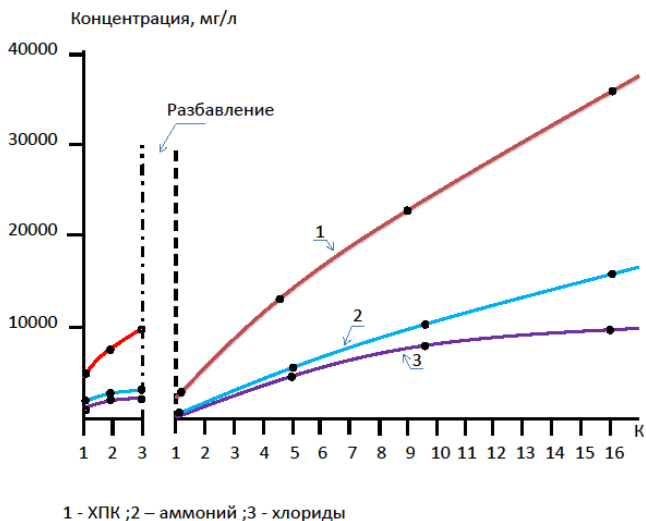


Рис. 9. Зависимость значений концентраций ХПК, хлоридов аммония от значения коэффициента снижения объема К (отношения исходного объема концентрата к объему концентрата в конце эксперимента)

Поэтому придумали хитрый ход: сконцентрировав в 10 раз, разбавляем концентрат чистой водой и опыт с концентрированием повторяем: солей в исходном растворе стало меньше, поэтому вода легко концентрируется в 20-40 раз, органика задерживается, а половина солей проскакивает через мембраны. Получив концентрат с органикой, опять разбавляем в 5 раз и опять концентрируем в 40-50 раз. Получаем крепкий органический раствор с ХПК 70 000 мг/л. После собираем фильтрат после экспериментов и концентрируем его до достижения величины общего солевого содержания 80 000 мг/л. Таким образом мы разделяем иловую воду на 3 части: чистая вода (96-98%), концентрат органических веществ (ХПК 70 000 мг/л) 1-2 % от общего расхода, солевой раствор смеси хлорида кальция и хлорида аммония (80 000 мг/л) 1-2 % от общего расхода. Это видно на рис. 9.

Библиографический список

1. Hussein L., Abdel-Shafy, Mona S., Mansour M. // Egyptian Journal of Petroleum. 2018. V. 27, Iss. 4. P. 1275-1290.
2. Wiszniowski J., Robert D., Summer-Gorska J., Miksh K., Weber J.V. // Environ. Chem. Lett. 2006. V. 4. P. 51-61.
3. Sun W.Y., Kang M.S., Yim S.K., Choi K.H. // Desalination. 2002. V. 149. P. 109-114.
4. Weber B., Holz F. // Elsevier Science Publishers Ltd, England. Effective Industrial Membrane Processes – Benefits and opportunities, 1991. P. 143-154.

5. Chianese A., Ranauro R., Verdone N. // *Water Research*. 1999. V. 33, Iss. 3. P. 647-652.
6. Ushikovski K., Kobayashi T., Uematsu K., Toji A., Kojima D., Matsumoto K. // *Desalination*, 2002. V. 150, Iss. 2. P. 121-129.
7. Li, G., Wang, W., Du, Q. // *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, 116, 2343-2347.
8. Mariam, T., Nghiem, L.D. Landfill leachate treatment using hybrid coagulation-nanofiltration processes. // *Desalination* 2010, 250, 677-681.
9. Скворцов Л.С., Варшавский В.Я., Камруков А.С., Селиверстов А.С., Николадзе Г.Я.// Патент 2099294 от 20.12.1997.
10. Кофман В.Л. // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. №1-2. С. 124-127.
11. Ширкова Т.Н., Спицов Д.В., Первов А.Г., Кирюшина М.С. // *Инновации и инвестиции*. 2020. Т. 2. С. 123-129.
12. Первов А.Г., Ширкова Т.Н., Тихонов К.В. // *Мембраны и мембранные технологии* том 10 номер 5. Москва. 2020. С. 309-324.