



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МАРАФОН В ОБЛАСТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Сборник докладов участников интеллектуального марафона в
области водоснабжения и водоотведения среди молодых
ученых, аспирантов и студентов
(г. Москва, 9 сентября 2021 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГУ», 2021

ISBN 978-5-7264-2901-4

Москва
Издательство МИСИ – МГУ
2021

УДК 628
ББК 38.9
И73

И73 **Интеллектуальный марафон в области водоснабжения и водоотведения** [Электронный ресурс] : сборник докладов участников интеллектуального марафона в области водоснабжения и водоотведения среди молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Москва, 9 сентября 2021 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра водоснабжения и водоотведения. — Электрон. дан. и прогр. (3,1 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-7264-2901-4

В сборнике содержатся доклады молодых ученых, аспирантов и студентов, представленные на интеллектуальном марафоне в области водоснабжения и водоотведения, организованном совместно НИУ МГСУ и выставкой «Экватек: Вода и Экология», который состоялся 9 сентября 2021 года.

Для научных работников данной отрасли, ученых, аспирантов и обучающихся вузов.

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 *Н.А. Макиша*

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

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

Верстка макета *Н.А. Макиши*

Подписано к использованию 27.09.2021. Объем данных 3,1 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

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Захаревич Г.М.</i> Анализ эксплуатационной надежности наружных сетей водоснабжения.....	5
<i>Кулаков А. А., Бертякова Д. С.</i> Оценка достижимости технологических нормативов на малых очистных сооружениях.....	13
<i>Мельникова Н.С., Крымов Р.С.</i> Оптимизация работы канализационных очистных сооружений г. Судака.....	18
<i>Морозов С.А.</i> Исследование работы станции биологической очистки КОС-400 северных территорий как базовой для внедрения режима дистанционного управления.....	26
<i>Прокофьева П.С.</i> Методы борьбы с неконтролируемыми выбросами газов из канализационной сети.....	34
<i>Спасибо Е.В.</i> Визуальное и технологическое обследование канализационных очистных сооружений Крыма.....	42
<i>Чекима Х., Ракал З.</i> Управление процессом подъема воды в регионе Эль-Уэд (Юго-Восточный Алжир) и проверка возможности использования очищенных сточных вод в ирригации.....	49
<i>Шлычков Д.И.</i> Уточненная формула Шези для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб.....	56

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Захаревич Г.М. – магистр, ФГБОУ ВО ПГУПС

Научные руководители – к.т.н., доц. Постнова Е.В., доцент; Рунев Е.В., старший преподаватель, ФГБОУ ВО ПГУПС

Для анализа надежности наружных сетей водоснабжения необходимо определить показатели надежности их основных элементов. Показатели надежности элементов водопроводной сети связаны со временем ее эксплуатации. Для определения показателей надежности элементов водопроводной сети необходимо найти статистические закономерности распределения случайных величин (событий) и установить, какому из теоретических законов распределения они соответствуют. В качестве основных случайных величин, исследуемых при анализе надежности сетей водоснабжения, используют количество отказов (повреждений) элементов в определенный период времени эксплуатации.

Физический смысл надежности водопроводных сетей заключается в способности этих сооружений сохранять свои первоначальные технологические характеристики в процессе эксплуатации. Таким образом, надежность водопроводных сетей зависит не только от продолжительности их функционирования, но и от условий их эксплуатации. Ликвидация аварий требует временного выключения поврежденного участка из работы для проведения ремонта. В этом случае на время ремонта происходит полное прекращение подачи воды по поврежденному участку, т. е. нарушается его работоспособность.

Наружные сети водоснабжения являются наиболее значимыми объектами, как по масштабности, так и по их роли в обеспечении потребителей водой. Кроме того, именно трубопроводы чаще других сооружений водоснабжения подвержены повреждениям (до 70% от общего количества аварий) и, следовательно, являются менее надежными. Для анализа эксплуатационной надежности водопроводных сетей основным средством является обработка и анализ статистических данных по их повреждениям.

Одной из задач настоящей научно-исследовательской работы является разработка методики исследования эксплуатационной надежности наружных водопроводных сетей на основании статистических данных по их повреждениям. Для примера использовались статистические данные по повреждениям наружных водопроводных сетей одного из городов Северо-Западного региона РФ за 4 года его эксплуатации. Методика обработки данных по повреждениям водопроводных сетей заключается в систематизации собранного статистического материала. При этом статистические данные по повреждениям распределялись по сезонам года, видам повреждений, диаметрам и материалам труб, годам укладки трубопроводов, а также по различным комбинациям этих факторов

распределения [1]. Распределения повреждений трубопроводов по сезонам года и видам повреждений представлены в табл. 1.

Таблица 1. Распределение повреждений сетей водоснабжения по сезонам года

Виды повреждений	Распределение повреждений 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 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 водопроводных сетях по видам показало, что наиболее часто на трубах образуются свищи – 1062, причем чаще свищи на трубах возникают летом – 415. Причиной образования свищей является внешняя и внутренняя коррозия металла и дальнейшее воздействие на корродированные участки труб блуждающих токов от городского электротранспорта. Следует отметить, что электропроводность грунта летом возрастает, что способствует более интенсивному образованию свищей на трубах именно в этот период времени.

Основной причиной разрушения стыковых соединений – 294 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.

Распределение повреждений по материалам изготовления труб и значения частот повреждений труб в зависимости от материала их изготовления представлены в табл. 2.

Таблица 2. Распределение повреждений по материалам изготовления труб и значения частот повреждений труб

Материал изготовления труб	<u>Количество повреждений, n</u> % от общего количества повреждений	Протяженность труб, l , км	Частота повреждений труб, $n/км \cdot год$
Чугунные	<u>1973</u> 66	3276	0,15
Стальные	<u>869</u> 29	1632	0,13
Пластмассовые	<u>132</u> 5	1067	0,03
Итого	<u>2974</u> 100	5975	0,125

Из распределения повреждений на водопроводных сетях в зависимости от материала изготовления труб следует, что подавляющее число аварий происходит на чугунных трубах (до 66% от общего числа повреждений). Это объясняется тем, что протяженность этих труб максимальная $l = 3276$ км. Средняя частота повреждений труб в зависимости от материала их изготовления составляет - 0,125 $n/км \cdot год$.

Распределение повреждений по видам в зависимости от материала изготовления труб приведено в табл. 3.

Таблица 3. Распределение повреждений по видам в зависимости от материала изготовления труб

Виды повреждений	Распределение повреждений по материалам труб			
	Чугунные	Стальные	Пластмассовые	Всего
Разрушение запорно-регулирующей и предохранительной арматуры	210	42	43	295
Переломы труб	903	5	2	910
Разрыв сварного шва	-	31	32	63
Свищи на трубах	284	778	-	1062
Разрушение стыковых соединений труб	285	-	9	294

Виды повреждений	Распределение повреждений по материалам труб			
	Чугунные	Стальные	Пластмассовые	Всего
Трещины на трубах	291	13	46	350
Итого	1973	869	132	2974

Анализ статистических данных повреждений по видам в зависимости от материала труб позволил установить, что для чугунных труб самым характерным повреждением является перелом труб – 903. На стальных трубах чаще всего образуются свищи – 778. На пластмассовых трубах основным видом повреждений являются трещины – 46. Основной причиной переломов чугунных труб и образования свищей на стальных трубах является их эксплуатационная изношенность, о чем свидетельствуют данные табл. 4.

В табл. 4 приведен сравнительный анализ фактических и нормативных сроков эксплуатации труб в зависимости от материала их изготовления.

Таблица 4. Сравнительный анализ фактических и нормативных сроков эксплуатации труб в зависимости от материала их изготовления

Материал труб	Годы прокладки труб	Протяженность труб, l, км	Фактические сроки эксплуатации труб, лет	Нормативный срок эксплуатации труб, лет
Чугунные	1900 – 1959	1085 (33%)	120 - 61	60
	1960 - 2020	2191	60 и менее	
Стальные	1900 – 1999	1568 (96%)	120 – 22	20
	2000 – 2020	64	20 и менее	
Пластмасса	1967 – 1969	1,0 (0,1%)	52 – 51	50
	1970 – 2020	1066	50 и менее	
Всего		5975		

Из табл. 4 следует, что протяженность чугунных труб со сроком эксплуатации, превышающим нормативный (60 лет), составляет 33 %, протяженность стальных труб со сроком эксплуатации, превышающим нормативный (20 лет), составляет 96%, что свидетельствует о повышенной изношенности этих труб. Для пластмассовых труб изношенность весьма незначительная и составляет 0,1%.

Для анализа эксплуатационной надежности водопроводных сетей, 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 – $\{\lambda_i\}$, интенсивность восстановления – $\{\mu_k\}$ и вероятность безотказной работы как функция времени – $P(t)$ [2].

На основании статистических данных по повреждениям и восстановлению труб были получены расчетные значения величин $\{\lambda_i\}$ и $\{\mu_k\}$ для различных диаметров трубопроводов. Значения интенсивностей отказов и восстановления сетей водоснабжения в зависимости от диаметров труб представлены в табл. 5.

Таблица 5. Значения интенсивностей отказов и восстановления водопроводных сетей в зависимости от диаметров труб

Интервалы диаметров труб, d , мм	Количество повреждений, n % от общего количества повреждений	Длина труб, l , км	Время восстановления труб, T , ч	Значения интенсивностей отказов и восстановления	
				$\lambda(t) \cdot 10^{-4}$ 1/(км·ч)	$\mu(t) \cdot 10^{-2}$ 1/ч
100 ÷ 125	$\frac{1037}{35}$	2080	4,0	0,37	0,25
150 ÷ 180	$\frac{807}{27}$	1622	5,0	0,29	0,20
200 ÷ 250	$\frac{434}{15}$	879	5,9	0,16	0,17
280 ÷ 350	$\frac{351}{12}$	703	6,7	0,13	0,15
400 ÷ 500	$\frac{315}{11}$	693	7,1	0,12	0,14
Итого	$\frac{2974}{100}$	5975			

Анализ полученных показателей надежности показал, что наибольшая интенсивность отказов приходится на трубопроводы с интервалом диаметров труб $d = 100 \div 125$ мм, это объясняется наибольшей их протяженностью (2080 км) и максимальным количеством повреждений на трубах данного сортамента – 1037.

Достоверность гипотезы о пуассоновском законе распределения потока отказов элементов и показательном распределении времени восстановления трубопроводов устанавливалась с использованием критерия согласия Пирсона. Для этого принимались выборочные значения интенсивностей отказов и восстановлений трубопроводов, представленные в табл. 5.

Статистики Пирсона для соответствующих выборочных распределений имеют вид:

$$\chi_{\lambda}^2 = \frac{(\lambda(i) - \lambda_i)^2}{\lambda_i} = 10,9; \quad \chi_{\mu}^2 = \frac{(\mu(i) - \mu_i)^2}{\mu_i} = 9,8. \quad \text{Используя квантили}$$

χ^2 – распределения для $m = 5$ степеней свободы и уровня значимости

$\alpha = 0,05$, получаем $\chi^2(0,05;5) = 11,1$. Анализ сравнения квантилей распределения χ^2 со значениями статистик Пирсона: $\chi^2_\lambda < \chi^2(0,05;5)$; $\chi^2_\mu < \chi^2(0,05;5)$ позволяет сделать вывод, что нет оснований отвергать гипотезы о пуассоновском законе распределения потока отказов элементов и показательном распределении времени восстановления трубопроводов [3].

Допущение о пуассоновском распределении интенсивности отказов и экспоненциальном распределении времени восстановления позволило применить для анализа надежности наружных сетей водоснабжения модель Марковских случайных процессов с конечным множеством состояний и непрерывным временем [4].

Вспомогательным средством для описания сложной системы с дискретным числом состояний принят граф состояний городского водопровода, который описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена:

$$\dot{\mathbf{P}}(t) = \Lambda \cdot \mathbf{P}(t) \quad (1)$$

с начальными условиями: $\mathbf{P}(0) = \mathbf{P}_0 = (p_0(0), p_1(0), \dots, p_n(0))$, где $p_0(0) = 1, p_1(0) = p_1(0) = \dots = p_n(0) = 0, n = 24$. (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 ; $j = 0, \dots, n$ – номер состояния системы.

Матрица интенсивностей указанного графа наиболее вероятных состояний 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): $\lambda_{ki} = \lambda_i$; $\lambda_{ki} = \mu_i, k = 0, \dots, n; i = 1, \dots, n$.

Решение задачи Коши (1)–(3) имеет вид: $\mathbf{P}(t) = e^{\Lambda t} \cdot \mathbf{P}_0$.

На рис 1. представлен граф состояний водопроводной сети, состоящей из $n = 24$ элементов при обслуживании ее одной ремонтной бригадой. В качестве вершин графа были приняты участки трубопроводов определенных интервалов диаметров труб, приведенные в табл. 5.

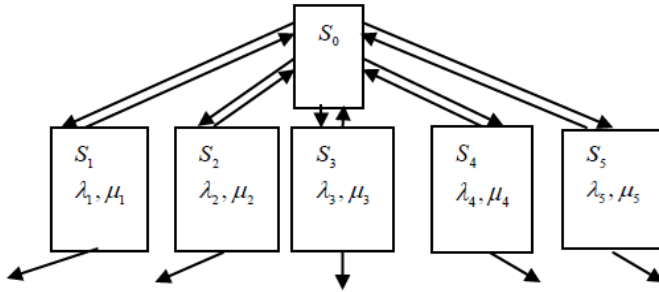


Рис. 1. Граф состояний водопроводной сети, состоящей из $n = 24$ элементов:
 S_0, \dots, S_n – состояния системы (показаны первые 6 состояний)

Следует отметить, что граф состояний составлен только для наиболее вероятных состояний водопровода, когда в данный момент времени вероятен отказ одного из элементов водопроводной сети. Вероятности возникновения других состояний трубопроводов настолько малы, что ими можно пренебречь. На основании графа состояний водопроводной сети определялись вероятности состояний системы как функции времени.

Решение задачи Коши для системы дифференциальных уравнений (1),(2) найдено методом собственных векторов с использованием пакета Matlab [5]. В результате решения задачи Коши были определены вероятности безотказной работы состояний водопроводной сети в зависимости от времени эксплуатации.

Вероятность безотказной работы водопровода, согласно теореме сложения для нескольких событий, в которых какой-либо из элементов находится в состоянии неисправности, определяется формулой:

$$P(t) = 1 - \prod_{j=0}^n (1 - p_j(t)). \quad (4)$$

График вероятности безотказной работы водопроводной сети в зависимости от времени ее эксплуатации представлен на рис. 2.

Значения вероятности безотказной работы, $P(t)$

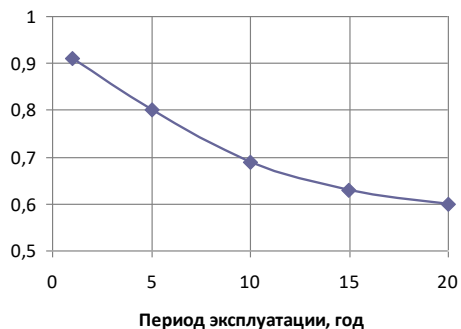


Рис. 2. График вероятности безотказной работы водопроводной сети в зависимости от времени ее эксплуатации

Анализ графической зависимости $P(t)$ от времени эксплуатации показывает, что надежность водопроводной сети в настоящее время в целом достаточно высокая, однако с течением времени ее эксплуатации, работоспособное состояние сети будет снижаться по причине возникновения различных повреждений, а также вследствие износа и старения ее элементов.

Выводы

1. Разработана методика исследования эксплуатационной надежности наружных водопроводных сетей на основании статистических данных по их повреждениям;
2. Определены основные показатели надежности существующей водопроводной сети: интенсивность отказов $\{\lambda_i\}$, интенсивность восстановления $\{\mu_k\}$ и вероятность безотказной работы как функция времени $-P(t)$.
3. Дан анализ рабочего состояния существующей водопроводной сети в зависимости от времени ее эксплуатации;
4. Предложена модель расчета надежности на примере конкретной водопроводной сети, позволяющая объективно оценить надежное состояние других водораспределительных сетей с целью долговременного прогнозирования их работоспособности за весь период эксплуатации.

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. 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. Постнова Е.В. Вероятностная методика расчета надежности систем железнодорожного водоснабжения. В книге: «Инновационные технологии на железнодорожном транспорте». Труды XXIV Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020., С. 15-19.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000.– 480 с.
5. Постнова Е.В., Рунев Е.В., Захаревич Г.М. Модель расчета надежности городских водопроводов с применением пакета MATLAB. В сборнике: Яковлевские чтения. Сборник докладов XVI Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. – Москва, 2021., С. 172-177.

ОЦЕНКА ДОСТИЖИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ НА МАЛЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Кулаков А. А. – к.т.н., доцент, РТУ – МИРЭА

Бертякова Д. С. – магистрант, РТУ - МИРЭА

Проблема очистки сточных вод является одной из актуальных в системе жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации не только в мегаполисах, но и в малых городах и поселениях. Еще в 1970-80 гг. этому вопросу уделялось повышенное внимание, именно в тот период времени было запущено большинство функционирующих сейчас канализационных очистных сооружений (КОС) [1]. Большинство этих сооружений проектировалось на биологическую очистку сточных вод от органических веществ. В настоящее время требования к сбросу предъявляются по более широкому спектру показателей, включая соединения азота и фосфора.

Как показывает практика вероятность достижения ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения на малых КОС достаточно низкая. Доля станций с обеспечением норматива по фосфору составляет всего 3%, по аммонийному азоту – 5% [2]. Это определяется высокой степенью износа сооружений, технологиями, неспособными обеспечить глубокое изъятие азота и фосфора, а также достаточно жесткими нормами на сброс [1].

С 2020 года в практике водопользования появилась возможность получения технологических нормативов по технологическим показателям для КОС городских поселений согласно Постановлению Правительства РФ № 1430 от 15.09.2020.

Согласно ИТС 10-2019 [3], очистные сооружения централизованных систем водоотведения вод классифицируются (табл.1) на основании среднего суточного расхода, а также параметра эквивалентной численности жителей (ЭЧЖ).

Таблица 1. Классификация КОС по диапазонам мощности [3]

Наименование	Расход, м ³ /сут	Нагрузка по БПК ₅ , кг/сут	ЭЧЖ
Сверхкрупные	Более 600 тыс.	Более 180 тыс.	Более 3 млн.
Крупнейшие	200–600 тыс.	60–180 тыс.	1–3 млн.
Крупные	40–200 тыс.	12–60 тыс.	200 тыс. — 1 млн.
Большие	10–40 тыс.	3–12 тыс.	50–200 тыс.
Средние	4000–10000	1200–3000	20–50 тыс.
Небольшие	1000–4000	300–1200	5–20 тыс.
Малые	100–1000	30–300	500–5000
Сверхмалые	10–100	3–30	50–500

Целью данной работы являлась оценка достижимости технологических и природоохранных нормативов на малых КОС.

В данной работе рассмотрены сверхмалые, малые и небольшие канализационные очистные сооружения, которые условно далее будем называть малыми КОС.

Малые КОС обладают рядом индивидуальных особенностей [1], которые требуют определенного подхода к эксплуатации, проектированию: частые пиковые нагрузки на сооружения по объему и составу сточных вод, высокая неравномерность нагрузки;

высокая пространственная рассредоточенность объектов и, зачастую, их удаленность, что затрудняет их эксплуатацию, а также вводит ограничения на размеры конструкций с учетом логистических затрат;

высокие удельные капитальные и эксплуатационные затраты; дефицит эффективных технологических решений.

Проведен сбор и анализ данных по качеству очищенных сточных вод малых очистных сооружений на основе статистической информации по форме № 2-ТП (водхоз). Информация представлена по 117 выпускам, в т.ч.:

- 6 небольших КОС (1000-4000 м³/сут);
- 43 малых КОС (100-1000 м³/сут);
- 68 сверхмалых КОС (10-100 м³/сут).

При обработке данных рассмотрены две категории: 1 – сверхмалые (68 выпусков), 2 – малые и небольшие (49 выпусков).

Проанализирована информация по следующим показателям, которые являются основными технологическими показателями для очистных сооружений городских поселений: БПК_п, взвешенные вещества (ВВ), аммонийный азот (N-NH₄), нитритный азот (N-NO₂), нитратный азот (N-NO₃) и фосфор фосфатов (P-PO₄).

По полученным данным определена доля станций, на которых обеспечиваются нормативы (W, %) по формуле:

$$W = \frac{n}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%,$$

где n – количество станций, на которых достигается необходимое значение заданного параметра, N – общее количество сооружений.

Полученные данные представлены в табл. 2 и на рис. 1-3.

Таблица 2. Достижение нормативов

Показатель	Достижение ТП				Достижение ПДК		
	СМ		М,Н		ПДК, мг/л	СМ	М,Н
	ТП, мг/л	W, %	ТП, мг/л	W, %		W, %	W, %
ВВ	15	72,1	15	77,6	3	8,8	12,2
БПКп	19,8	79,4	16,5	71,4	3	16,2	12,2
P-PO ₄	5	98,3	1,5	79,6	0,39	8,3	24,5
N-NH ₄	8	67,2	1,5	30,6	0,024	9,0	12,2
N-NO ₂	0,25	74,2	0,25	77,6	9,1	28,8	32,7
N-NO ₃	18	97,0	12	87,8	0,2	91,0	85,7
3 азота*	-	50,7	-	26,5	-	6,0	8,2

Примечания: СМ – сверхмалые, М, Н – малые, небольшие; ТП – технологические показатели, 3 азота – одновременное достижение норматива по 3 формам азота на КОС

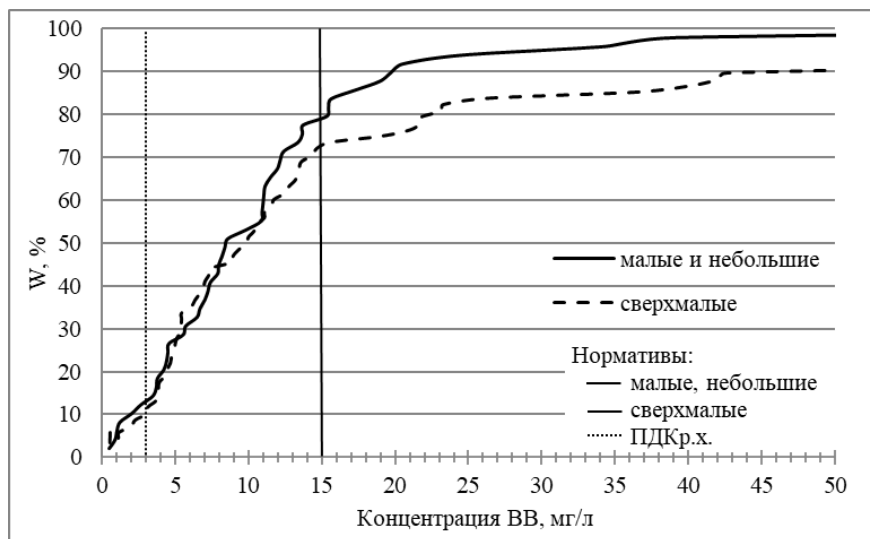


Рис.1. Достижимость нормативов по ВВ

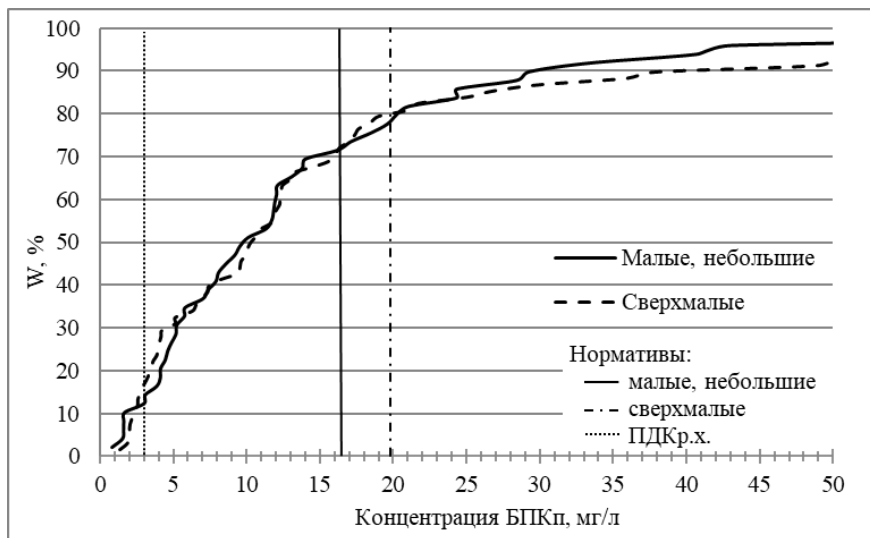


Рис.2. Достижимость нормативов по БПКп

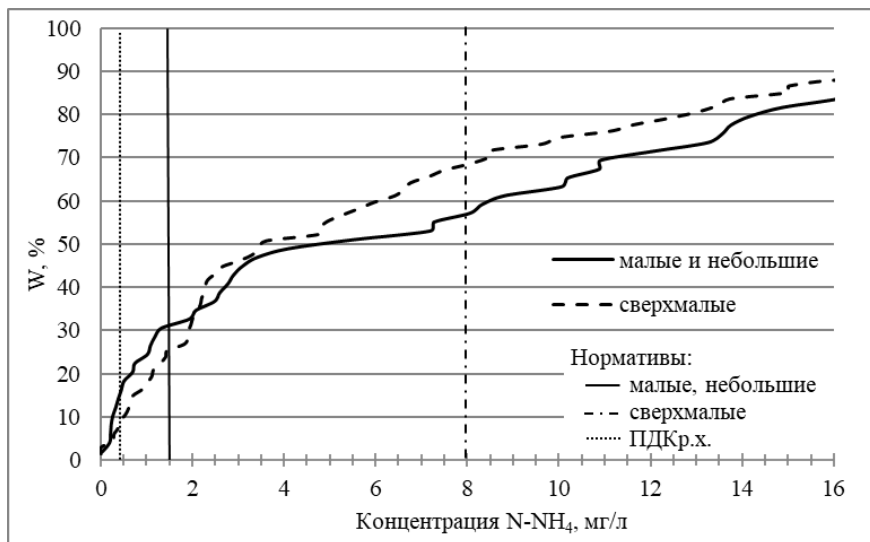


Рис.3. Достижимость нормативов по азоту аммонийному

Достижение ПДК имеет достаточно низкую вероятность как на сверхмалых, так и на малых и небольших КОС. Наименьшая доля КОС с достижением ПДК отмечена по ВВ (9 и 12 %), фосфору (8 и 25 %) и азоту аммонийному (9 и 12 %). Высокая достижимость нормативов по нитратам объясняется низкой эффективностью нитрификации на рассмотренных объектах. Достижение норматива по ВВ (3 мг/л) возможно лишь при высокоэффективной стадии доочистки. Достижимость ПДК по всем трем

формам азота одновременно составляет всего 6 и 8 % для групп проанализированных объектов. Применяемые технологии биологической очистки с нитрификацией не позволяют достичь установленных ПДК.

Более возможным выглядит достижение технологических нормативов, однако достижение ТП по трем азотам обеспечивается лишь на 26,5 % малых и небольших станциях.

Достижение ТП по ВВ и БПК возможно даже без применения сооружений доочистки, достижение же ТП по азотным соединениям может потребовать специальных методов удаления азота.

Если рассмотреть ТП для сверхмалых КОС, то для обеспечения норм по аммонийному азоту достаточно обеспечить удаление органических веществ и частичную нитрификацию, однако в таком случае есть риск повышенных концентраций нитритов.

Достижение ТП для малых и небольших КОС потребует внедрения технологии удаления органических веществ и глубокой нитрификации, что может привести к росту содержания нитратов в очищенной воде.

Как результат даже при установлении ТП рекомендуется применять методы удаления азота, хотя бы с частичной денитрификацией.

Достижение ТП по фосфатам выглядит достаточно реальным, в некоторых случаях даже не потребуется применять специальные методы удаления фосфора, в некоторых – можно ограничиться реагентным удалением фосфора.

Для проанализированных объектов наблюдается большая доля недостаточно очищенных сточных вод, сброс которых приводит к деградации водных экосистем, особенно это характерно для малых водных объектов.

Данная ситуация требует разработки комплекса мероприятий по модернизации очистных сооружений и доведения качества очищенных сточных вод до установленных нормативов. Один из возможных вариантов решения проблемы – внедрение технологий глубокого удаления азота и фосфора, а также доочистки сточных вод.

Согласно [3] такими технологиями являются:

- БНДХФ – биологическая очистка с удалением азота и химическим удалением фосфора – позволяет удалить до 85% азота из сточных вод;

- БНДБХФ – очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора – позволяет удалить до 92% общего азота и до 85% фосфора фосфатов.

В качестве доочистки на малых и сверхмалых очистных сооружениях могут эффективно применяться зернистые и дисковые фильтры (снижают показатель ВВ до 5 мг/л, а фосфор фосфатов до 0,5 мг/л при применении реагентов), биофильтры доочистки (доводят аммонийный азот до 1 мг/л, а азот нитритов до 0,1 мг/л).

Современные достижения науки и техники позволяют обеспечить достижение ПДК и ТП, что подтверждается большим количеством публикуемых работ и апробированных объектов. Однако зачастую это

приводит к росту себестоимости очистки сточных вод. Поэтому подбор оптимальных технологических решений должен учитывать как экологические, так и экономические критерии.

Выводы

1. В рамках проведенного исследования проанализирована информация по составу очищенных сточных вод 117 очистных сооружений, в т.ч. 6 небольших, 43 малых и 68 сверхмалых.

2. Для сгруппированных объектов определены доли очистных сооружений, на которых достигаются природоохранные и технологические нормативы по ВВ, БПК, азотным соединениям и фосфору фосфатов.

3. Наименьшая вероятность достижения ПДК отмечена для ВВ, азота аммонийного и фосфора фосфатов.

4. Достижение технологических показателей представляется возможным при применении соответствующих технологий удаления органических веществ и азота.

5. Повышение эффективности работы очистных сооружений должно базироваться на оценке экологических и экономических критериев эффективности технологий.

Библиографический список

1. Кулаков А.А. Оценка современного состояния малых канализационных очистных сооружений канализации // Вода и экология, 2015. №1, с. 26-40

2. Кулаков А.А. Экологическая оценка комплекса «водный объект - выпуск очищенных сточных вод» // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 5. С. 25–30

3. Информационно-технологический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2019 Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г.СУДАКА

Мельникова Н.С., аспирант, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Крымов Р.С., старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

подавляющее большинство очистных сооружений в России сейчас находятся в ужасном и непригодном состоянии. Износ основных фондов канализационных систем в настоящее время составляет более 50%, износ отдельных объектов составляет более 70%, что не может гарантировать

необходимую очистку. Многие из этих объектов были построены в 1970-1980-х годах по требованиям тех времен. Поэтому практически все они требуют ремонта и реконструкции из-за основательного физического и технологического износа. Текущее состояние систем и сооружений водоснабжения и канализации зачастую является скрытым источником серьезной опасности для нормального жизнеобеспечения и экологической безопасности городов и поселков. Полученный опыт и современные подходы к реконструкции очистных сооружений сточных вод и шламов, доказывают свою эффективность даже при применении в ограниченных условиях, таких как границы площади, лимиты инвестиций [1].

Анализ и исследование подходов к очистке сточных вод, демонстрирует, то, что наиболее популярной стратегией в сфере строительства и реконструкции КОС является максимальное увеличение капитальных и эксплуатационных затрат. Модификация коммунального хозяйства никак не повлияла на его улучшение, кроме того, после передачи ответственности за большинство очистных сооружений муниципалитетам их эксплуатация, а также состояние существенно усугубились по ряду причин [2]:

- отсутствие квалифицированного персонала, способного выполнять эксплуатацию очистных сооружений;
- отсутствие соответствующих инвестиций для работы и улучшения качества очистных сооружений;
- отсутствие производственной базы для производства оборудования очистных сооружений;
- отсутствие четкой программы обновления систем очистки сточных вод.

Объектом исследования явились канализационно-очистные сооружения (КОС) г. Судака. Существующие КОС производительностью 5 тыс. м³/сут, расположенные в урочище Капсель в 2,5 км на северо-восток от города, построены по проекту Крымского филиала Гипроград (проект выполнен в 1970 г.).

В состав КОС входят 2 песколовки, 8 первичных двухрусных отстойников, 3 биофильтра, 2 вторичных отстойника (они же контактные резервуары), хлораторная, песковые и иловые площадки. Сброс очищенных сточных вод производится в Черное море в районе мыса Алчак-Кая на расстоянии 400 м от уреза воды по выпуску $d = 600$ мм.

В 1989 г. институтом Укрюжгипрокоммунстрой (г. Одесса) было проведено обследование КОС. По результатам обследования были сделаны выводы о неэффективности работы КОС (БПК₅ на выходе колеблется от 26,2 до 72 мг/л, взвешенные вещества - от 22 мг/л до 98 мг/л - средние значения по данным лаборатории ППВКХ). Морская вода в приурезовой зоне пляжа Алчак имеет БПК₅ = 8,6 мг/л. Очистные сооружения были признаны подлежащими сносу.

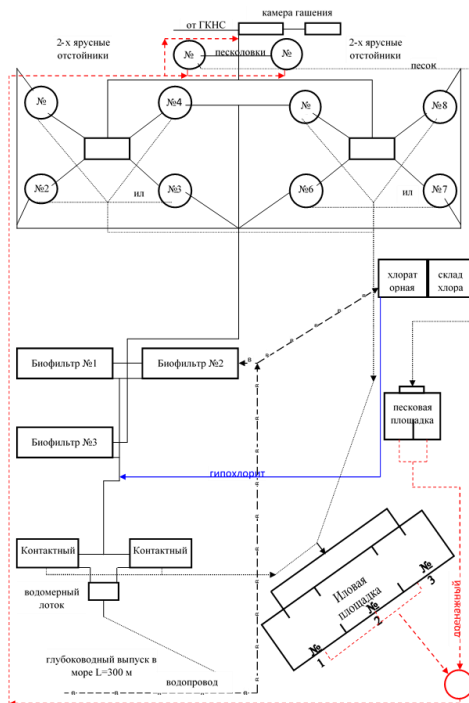


Рис. 1. Технологическая схема очистки сточных вод КОС г. Судак

В 1998 г. датским агенством по охране окружающей среды COWI было также выполнено обследование КОС. На момент обследования БПК₅ составила 24 мг/л. Состояние КОС признано "очень плохим", причем эта оценка распространяется на 100% сооружений. Вывод COWI: КОС морально и физически устарели и необходимо строительство новых КОС.

Так как Судак является курортным городом Крыма, на КОС в летний период поступает около 10000 м³/сут стоков это превышает проектную производительность сооружений в 2 раза (по проекту 5000 м³/сут). Увеличение расхода стоков не только сокращает продолжительность биологической очистки, но и увеличивает нагрузку на сооружения, а именно:

в двухъярусных отстойниках в летний период при увеличении количества поступающих сточных вод, увеличивается скорость движения, сокращается время отстаивания стоков, что повышает концентрацию взвешенных веществ, поступающих на биофильтры. А это увеличивает нагрузку по органическим загрязнениям;

перегрузка биофильтров приводит к увеличению гидравлической нагрузки и окислительной мощности. Это приводит к заиливанию биофильтров. Возрастает нагрузка на биопленку, происходит процесс ее отмирания, увеличивается зольность ила.

Можно сделать вывод, что без реконструкции технологической схемы невозможно добиться качества очистки, удовлетворяющего требованиям ПДК. Необходимо провести интенсификацию работы очистных сооружений и изменение схемы очистки.

Для увеличения производительности до 10000 м³/сутки и достижения нормативов на сброс (ПДК) предлагаются следующие мероприятия:

- изменения в схеме биологической очистки;
- повышение эффективности работы очистных сооружений биологической очистки за счет замены изношенного и морально устаревшего оборудования.

Для доведения производительности до 10000 м³/с необходимо провести изменения в технологической схеме работы очистных сооружений следующим путем:

- перевод двухъярусных первичных отстойников в вертикальные;
- переоборудование 2-х биофильтров в контактно-стабилизационные аэротенки с пневматической аэрацией;
- использование в схеме 2-х вторичных отстойников;
- изменение режима работы станции перекачки ила.

Для повышения производительности КОС предлагается нижеследующая схема (рис.2).

После осаждения сырого осадка в первичных отстойниках осветленная вода через распределительную камеру поступает на биологическую очистку в контактно-стабилизационный аэротенк с пневматической аэрацией, переделанный из 2-х блоков биофильтров. Биохимическое окисление растворенных органических соединений происходит с помощью активного ила. Подача воздуха в аэротенк производится из воздуходувной станции и распределяется с помощью аэрационной системы из аэраторов АПКВ-120.

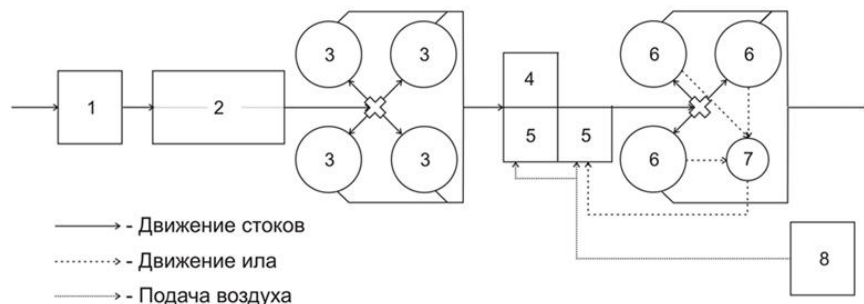


Рис. 2. Технологическая схема движения стоков после реконструкции КОС г.

Судака: 1 – здание решеток, 2 – песколовки, 3 – первичные отстойники, 4 – биофильтр, 5 – аэротенки, 6 – вторичные отстойники, 7 – насосная станция, 8 – воздуходувная станция

Оставшийся блок биофильтра с гравийной загрузкой, в котором происходит биохимическое окисление растворенных органических

соединений с помощью прикрепленной биопенки остаётся как резерв для пиковых или непредвиденных нагрузок.

Схема модернизации трехсекционного высоконагружаемого биофильтра в аэротенк и расположение аэраторов в аэротенках показаны на (рис.3).

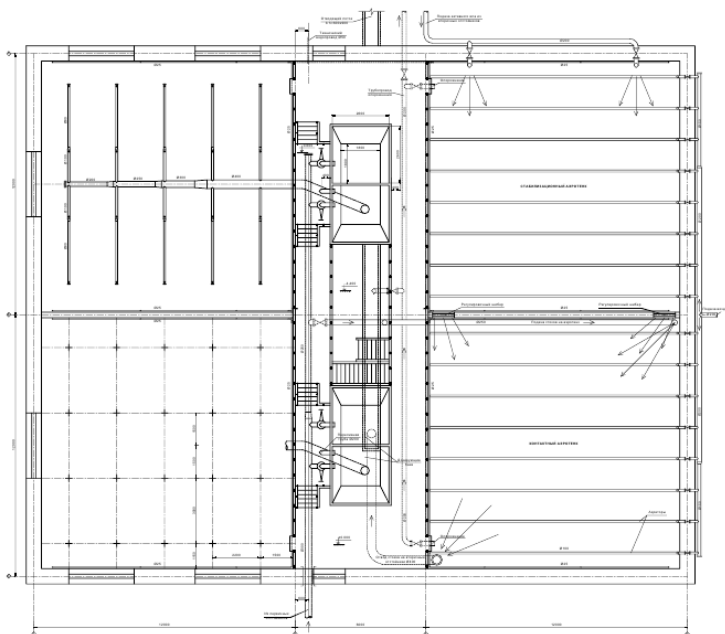


Рис. 3. Схема модернизации трехсекционного высоконагружаемого биофильтра в аэротенк

Моделирование канализационных очистных сооружений г. Судака с помощью GPS-X

Согласно действующего СП (п. 9.2.7.7. и п. 9.2.7.10) рекомендуется использовать при оптимизации работы очистных сооружений метод математического (или имитационного) моделирования [3].

Для определения условий, при которых схема очистки может быть работоспособной, был применен метод математического моделирования в программном комплексе GPS-X.

Программное обеспечение GPS-X канадской фирмы Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc - программный комплекс, применяемый для математического моделирования технологического процесса очистки сточных вод. GPS-X состоит из комплекса математических динамических моделей, позволяющих описывать все основные процессы, применяемые в очистке сточных вод, в том числе процессы удаления азота и фосфора [4].

Моделирование с помощью GPS X было выполнено для биологической очистки (рис.4). Результаты были рассчитаны на основе детальной выборки, после чего модели GPS-X были разработаны и откалиброваны. Эта калибровка включала подробный обзор и анализ данных, и разработку входящих параметров для модели. После успешной калибровки следующей задачей стала валидация. Валидацию модели можно определить, как соответствие прогнозов модели по сравнению с другим набором данных, которые не участвовали в разработке модели в приемлемых пределах. Валидация была достигнута путем рассмотрения 2, 3 и 4 месяцев дискретного среднемесячного качества сточных вод, из которых результаты моделирования калиброванной модели сравнивались с фактическими.

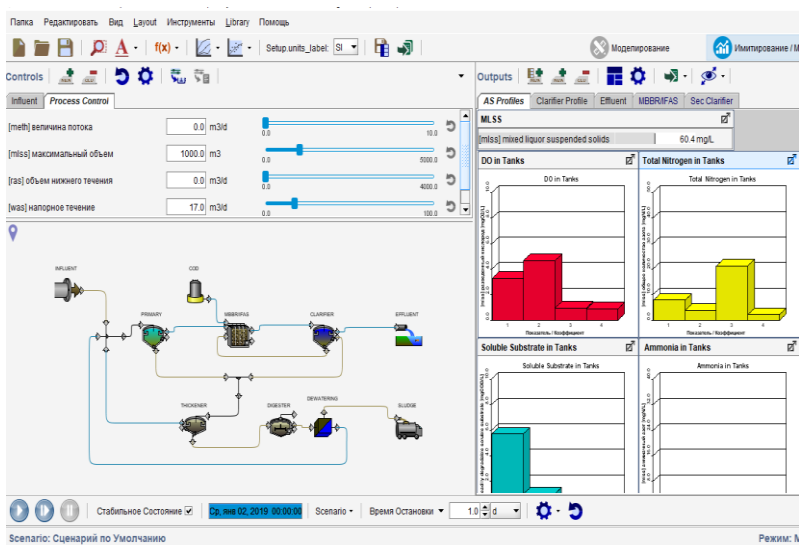


Рис. 4. Имитационная модель канализационных очистных сооружений г. Судака в программе GPS-X

В ходе анализа существующей технологической схемы очистки с помощью модели GPS-X были определены некоторые критические параметры, влияющие на работу очистных сооружений. Биологическая очистка используется технологически неэффективно и может использоваться как резервный объем для дальнейшей реконструкции сооружений, а именно для реализации процесса нитри-денитрификации. Примерные результаты моделирования в GPS-X на первом этапе эксперимента представлены на рис 5, 6.

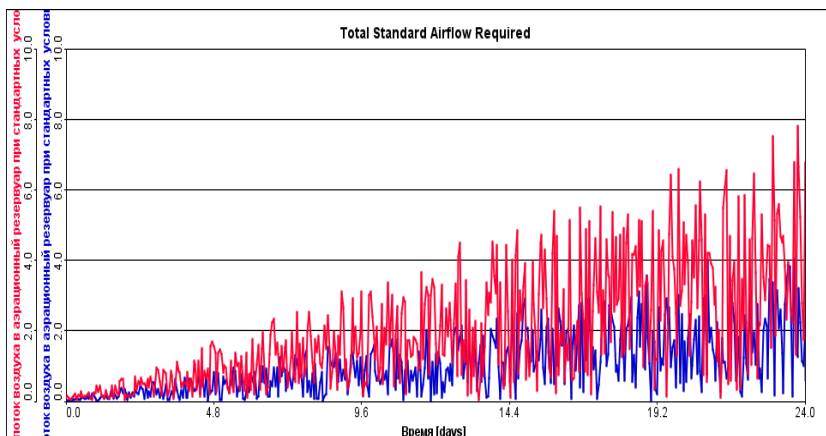


Рис. 5. Результаты имитационного моделирования (расход воздуха)

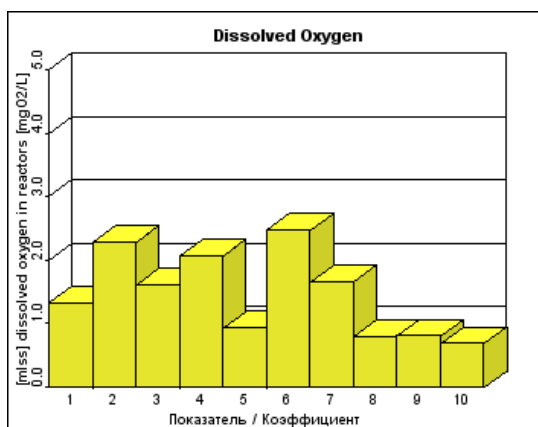


Рис. 6. Концентрация растворенного кислорода по длине аэротенка

Согласно моделированию в ходе первой части эксперимента, адаптация активного ила и стабилизация технологических параметров была достигнута после 20 циклов (10 дней) работы (рис. 7).

Второй этап начался после начального адаптационного периода. Для определения эффективности процесса были проанализированы такие ключевые параметры, как общая ХПК, БПК₅.

Программа GPS-X позволила проводить различные сценарии работы КОС и оценивать адаптационный период с циклом запланированных последовательных фаз, где применялись различные условия аэрации/смешивания. Моделирование, где трудно добиться установившегося режима работы, требует точной постановки начальных условий. Это существенно повлияет на результаты.

		inflin e	mlssfine(1)	mlssfine(2)	mlssfine(3)	mlssfine(4)	mlssfin e
MLSS	mg/L	969.6	51220	48700	9947	24890	10440
MLVSS	mg/L	2756	3772	25460	15700	2005	21680
Soluble COD	mg/L	2590	381.1	107.9	206.4	204.2	187.5
Ammonia N	mgN/L	436.4	2.778	4.297	2.843	2.86	1.298
Nitrite N	mgN/L	0.0	1.513	3.963	3.36	0.7574	0.1403
Nitrate N	mgN/L	0.0	140.9	31.04	172.6	251.0	61.51
Soluble PO4-P	mgP/L	21.97	23.15	143.7	79.54	146.9	41.7
TP	mgP/L	16.09	994.5	172.9	680.9	939.2	935.0
Total Alkalinity	mgCaCO3/ L	349.1	129.2	1843	936.6	344.7	172.3
водородный показатель рН	-	119.6	66.28	32.53	3.447	33.13	53.39
Время Удержание Жидкой Фазы (ВУЖФ) в Процессе	h	-	16.82	9.113	18.78	46.04	-
DO	mgO2/L	-	20.65	45.18	10.84	35.28	-
Total OUR	mgO2/(L.h)	-	289.6	588.1	340.2	105.7	-
Nitrification Rate	mgN/(L.h)	-	30.07	17.15	31.35	1.449	-
Nitrate Util. Rate	mgN/(L.h)	-	21.03	8.796	12.86	9.598	-
Actual OTR	kg/h	-	69990	6517	11790	15880	-

Рис. 7. Параметры модели биологической очистки КОС г.Судак

В целом, итоги моделирования, демонстрируют соответствие качества очистки сточных вод нормативным требованиям, и предложенная схема реконструкции может быть рекомендована для реализации в существующих условиях (табл. 1).

Таблица 1. Результаты моделирования

Показатель	Единицы измерения	Существующее значение	Значение после реконструкции	Эффект очистки, %
БПК ₅	г/м ³	23,3 – 33,5	3,5	85-90
Взвешенные вещества	г/м ³	22,4 – 29,8	10,0	55-66
N-NH ₄	гN/м ³	0,64 – 2,39	0,59	8-75
N-NO ₃ , N-NO ₂	гN/м ³	7,22 – 18,08	6,55	10-64
PO ₄	гP/м ³	2,41 – 4,89	0,89	63-82

Заключение

Результаты имитационного моделирования работы КОС г. Судак по предлагаемой технологии при существующем среднем расходе позволило получить качество очищенной воды, которое соответствует установленным нормативным требованиям. Данная методика позволяет обеспечить

повышенную достоверность результатов для нестационарно-динамических условий расчета очистных сооружений сточных вод.

Из таблицы 1, видно, что без усложнения технологической схемы невозможно добиться качества очистки, удовлетворяющего требованиям ПДК. Необходимо провести интенсификацию работы очистных сооружений и изменение схемы очистки.

По результатам исследования были даны рекомендации по реконструкции КОС г. Судак.

Библиографический список

1. Саломеев В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения (монография). АСВ, М. 2009 г.

2. Гогина Е.С., Саломеев В.П., Ружицкая О.А., Побегайло Ю.П., Макиша Н.А. Методологический подход к решению вопросов реконструкции очистных сооружений. М. Водоснабжение и санитарная техника, № 6, 2013 г.

3. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения/ Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 декабря 2018 г. N 860/пр и введен в действие с 26 июня 2019 г. – М.: Минстрой России, 2019. – 76 с.

4. [Электронный ресурс]// режим доступа: www.hydrumantis.com

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТАНЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ КОС-400 СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАК БАЗОВОЙ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ РЕЖИМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Морозов С.А., аспирант, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Научный руководитель – д.т.н., проф. Серпокрылов Н.С., профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Проведены исследования работы биологических очистных сооружений КОС-400 как одной из базовых станций для внедрения системы дистанционного управления режимом очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, расположенной в Туруханском районе на северо-западе Красноярского края на производственном объекте по добыче и подготовке нефти и газа. Определены точки и периодичность контроля на этапах очистки сточных вод.

Ключевые слова: биологические очистные сооружения, северные территории России, очистка сточных вод, дистанционное управление, дистанционная передача данных.

На объекте исследования имеются две станции биологической очистки, на которые поступают хозяйственно-бытовые сточные воды от жилых

комплексов блочно - модульного исполнения на 700 и 850 человек и производственных объектов, на которых имеются раковины, душевые, унитазы, прачечные, столовые. Перераспределение объемов сточных вод между станциями осуществляется по объединяющему коллектору Ø 159х6 мм. Холодное водоснабжение предусмотрено из поверхностного источника воды (река) с предварительной очисткой на станциях водоочистки до нормативов качества питьевой воды в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21. Потребители оснащены системой хозяйственно-питьевого водоснабжения, нагрев воды для системы ГВС осуществляется в теплообменниках тепловых пунктов от теплоносителя.

Хозяйственно-бытовые сточные воды от потребителей двух жилых комплексов по самотечной канализации Ø 159х6 мм, общей протяженностью 680 м поступают на двадцать одну КНС с приемными емкостями объемом от 5 до 10 м³ и производительностью погружных насосов до 90 м³/час. КНС удалены от потребителей воды на расстояния от 20 до 80м, от КНС сточные воды по напорному трубопроводу Ø 89х6 мм общей протяженностью 930м поступают в общий коллектор протяженностью 280м и далее на станции КОС-400 и КОС-300, производительностью до 400 м³/сут. и 300 м³/сут. соответственно. На период исследований подача сточных вод на станцию КОС-400 составляла, в среднем, 180-200 м³/сут., на станцию КОС-300 130-150 м³/сут. Пиковые расходы в утреннее время с 5.00 до 9.00 и вечернее с 17.00 до 21.00, в ночное время с 2.00 до 5.00 расход снижается до нуля. Имеющихся объемов усреднительных емкостей 100м³ на КОС-300 и 90 м³ на КОС-400 достаточно для обеспечения заданного режима работы и обеспечения равномерного распределения гидравлической нагрузки и концентрации загрязняющих веществ. Температурный режим поступающих сточных вод колеблется в пределах 17-27° С, где 17° - нижнее значение зимой, а 27° - летний максимум.

В основе принципа работы очистных сооружений КОС-400 лежит классическая схема биологической очистки с последующим отделением очищенной воды (пермеата) на напорных аппаратах ультрафильтрационных АУФ мембранного исполнения, иловая смесь (концентрат) поступает в денитрификатор, функцию вторичного отстойника выполняют АУФ. Дополнительно предусмотрена линия возврата иловой смеси из биореактора нитрификатора (БРН) в биореактор денитрификаторе (БРД), которая может вводиться в работу в зависимости от условий эксплуатации и качества поступающих сточных вод. Со станции очищенные сточные воды поступают в объединенный коллектор Ø 325 мм протяженностью 3км и сбрасываются в поверхностные воды рыбохозяйственного значения. Приемные емкости КНС, самотечная и напорная канализация, коллектора оснащены греющими кабелями. В данном исследовании рассматриваются биологические очистные сооружения КОС-400.

Целью исследования является сбор информации и обоснование разработки методологии удаленного управления режимами очистки

сточных вод до нормативных требований в ряде смежных очистных сооружений.

В технологическую схему включены следующие блоки и основное оборудование. Блок предварительной механической очистки и усреднения расхода:

- фильтр щеточный, 2шт.,
- аэраторы мелкопузырчатые, 60 шт.,
- резервуар – усреднитель РУ, 90 м³, 1шт.,
- датчики уровня- 4шт., аварийные верхний и нижний, рабочий верхний- прекращение фильтрования при 70%, рабочий нижний- включение режима фильтрования при 25%,

- мешалка наружного исполнения, редукторная, 4шт.,
- насос погружной, Q=20м³/час, 4 шт.,
- скиммер, 2шт.,
- жируловитель.

Блок биореакторов

Биореактор- денитрификаторе (БРД1) , 110м³:

- мешалка погружная, 2 шт.,
- насос погружной для отвода ила в илоуплотнитель, Q=20м³/час, 1 шт.,
- насос подающий, Q=20м³/час, 2 шт..

Биореактор аэробный (БРА) (на момент исследований выполнял функцию БРД2, 110 м³:

- компрессор роторно - лопастной Q=129 м³/ч, 2 шт., не эксплуатировались на момент работы,
- аэраторы мелкопузырчатые, не эксплуатировались на момент работы,
- насос гашения пены в БРН, Q=20 м³/час, 2 шт.,
- мешалка погружная, 2 шт..

Биореактор нитрификатора (БРН) , 110 м³:

- компрессор роторно - лопастной, Q= 174 м³/ч, 2 шт.,
- мешалка погружная, 1 шт.,
- аэраторы мелкопузырчатые,
- насос погружной рециркуляции иловой смеси, Q=20м³/час, 1 шт.,

Блок аппаратов ультрафильтрационных АУФ (2 шт.), мембранные фильтры на основе гидрофильных трубчатых мембран ПВДФ на подложке из полиэфирного/полиолефинового волокна (X-Flow Compact 27G):

- насос подачи ила, производительностью до 110 м³/час, 1шт.,
- насос циркуляционный, Q=до 270 м³/час, 2 шт.,
- резервуар чистой воды 4,5 м³, 2шт,
- комплект автоматических дисковых затворов.

Блок химической промывки:

- емкость растворная (промывной воды), 4,5м³ – 1 шт.,
- насос химический (промывной воды) – 1 шт. Q=150 м³/час.

Блок дозирования химических реагентов:

- станция дозирования коагулянта в блок биореакторов - 2шт., в т.ч. насос-дозатор, $Q=54\text{л/час}$ - 2шт., емкость растворная, 1м^3 - 2шт., мешалка - 2шт.,

- станция дозирования коагулянта в блок напорных фильтров - 1шт., в т.ч. насос-дозатор, $Q=54\text{л/час}$ - 1шт., емкость растворная, $0,2\text{ м}^3$ - 1шт., мешалка - 1шт.,

- станция дозирования кальцинированной соды в блок биореакторов - 1шт., в т.ч. насос-дозатор, $Q=54\text{л/час}$ - 1шт., емкость растворная, $0,2\text{ м}^3$ - 1шт., мешалка - 1шт.,

Блок напорных фильтров и обеззараживания очищенной воды:

- насос подачи очищенной воды на напорные фильтры $Q=20\text{ м}^3/\text{час}$,

- фильтр напорный, 8шт., 2 ступени очистки,

- установка ультрафиолетового обеззараживания, $Q=20\text{ м}^3/\text{час}$, 2шт.

Блок обезвоживания осадка:

- илоуплотнитель, 10м^3 , 1 шт.,

- обезвоживатель шнековый 1-2,5 $\text{м}^3/\text{час}$,

- насос подачи осадка на обезвоживание, 2 шт..



Рис. 1. Принципиальная схема технологического процесса очистки хозяйственно-бытовых сточных вод

Сточные воды (СВ) изначально поступают на механическую очистку на щеточный фильтр для удаления крупного мусора и волокон, мусор щетками сбрасывается в мешки, расположенные в специальных отсеках под фильтрами. Далее СВ поступают в резервуар - усреднитель, в котором осуществляется перемешивание при помощи лопастных мешало. Затем погружными насосами сточные воды подаются в биореактор - денитрификатор (БРД1, БРД2), где в анаэробных условиях происходит их перемешивание с возвратным илом из биореактора - нитрификатора (БРН) при помощи погружных мешалок, после чего иловая смесь поступает в БРН, где посредством мелкопузырчатых аэраторов создаются необходимые аэробные условия. В режиме «Фильтрование» из БРН иловая смесь подается на фильтрование в один из АУФ находящийся в работе, откуда возвратный ил поступает в БРД1, а очищенная вода в РЧВ и далее центробежными насосами через установку ультрафиолетового обеззараживания в КНС очищенных сточных вод, откуда очищенные сточные воды по объединенному коллектору сбрасываются в водоем рыбохозяйственного

значения. В режиме «Циркуляция» из БРН иловая смесь подается в БРД1, затем в БРД2 и БРН.

При нормативном качестве очистки сточных вод напорные фильтры доочистки не используются.

Регулировка расхода очищенной воды и объема возвратного ила осуществляется с компьютера оператора посредством изменения настроек частотного регулятора насоса подачи иловой смеси на АУФ и регулирующего поворотного затвора.

Раствор кальцинированной соды Na_2CO_3 и коагулянта «Аква-Аурат 30» дозирующими насосами подаются в блок биореакторов.

Контроль концентрации кислорода в БРН осуществляется прибором SECO Control 500 и поддерживается на уровне не менее 2 мг/л. Температура, pH очищенной сточной воды после АУФ на линии подачи в РЧВ фиксируются в измерительной ячейке прибором SECO Control 40, концентрация кислорода- прибором SECO Control 500 и вся информация выводится на компьютер управления оператора [1,2].

Уровень активного ила в БРН поддерживается в пределах 4,5-5 г/дм³, масса определяется в лабораторных условиях. Избыточный ил отводится в илоуплотнитель, после чего подается на обезвоживание с последующим возвратом фугата в начало цикла очистки.

Характеристики технологических параметров за сутки проведения исследований с 08.00 13.03.2021 до 08.00 14.03.2021: температура окружающего воздуха в течение суток от -20°С днем, до -28°С ночью. Расход сточных вод – 194 м³/сут.

Режим фильтрация: 9.00 - 15.00 час., включение режима по верхнему уровню в резервуаре – усреднителе УР при 70%, подача сточных вод в БРД1, работа АУФ1 - расход очищенной воды $Q=16\text{ м}^3/\text{час}$, расход возвратного ила от АУФ в БРД1 $Q=62\text{ м}^3/\text{час}$.

Режим циркуляции: 15.00 – 20.00 час., остановка режима фильтрация по нижнему уровню в РУ 25%, работа АУФ1 в режиме циркуляции воды через емкость промывной воды, фильтрация иловой смеси из БРН не осуществляется, расход возвратного ила из БРН в БРД1 $Q=44\text{ м}^3/\text{час}$.

Режим фильтрация: 20.00 – 03.00 час, включение режима по верхнему уровню в резервуаре – усреднителе УР при 70%, подача сточных вод в БРД1, работа АУФ2 - расход очищенной воды $Q=16,5\text{ м}^3/\text{час}$, расход возвратного ила от АУФ2 в БРД1 $Q=64\text{ м}^3/\text{час}$ (табл.1).

Таблица 1. Показатели качества сточных вод по результатам лабораторных исследований на 13.03.2021 [3]:

Показатели	Единицы измерения	Вход	Выход
pH	ед. pH	7,8	6,8
Взвешенные вещества	мг/л	239	4
Аммоний-ион	мг/л	43,5	0,15

Нитраты	мг/л	0,72	3,6
Нитриты	мг/л	0,14	0,06
Фосфаты	мг/л	17,6	0,12

Гидрохимические показатели активного ила в БРН: масса ила в БРН – 4,9 г/л, объем ила, через 30 минут отстаивания – 970мл, иловый индекс – 198 мл/г.

Указанные значения характерны для мембранной технологии разделения возвратного ила и очищенной воды [4] .

Выполнен суточный мониторинг (исследования) работы очистных сооружений КОС-400 по показателям: температура водородный показатель (рН), минерализация (TDS), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), Т (°С). Точки отбора проб: поступающие неочищенные сточные воды (вход), РУ, БРД1, БРД2, БРН, очищенные сточные воды (выход) (табл. 2).

Таблица 2. Данные суточного мониторинга качества сточных вод

Точка отбора пробы	Показатели	Ед. изм.	ПДК	Время отбора проб/режим работы (13.03-14.03.2021)			
				9:00 режим фильтрования	15:00 режим циркуляции	21:00 режим фильтрования	07:00 режим циркуляции
Вход	рН	ед. рН	6,5-8,5	7,84	7,96	8,15	7,78
	Минерализация	мг/л		370	203	429	290
	ОВП	мВ		-120	-156	-250	-97
	Температура	град. С	12-28	19	20	22	18
РУ	рН	ед. рН	6,5-8,5	8,1	7,59	7,77	7,64
	Минерализация	мг/л		373	293	329	310
	ОВП	мВ		-123	-105	-158	-94
	Температура	град. С	12-28	16	17	21	18
БРД1	рН	ед. рН	6,5-8,5	6,83	6,97	7,01	7,04
	Минерализация	мг/л		221	228	233	248
	ОВП	мВ		13	14	57	26

Точка отбора пробы	Показатели	Ед. изм.	ПДК	Время отбора проб/режим работы (13.03-14.03.2021)			
				9:00 режим фильтрования	15:00 режим циркуляции	21:00 режим фильтрования	07:00 режим циркуляции
	Температура	град. С	12-28	20	19	20	20
БРД2	рН	ед. рН	6,5-8,5	6,77	6,92	6,96	6,84
	Минерализация	мг/л		223	228	233	231
	ОВП	мВ		24	39	48	35
	Температура	град. С	12-28	19	19	20	19
БРН	рН	ед. рН	6,5-8,5	6,75	6,69	6,82	6,80
	Минерализация	мг/л		224	211	212	215
	ОВП	мВ		136	139	133	128
	Температура	град. С	12-28	19	20	19	20
Выход	рН	ед. рН	6,5-8,5	6,78	-	6,84	-
	Минерализация	мг/л	1000	164	-	212	-
	ОВП	мВ	-	152	-	178	-
	Температура	град. С	12-28	19	-	20	-

Выводы

рН- происходит закономерное уменьшение величины на этапах очистки от денитрификации до нитрификации с учетом подачи реагентов в блок биореакторов, для поддержания уровня рН дозируется раствор кальцинированной соды в блок биореакторов (БРН).

Минерализация – закономерное уменьшение в соответствии с этапами очистки.

ОВП - увеличение в сторону положительного значения, в соответствии с этапами очистки.

Температура- требуемый температурный режим обеспечивается, наблюдается периодическое понижение температуры в РУ, по всей видимости, из-за того что резервуар установлен в дополнительном помещении и стенки емкости расположены вдоль уличных стен здания.

Подтверждены точки для постоянного мониторинга: поступающие сточные воды, резервуар – усреднитель, биореактор – денитрификатор БРД1, биореактор – денитрификатор БРД2, биореактор – нитрификатор БРН, очищенная сточная вода, для измерения и дистанционной передачи данных на центральный компьютер оператора и инженера – технолога.

Применяемые в эксперименте приборы измерения – портативные измерители рН, TDS (T°C), ОВП, откалиброванные в соответствии с требованиями НД.

Контроль процессов, происходящих на очистных сооружениях, основан на измерениях в сточных водах содержания растворенного кислорода, но этот метод пригоден только для характеристики аэробного процесса. Чтобы установить удовлетворительна или нет стадия анаэробного состояния активного ила, необходимо измерение окислительно-восстановительного потенциала, а данные о содержании растворенного кислорода в иловой смеси в этом случае малозначимы.

В соответствии с вышеизложенными данными перспективный режим удаленного управления может соответствовать схеме (рис.2).

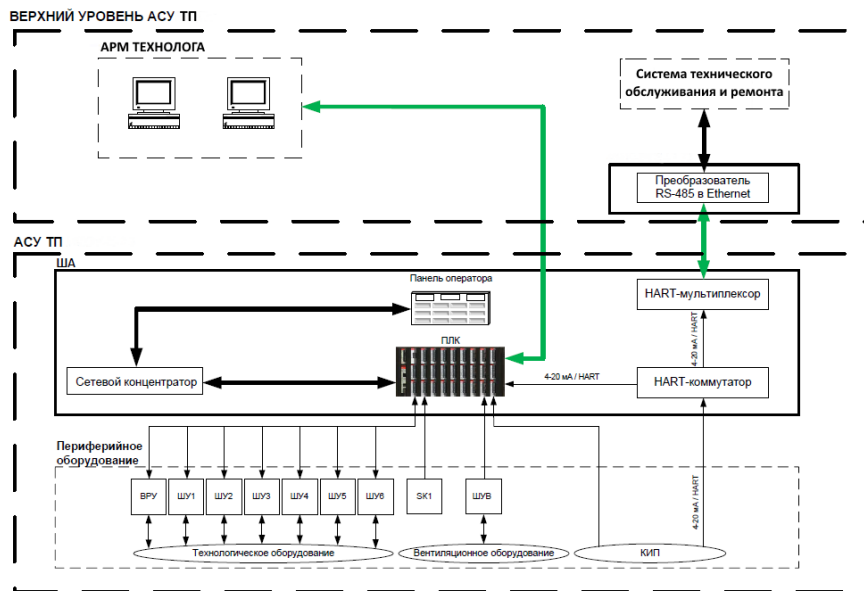


Рис. 2. Схема удаленного управления:

Физический канал; RS 485 (медь, витая пара), протокол – Modbus RTU; ETHERNET 10 BASE TX; ША – шкаф автоматики; ШУ - шкаф управления технологическим оборудованием; ШУВ - шкаф управления вентиляционным оборудованием; ВРУ - вводное распределительное устройство; ПЛК - программируемый логический контроллер; КИП - контрольно-измерительные приборы

Система технического обслуживания и ремонта, относится к верхнему уровню

SK1 - соединительная коробка для подключения сигнального кабеля оборудованию пожарной сигнализации.

Элементы оборудования могут иметь в своем составе основные элементы:

Шкаф автоматизации оснащён следующим оборудованием:

1. Контроллер SIMATIC S7-1200 CPU1214C;
2. Коммуникационный модуль SIMATIC S7-1200 CM1241;
3. Интерфейсный модуль IM 155-6 PN ST, 2xRJ45;

Действующие сооружения не подключены к системе верхнего уровня АСУ ТП, дистанционная передача данных и внешнее управление через автоматизированное рабочее место (АРМ) технолога не предусмотрено.

Реализация управления станции КОС-400 возможна при дооснащении шкафа автоматики следующим оборудованием:

1. Ethernet концентратор,
2. Плата подключения HART,
3. HART- мультиплексор и др.

На основании выполненных исследований имеются все основания для установки автоматизированного оборудования получения и передачи данных на центральный компьютер инженера-технолога – на первом этапе, на втором этапе – установка и подключение к дистанционному управлению оборудования управления режимом очистки.

Библиографический список

1. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А., Теоретические основы управления процессами очистки сточных вод, СПб. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2009. – 174с.

2. Рутьков А.А., Евстафьев К.Ю., Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: Учебник. – М.:ИНФРА-М, 2007. – 205с.

3. Тронь И.А. , Внедрение цифровых технологий на предприятии АО «Ростовводоканал», Журнал НДТ, декабрь 2020.

4. Online Monitoring of a Sequencing Batch Reactor Treating Domestic Wastewater, Creative Construction Conference 2017, Ali Waheid Alattabi, Clare Harris, Rafid Alkhaddara, Ali Alzeyadi and Muhammad Abdulredha.

5. СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. п. 10.3. «АСУТП и диспетчеризация»

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НЕКОНТРОЛИРУЕМЫМИ ВЫБРОСАМИ ГАЗОВ ИЗ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

Прокофьева П.С., НИУ МГСУ

Научный руководитель – к.т.н., доц. Чижик К.И., доцент НИУ МГСУ

Борьба с процессами газовой выделения, являющимися причиной разрушения канализационной сети и попадания агрессивных канализационных газов на поверхность, на сегодняшний день достаточно распространена в зарубежных странах [1]. Данная проблема наиболее заметно выражена в больших и глубоких коллекторах, проявляясь не только в процессах коррозии, но и периодических выбросах больших объёмов загрязнённого воздуха посреди городской застройки, сложностью проведения осмотров и взрывоопасности.

Методы активной защиты канализационных коллекторов направлены на уменьшение количества выделяющегося из сточных вод сероводорода на различных стадиях протекания химических реакций. Они также делятся на несколько категорий в зависимости от типа и места воздействия (рис.1):

- подавление активности сульфаторедущих бактерий и сопротивление переходу сероводорода в сточные воды;
- снижение выделения сероводорода из сточных вод;
- организация воздушного режима и вентиляции коллектора.



Рис. 1. Классификация методов активной защиты канализационных коллекторов от агрессивных газов

Одним из методов, используемых для уменьшения количества производимых бактериями сероводорода и метана, является метод предотвращения сульфатного дыхания с помощью добавления в сточные воды коллектора различных окислителей - такие как нитриты, нитраты и кислород. Наиболее сильный эффект из них, согласно исследованию [2], производит добавление нитрита (NO₂⁻). Эффективность очистки оценивалась по численности различных классов бактерий и снижению выбросов H₂S и CH₄ в сточных водах экспериментальной лабораторной канализационной установки. Результаты показали, что количество H₂S было снижено во время добавления нитрита из-за окисления H₂S, но увеличивалось сразу после прекращения добавления нитрита. Что, вероятно, было связано с бактериальным восстановлением различных видов серы,

накопленных в матрице канализационной биопленки. Также отмечалось снижение количества CH_4 , но, в отличие от сульфидных процессов, после прекращения дозирования нитрита восстановление выделения метана происходило не сразу. Недостаток – высокая стоимость.

В работе [3] описывается использование методики применения дозирования щелочи (NaOH или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) для повышения pH сточных вод выше 10,0 на короткие периоды времени (часы) для контроля образования соединений сульфидов на действующей канализации. Эффективность этой стратегии при различных уровнях pH (10,5–12,5) и времени воздействия (0,5–6,0 ч) оценивалась в лабораторных анаэробных канализационных реакторах, а затем в реальной канализационной системе. Лабораторные исследования показали, что скорость образования сульфидов биопленкой лабораторных условиях снизилась на 70–90% после снижения pH до предшествующих значений, а скорость образование метана снизилось на 95–100%. Потребовалось около одной недели для восстановления активности сульфатредуцирующих бактерий до нормального уровня, а метаногенная активность восстановилась только до 10% за 4 недели. Доза щелочи при этом составляла до 520 г/м^3 [1]. Лабораторные исследования также определили «экономически эффективное» значение $\text{pH}=10,5$ и время воздействия 1-2 часа. Однако испытания в условиях реальной канализационной сети показали более высокое требуемое значение $\text{pH}=11,5$ и большее время дозирования из-за снижения pH из-за разбавления. Недостаток метода – стоимость.

Значительный эффект может иметь использование ингибиторов с биоцидной активностью путём добавления в сточную воду биоцидов (фенола, резорцина, пирогаллола) и подселения бактериофагов (эта технология мало развита) [4]. Помимо высокой стоимости основной недостаток данного метода – фаги могут уничтожать ещё и активный ил на очистных сооружениях.

Снижение содержания в сточных водах органических веществ также положительно влияет на снижение деятельности сульфаторедуцирующих бактерий. Однако это означает предварительную очистку на специальных сооружениях, что редко целесообразно [1].

Одним из способов является снижение температуры сточных вод до 5-10 °C путем сброса в неё снежных масс на ССП в зимнее время. Недостаток – невозможность применения в малоснежное время года, а также ухудшение процессов последующей биологической очистки.

Окисление образовавшегося в сточных водах сероводорода методом добавления химических реагентов (H_2O_2 , Cl_2 , NaClO , KMnO_4 , CaO_2 , MgO_2 и т.п.). Недостаток – высокая стоимость [4].

Осаждение образовавшегося в сточных водах сероводорода методом добавления солей железа (FeCl_3 , FeCl_2 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Недостаток – высокая стоимость. Также в сточные воды попадают вероятно нежелательные анионы [4].

Одними местами выделения агрессивных газов из сточных вод являются:

- перепадные устройства,
- зоны, расположенные после участков с анаэробными условиями движения жидкости (камеры гашения напора, затяжные дюкера),
- участки с увеличенной турбулентностью потока (перепады различных конструкций, узлы подключений),
- заиленные участки коллекторов и шахт на них, (участки с малым и контруклоном, участки увеличенного диаметра труб, дюкера с наличием в них застойных зон),
- притоки с низким рН, высокой температурой воды и высоким содержанием сульфатов и сульфидов [5].

В условиях напорных трубопроводов при снижении концентрации свободного кислорода в сточных водах менее 0,1 мг/л, процессы анаэробного разложения органических веществ начинают происходить с извлечением кислорода из соединений, образующих при распадении органические спирты, кислоты, сероводород, метан и углекислый газ. В отсутствии в сточных водах растворенного кислорода процесс перехода сульфата в сульфиды интенсифицируется [5]. Таким образом, напорные трубопроводы способствуют активному газовыделению на нижележащих участках сети. Объем газов и их скорость выделения из камер гашения напора зависит от турбулентности потока и площади соприкосновения поверхности воды с воздушной средой, что определяется конструктивным решением камеры. Положительный эффект в решении проблемы может дать естественная эжекция кислорода воздуха при модификации конструкции камер гашения напора и перепадных колодцев [1]. В другом варианте, при использовании воздуходувной станции, главный недостаток – большие затраты на электроэнергию.

Перепадные устройства фактически являются локальными дегазаторами сточных вод и способствуют разрушению шахты, где устраивается перепад, а также коллектора за перепадом. Поэтому при проектировании наиболее предпочтительной является трубчатая конструкция перепада, где наблюдается наименьшее выделение газов. [6]

В трубчатых перепадах в стояке создается отрицательное избыточное давление. Время нахождения жидкости в стояке малое, потому количество выделившегося из нее газа невелико. В основном происходит захват воздуха, необходимого для удаления газов в водобойном колодце. Непосредственно под стояком водобойного колодца воздух, вырываясь из него в виде отдельных пузырей, вовлекается в гидравлический прыжок и распространяется по всему объему колодца. Объемный коэффициент эжекции, создаваемый перепадом, зависит от условий входа жидкости в стояк. Его величина не обеспечивает полное удаление вредных газов из сточных вод, но их концентрация в воде значительно понижается. Выделившиеся газы частично поступают в шахту, возвращаясь в стояк перепада, а частично «растаскиваются» по коллектору за перепадом. При

этом концентрация вредных газов в отводящем коллекторе значительно выше, чем в подводящем.

В многоступенчатом перепаде конструкция перепада исключает возможность подъема воздуха из нижнего бьефа в верхний, и практически весь воздух, транспортируемый с последней ступени, поступает в отводящий коллектор. Поэтому в отводящем коллекторе после многоступенчатого перепада следует ожидать большей концентрации вредных газов, чем после трубчатых перепадов. Аналогичные процессы десорбции газов характерны и для перепадов с водосливом практического профиля, где газовыделение наблюдается на всем пути движения сточных вод.

Таким образом, канализационные перепады, в которых происходит интенсивная десорбция газов, — это одни из главных источников газовыделения в коллекторах глубокого заложения. Перепады с затопленным водобойным колодцем оказывают минимальное негативное влияние на канализационную сеть. [5]

Также негативно на атмосферу коллектора влияют участки с изменяющейся скоростью и направлением течения, увеличивая этим турбулентность потока.

Обеспечение спокойного течения потока в коллекторах и сооружениях канализационной сети позволяет максимально долго удерживать сероводород в сточной воде. К сожалению, эта мера недостаточна сама по себе и не всегда возможна.

Не смотря на то, что нормы проектирования внутренней канализации чётко определяют требования к вентиляции канализационных стояков в зданиях, а система сбора городских сточных вод является фактическим продолжением внутридомовой, при проектировании наружных канализационных сетей часто пренебрегают перемещениями воздушного потока внутри них. Не смотря на их важную роль в борьбе с возникновением запахов и газовой коррозии.

Вопросами аэродинамического расчёта канализационных коллекторов, возможностью управления воздушным потоком, созданием методик и формул его расчёта в настоящее время активно занимаются специалисты из Санкт-Петербурга. В зарубежных же странах вопросам борьбы с агрессивными газами в канализационных коллекторах посвящено существенно большее количество работ.

Достоинством организации системы воздухообмена является то, что данным способом решается сразу серия задач: снижение скорости разрушения канализационной сети, прекращение несанкционированных выбросов агрессивных газов на дневную поверхность земли, снижение потенциальной опасности взрыва газа в подводящем и шахтном пространстве сети, улучшение условий обслуживания (осмотра) канализационной сети. [1]. Недостатком является то, что реализация данного метода возможна только локально, на коллекторах с наличием перепадов и установленных по аэродинамическому расчету вытяжных труб.

Воздухообмен в канализационной сети может осуществляться как естественным, так и принудительным способом.

При принудительном способе необходима установка вентиляторов. Процессы организации подобного воздухообмена описаны в работе Foster A. «Air Flow in Sewers» [7] г. Ванкувере (США) и в работе James Joyce [8] в г. Остин (штат Техас, США).

Естественный способ требует установки вытяжных труб, увеличивающих естественную тягу. Естественная тяга осуществляется за счет разности удельного веса в местах поступления и выхода воздуха, увлекающей способностью жидкости, локального повышения давления из-за наличия местных аэродинамических сопротивлений по длине коллектора, а также эжекции воздуха трубчатым перепадом, которая позволяет подавать в коллектор расход воздуха, в 2-4 раза превышающий расход жидкости [1].

Существуют закономерности, в каких случаях и места следует ожидать выбросов газа из неё на поверхность [9]. Расположение мест постоянного выбросов газа зависит от образования избыточного давления газа, что в свою очередь зависит от конструктивных и гидравлических факторов, таких как: наличие притоков сточных вод, уменьшение уклона или диаметра, перекрытие части коллектора, сдвиг коллектора по вертикали, изменение увлекающей способности жидкости – то есть тех, за которыми создаётся воздушная «пробка». Систематический, но не регулярный выброс газа происходит в местах, указанных факторами: высота верха шахты относительно сети, периодический подъем уровня на определенных участках коллектора, увеличение разницы температур воздуха в коллекторе и на поверхности. Единичные выбросы газа связаны с другими случайными факторами.

Из-за колебаний уровня сточной жидкости в коллекторе полностью прекратить выброс агрессивных газов на поверхность естественным путём очень сложно. Но это в значительной мере возможно путём перераспределения газов в другие места, устранения воздушных пробок, устройства различных трубопроводов-воздушников, корректировки гидравлических факторов [9]. С установкой фильтров очистки воздуха в тех местах, где выбросы предотвратить невозможно. Направить поток воздуха максимально через фильтр, установленный в венттрубе над перепадным колодцем, поможет организация затопленного выпуска из водобойного колодца и отделения подводящего коллектора от зоны перепадной шахты.

В проектировании глубоких канализационных коллекторов Санкт-Петербурга их специалистами был получен запатентованный опыт по реконструкции и новому строительству перепадных шахт со внесением в их конструкцию дополнительных конструктивных элементов, обеспечивающих эжекцию и организованное движение воздуха, сохранение внутри шахты безопасной атмосферы. Впервые с помощью компьютерного моделирования, глубоких теоретических и экспериментальных исследований ООО «Инженерные Экосистемы» была разработана методика

расчёта движения потока сточных вод с учетом происходящего при этом газовой выделении и движения воздуха в подводном пространстве коллектора.

В 2002 году ООО «Инженерные Экосистемы» по заказу ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» было [5] проведено обследование, сделан аэродинамический расчёт и произведена реконструкция сильно подвергающейся газовой коррозии канализационной шахты 350Б 1980 года постройки. Основными изменениями стали устройство эжектора на трубчатом перепаде, киоска для выпуска воздуха, перекрытия над водобойным колодцем с клапаном, стояка-воздушника, что соответствует конструкции перепада, представленном в патенте [10]. После проведения реконструкции концентрации вредных газов в шахте не превышали ПДК. [5]

Разработка конструкций перепадов, учитывающих движение воздуха, оптимизация гидравлического и аэродинамического режимов, позволила создать предсказуемую систему воздухообмена в тоннелях Продолжения Главного коллектора северной части Санкт-Петербурга (ПГКС, 1986 – 2014 годы строительства) общесплавной системы канализации. На основе полученных результатов были выполнены проекты реконструкции шахт и на других коллекторах. Моделирование производилось на базе программы ANSYS CFX. Для оптимизации создания расчетной геометрии коллекторов использовался Revit [11].

Также с помощью моделирования газовой и аэродинамической составляющей канализационной сети в ANSYS CFX было проведено моделирование работы нового типа стояка перепадной шахты – из эластичного материала [11]. Задача вновь касалась расчета эжектирующей способности стояка, но в этот раз была обратной: существовала проблема загазованности коллектора мелкого заложения, и этот насыщенный газами воздух затягивался из него через перепад в коллектор глубокого заложения, создавая агрессивную атмосферу и там. Требовалось создать такую конструкцию стояка, которая бы пропускала воду, но исключала эффект эжектирования воздуха в стояк и нижележащий коллектор. После экспериментов на лабораторной физической установке, собранной в лаборатории гидравлики СПбГАСУ, исследователи приступили к компьютерному моделированию. Полученные при этом результаты показали действительное теоретическое снижение поступления агрессивных газов в нижележащий коллектор, но необходимость создания приёмной воронки стояка закрытого типа. В условиях реального канализационного коллектора данная конструкция пока не применялась.

Надо иметь ввиду, что воздухообмен связан с удалением грязного воздуха из канализационной сети на дневную поверхность земли, а значит при организации воздухообмена необходимо осуществлять очистку загрязненного газа.

В качестве адсорбентов для очистки канализационных газов чаще всего используются активированные угли. Для повышения эффективности очистки воздуха от сероводорода также применяется углерод, пропитанный различными катализаторами. Главные проблемы данных фильтров —

вопросы утилизации и регенерация активированного угля. Надо учитывать, что без предварительного аэродинамического расчёта установка фильтрующих кассет на канализационных шахтах бывает неэффективна или требует принудительной подачи воздуха, поскольку сопротивление фильтра часто превышает сопротивление течению воздуха через неплотности сети.

В АО «Мосводоканал» на канализационных коллекторах экспериментально используются адсорбционные фильтры нескольких фирм, в том числе ПьюрАэр от «ОКС Групп».

Для очистки воздуха, удаляемого из крайних шахт дюкера ГКК Санкт-Петербурга №441 и №415, используется плазмокаталитический метод (сочетающий плазмохимический и каталитический способ разложения газообразных загрязняющих веществ до элементарных соединений). Он осуществляется в стационарных установках «Плазкат-аэро». Воздух, удаляемый из промежуточных шахт дюкера, очищается с помощью ионно-обменного метода в установленных на шахтах фильтрах.

При проектировании крупнейшего канализационного перехватывающего коллектора глубокого заложения в Лондоне, работающем в напорном режиме, вентиляционные и очистные установки высотой до 5,5 метров, расположенные рядом со строящейся шахтой диаметром 25 метров, успешно интегрированы в городскую среду [12]. Воздух будет выпускаться через вентиляционную колонну высотой примерно 15 м (10 метров оказываются ниже уровня асфальта). Этот комплекс сооружений будет снабжен пассивными фильтрами, расположенными под уровнем земли по пути воздуха между шахтой соединённой с ней воздушным трубопроводом вентиляционной колонной. Фильтры будут иметь доступ с поверхности земли и крышки для осмотра. Вентиляционное здание имеет приблизительные размеры 20 м в длину, 8 м в ширину и 5,5 м в высоту. Его размер и высота определяются размером оборудования внутри него и требованиями к безопасному доступу для эксплуатации и технического обслуживания. Электроустановка будет размещена в вентиляционном здании в зоне, указанной в плане параметров работ на объекте.

Библиографический список

1. Васильев В.М., Малков А.В. Проблемы эксплуатации канализационной сети глубокого заложения и пути их решения // Вода Magazine. – 2017. - №3 (115) - С. 34-36.
2. Olga Auguet , Maite Pijuana, Carles Borrego, Oriol Gutierrez. Control of sulfide and methane production in anaerobic sewer systems by means of Downstream Nitrite Dosage. // Science of the Total Environment. - 550 (2016) 1116–1125.
3. Oriol Gutierrez, Gatut Sudarjanto, Guo Rena, Ramon Ganigue, Guangming Jianga, Zhiguo Yuana, «Assessment of pH shock as a method for controlling sulfide and methane formation in pressure main sewer systems», water research 48 (2014).

4. Васильев В.М., Клементьев М.Н., Столбихин Ю.В. Методы антикоррозионной защиты тоннельных коллекторов и сооружений на них // Водоснабжение и санитарная техника. - 2015. - № 1. – С. 58-66.
5. Васильев В.М., Малков А.В., Клементьев М.Н. Места образования агрессивных газов в канализационной сети. // Водоснабжение и санитарная техника. - Москва. - 2017. - №1.
6. Васильев В. М., Васильев Ф. В., Клементьев М. Н.. // Особенности строительства и реконструкции канализационных тоннелей в Санкт-Петербурге. Водоснабжение и санитарная техника. - 2013. - № 1.
7. Foster A. McMasters, Jr. Air Flow in Sewers. /OWEA 2012 Collection Systems Specialty Conference. May 10, 2012. – 2012.
8. James P., James Joyce, «Ventilation, Odor and Corrosion Control for Large Diameter Collection Systems». – 2012.
9. Васильев В.М., Малков А.В., Панкова Г.А., Клементьев М.Н. Определение мест выброса агрессивных газов из канализационной сети на поверхность и условия их образования. // Водоснабжение и санитарная техника. - Москва. - 2016. - №10.
10. Канализационная шахта (варианты): пат. 2394965 С1 РФ: МПК6 Е 03 F 5/00 / Васильев В.М., Васильев Ф.В; патентообладатель: ООО "Проектно- исследовательское бюро «Инженерные экосистемы»". - заяв. № 2008153059/03, 29.12.2008 опубл. 20.07.2010.
11. Федоров С.В., Васильев В.М., Столбихин Ю.В., Черников А.Н. Разработка мероприятий по снижению загазованности канализационной сети. // Вестник гражданских инженеров. 2019. №5 (76). С. 175–181.
12. Thames Water Utilities Limited. Thames Tideway Tunnel. Application for development consent № WWO10001. Design and access statement. Doc ref: 7.04. Part 2. - Carnwath Road Riverside. - APFP Regulations 2009: regulation 5(2)(q)

ВИЗУАЛЬНОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КРЫМА

*Спасибо Е.В. – студент магистратуры, НИУ МГСУ
Научный руководитель – к.т.н., доц. Гогина Е.С., доцент, НИУ МГСУ*

Проектирование и введение в эксплуатацию действующих очистных сооружений Республики Крым производилось в прошлом веке. С того времени нормы на сброс в водоем установлены более жесткие, нормируются азотная группа загрязнений, фосфор, БПК, ХПК, взвешенные вещества.

Работа посвящена обследованию технологического и визуального состояния КОС Крыма с целью разработки современных технологических схем по очистке сточных вод.

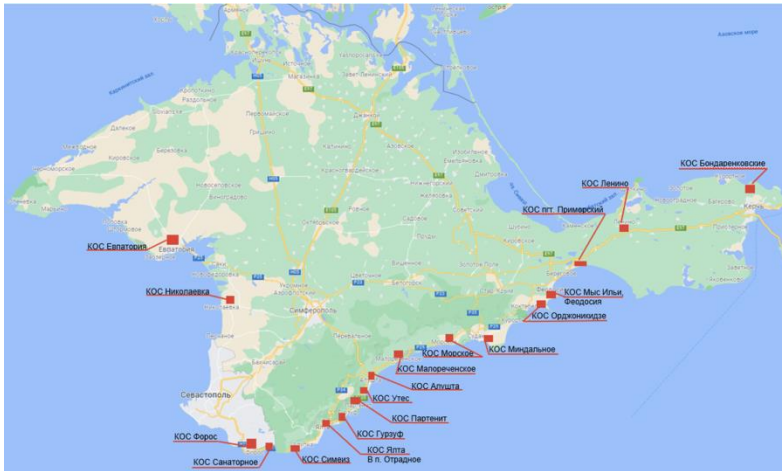


Рис. 1. Расположения объектов обследования КОС Республики Крым

Обследование показало, что функционирующие КОС городов Республики Крым работают по устаревшей технологии. Основной схемой очистки является классическая схема, включающая в себя механическую, неполную биологическую очистку и обеззараживание гипохлоритом.

Процесс очистки сточных вод заканчивается образованием большого количества осадка. На данный момент технологией предусмотрено только высушивание осадка на иловых площадках. Такой метод обработки вызывает неприятные запахи, занимает большие площади. Учитывая курортную зону, рекомендуется в процессе реконструкции очистных сооружений предусмотреть сооружения по аэробному сбраживанию и механическому обезвоживанию осадков. [1-3]

По результатам проведенных анализов - все обследованные очистные сооружения Республики Крым на момент проведения работ по оценке качества работы сооружений не удовлетворяют нормативным требованиям РФ по сбросу очищенных сточных вод в водоем. [4]

Обследованные очистные сооружения работают с высоким коэффициентом суточной неравномерности по принимаемому расходу сточных вод в настоящее время.

Большинство КОС имеют в своем составе железобетонные емкости, которые визуально находятся в удовлетворительном состоянии. Разумным будет сохранить существующие сооружения в качестве регулирующих емкостей.



Рис. 2. Железобетонные резервуары

В рамках обследования выявлено, что в связи с наличием высокой влажности воздуха с присутствием высоких концентраций солей действующие стальные конструкции достаточно быстро выходят из строя. Срок службы стальных конструкций не более 5 лет. В связи с чем, в процессе реконструкции стальные конструкции не рекомендуется применять.



Рис. 3. Стальные конструкции. Видимые дефекты

Также сооружения, выполненные из металла, в процессе эксплуатации показали, что в теплую погоду происходит интенсивная теплопередача от конструкции сточной жидкости, влекущая повышением температуры воды. Так в биологических сооружениях наблюдалась температура более 40 градусов по Цельсию, что неблагоприятно сказывается на протекании процессов.

Особое внимание уделяется технологиям удаления биогенных элементов, чье повышенное содержание на выпусках в водоем вызывает его эвтрофикацию и гибель рыб.

Потому предлагаются следующие технологии биологической очистки:

Существуют классические методы очистки сточных вод от биогенных элементов: это такие процессы, как нитрификация (аэробное окисление аммонийного азота сначала до нитритов, а затем и до нитратов) и денитрификация (процесс восстановления нитратного азота в молекулярный в анаэробных условиях).



Рис. 4. Металлические конструкции

Одноловая система денитри-нитрификации

Технология основана на последовательном чередовании анаэробных и аэробных зон. При реализации процесса исходную сточную воду разделяют на два потока 60 и 40%.

Первый поток (60%) попадает в первую анаэробную зону совместно с рециклом возвратного активного ила из отстойной зоны. Вместе с активным илом в первую зону попадает определенное количество нитратов, поэтому за счет расщепления нитратов и достаточного количества органического субстрата одновременно с процессом денитрификации в первой зоне осуществляется процесс нитрификации благодаря присутствию кислорода.

Далее смесь сточной воды с активным илом поступает во вторую аэробную зону. Где происходит отдувка образовавшегося газообразного азота и нитрификация азота аммонийных солей.

Из второй зоны иловую смесь направляется в третью, куда также поступает поток исходной сточной воды (40%), совместно с рециклом. Процесс биологической очистки аналогичен процессу в первой зоне, при этом происходит полное окисление азота аммонийных солей.

В четвертой зоне осуществляется отдувка азота, освободившегося при восстановлении нитратов,

Во вторичном отстойнике происходит отделение очищенной сточной воды от активного ила, откуда возвратный возвращают в первую и третью зоны. [5]

Основные преимущества метода:

Повышается степень очистки сточных вод от азота аммонийного. Также не требует строительства дополнительных сооружений, подходит для реконструкции в существующих на станции аэротенках.

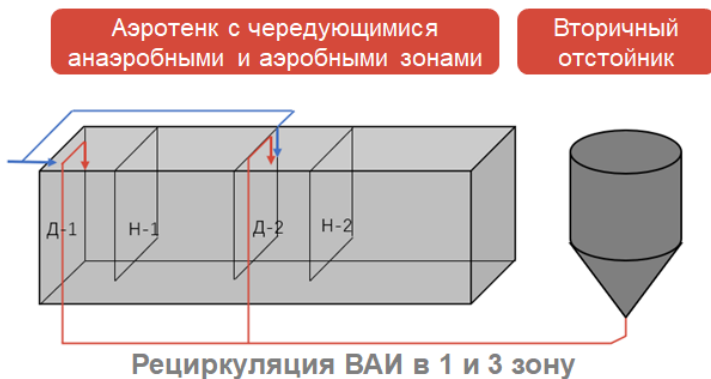


Рис. 5. Схема одноиловой системы денитри-нитрификации

Анаммокс-процесс

Основные недостатки традиционных методов – повышенные затраты на аэрацию нитрифицирующего активного ила и необходимость внесения органического субстрата для обеспечения эффективной денитрификации. Технологические схемы с нитрификацией и денитрификацией показывают стабильно эффективное качество очистки, если сточные воды мало загрязнены азотом, но богаты органикой. (бытовые сточные воды)

Существующий процесс ANAMMOX (ANaerobic AMMonium OXidation) – Анаэробное окисление аммония нитритом с образованием азота. Этот процесс осуществляется анаммокс-бактериями.

Известна традиционная схема процесса Анаммокс. На первой стадии процесса происходит перевод аммония в нитрит. На второй - образуется молекулярный азот. Классическая схема объединяет два процесса: частичную нитрификацию (нитритацию) и, собственно, процесс АМХ. [6]

Основные преимущества метода:

Отсутствие потребности в органическом веществе, снижение потребности в кислороде, что приводит к сокращению расхода на электроэнергию в 2–3 раза. Также закись азота в промежуточных реакциях не образуется и как следствие – оказание меньшего парникового эффекта.

Около пгт Ленино располагается огромный комплекс ТБО, сточные воды с комплекса отличаются от бытовых сточных вод высоким содержанием аммонийного азота и низким содержанием органических загрязнений. Как мы говорили ранее – с такими сточными водами справляются технологи, основанные на Анаммокс процессе.

Также воды с аналогичным соотношением азота и органики являются воды возвратных потоков, образовавшихся после обработки осадка (обезвоживание). Как мы говорили в самом начале рекомендовано внедрение на все станции очистки комплексы по обработке осадка. Потому данная технология имеет место быть.

Предлагаю к рассмотрению технологию DEAMOX (DENitrifying AMmonia Oxidation) [7]:

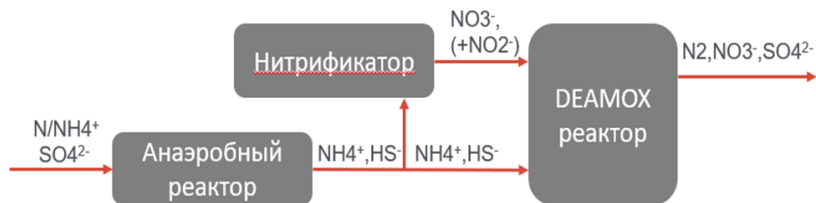


Рис. 6. Схема DEAMOX

В случае с возвратными потоками данная технология основывается на процессах частичной денитрификации и анаммокс,

Поскольку основной поток поступающих сточных вод содержит достаточное количество органического субстрата, для реализации процесса частичной денитрификации не требуется предварительной анаэробной обработки, предусмотренной технологической схемой DEAMOX для сточных вод с большими концентрациями азота.

При поступлении в блок биологической очистки сточная вода через распределительную камеру делится на 2 потока. 1 поток в 5 раз больше 2.

Первый поток поступает в аэротенк-нитрификатор. Данный аэротенк работает в режиме аэрации, что вместе с подобранной степенью рециркуляции возвратного активного ила обеспечивает эффективную нитрификацию поступающего аммонийного азота. Помимо основного потока в аэротенк поступает возвратный поток, образующийся после обработки избыточного активного ила.

Второй поток идет непосредственно в камеру смешения.

Объединенный поток сточных вод поступает в анаэробный реактор доочистки, обогащенный культурами анаммокс. Анаэробный реактор состоит из СБР-реакторов, рассчитанных на процедуры приема сточных вод, перемешивания и отвода очищенной воды (без аэрации). В условиях дефицита (но при этом наличия) органического субстрата и наличия значительного количества аммонийного азота в условиях отсутствия кислорода осуществляется процесс частичной денитрификации, ведущий к восстановлению нитратов до нитритов.

Режим работы СБР-реакторов предполагает интенсивное гранулообразование путем начального вымывания нестабильных флоккул активного ила. После грануляции гетеротрофного денитрифицирующего активного ила происходит насыщение биореактора анаммокс культурами.

В случае очистки сточных вод с ТБО схема остается той же, но с применением Анаэробного реактора, так как поступающие воды небогаты органикой и требуется внесение внешнего субстрата.

Процесс Кейптаунского университета (UCT)



Рис. 7. Схема процесса UCT

При реализации процесса UCT сточная вода поступает в анаэробную зону, совместно с рециклом иловой смеси из второй аноксидной зоны.

Подача в анаэробную зону продинитрифицированной иловой смеси позволяет обеспечить, практически, нулевую концентрацию нитратов в анаэробной зоне. В результате в анаэробной зоне создаются чисто анаэробные условия для стабильного и эффективного ведения процесса биологического удаления фосфора.

Возвратный активный ил, содержащий нитраты, поступает в аноксидную зону сооружения вместе с нитратным рециклом.

Основные преимущества метода:

Реализация данной схемы позволяет достигать качества сточных вод ниже нормируемой по азотным группам и фосфатам. Также не требует строительства дополнительных сооружений, подходит для реконструкции в существующих на станции аэротенках.[8]

Применение мембранных технологий

Мембранная фильтрация – это разделение веществ в растворах на полупроницаемых мембранах. Разделение осуществляется под действием приложенной извне движущей силы.

Основные преимущества метода:

Применение мембранной технологии позволяло эффективно реализовать процесс биологического удаления азота и фосфора, со значительным сокращением объема сооружений. Также применение мембранных технологий способствует задержанию нитчатых бактерий. [9]

Каждый метод эффективен при удалении биогенных элементов. В данных технологиях осуществляется глубокая биологическая очистка, позволяющая иметь на выходе из очистных сооружений сточную воду с показателями для сброса в рыбохозяйственный водоем. Выбор схемы будет в основном зависеть от экономической сообразности. Краткое сравнение расходов при реализации той или иной схемы очистки приведена в таблице

1. Важным аспектом является то, что особенное внимание нужно уделять расходам при эксплуатации (расчет жизненного цикла).

Таблица 1. Сравнение экономической части рассмотренных методик

№ п/п	Технология	Постройка/Реализация	Эксплуатация	Ремонт
1.	Одноиловая Денитри-нитрификации	Дешево	Дорого	Дешево
2.	Анаммох-процесс	Очень дорого	Дешево	Дешево
3.	УСТ	Дешево	Очень дорого	Дешево
4.	МБР	Очень дорого	Очень дорого	Очень дорого

Библиографический список

1. СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. .
2. Приказ Роспотребнадзора от 09.08.2019 № 629.
3. СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней» от 01.09.2021
4. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от от 13 декабря 2016 г. № 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения".
5. Гогина Е.С., Гульшин И.А. Исследование принципиальной возможности применения одноиловой схемы денитри-нитрификации при реконструкции очистных сооружений российской федерации // Вестник МГСУ 10/2013. С. 166-174.
6. Спасибо Е.В., Гогина Е.С. Характеристика микробного анаммокс-сообщества и различие технологических схем. // БСТ. 2021. № 6. С.23-25.
7. А.И. Трухина Оптимизация Deатох-процесса и молекулярно-биологические исследования формирующихся консорциумов микроорганизмов. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. 2011. 115с.
8. Харьковина О.В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. - Волгоград: Панорама, 2015. - 433, [7] с. - (Очистка сточных вод. Концепция 10 шагов).
9. Соколова Е.А., Гогина Е.С. Применение мембранных методов для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // БСТ. 2021. № 6. С.34-35.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ИРРИГАЦИИ

Ракал З., Чекима Х. – ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Научный руководитель – д.т.н., проф. Серюкрылов Н.С., профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Аннотация

За последние 30 лет в регионе Эль-Уэд наблюдался подъем поверхностных вод. Для решения этой проблемы в регионе был предложен и реализован генеральный план по очистке сточных вод, целью которого является отвод сточных и дренажных вод на очистные сооружения и использование их для орошения сельскохозяйственных земель.

Сточные воды, очищенные на очистных сооружениях в Куинине, не подходят для сельскохозяйственного орошения, согласно международным стандартам ФАО и ВОЗ для оросительной воды, и цели очистки далеки от достижения, особенно в отношении проводимости, которая превышает солеустойчивость большинства растений [9] [10].

Ключевые слова: Эль-Уэд, подъем воды, сточные воды, ирригация, ФАО, ВОЗ.

Введение

В регионе Эль-уэд недостаточное количество осадков требует использования глубоких запасов подземных вод. Из-за интенсивного выкачивания глубоких грунтовых вод и отсутствия канализационной системы начался процесс подъема воды, последствия которого вредны для людей и окружающей среды, например, затопление пальмовых рощ и их удушье [3]. Также сильная минерализация воды, вызванная интенсивным испарением из открытых водоемов и растворением солей. Для решения этой проблемы государство разработало генеральный план по очистке сточных вод в регионе с целью отвода сточных и дренажных вод на очистные сооружения путем создания отстойников и последующего их использования для орошения сельскохозяйственных земель.

Целью данной работы является диагностика мер, используемых для решения проблемы подъема грунтовых вод, а также оценка качества очищенных сточных вод и их пригодности для использования в сельскохозяйственном орошении.

Презентация области исследования

Регион Эль-Уэд расположен на юго-востоке страны, около 700 км к юго-востоку от города Алжира и 350 км к западу от Габеса (Тунис), на северо-востоке Северной Сахары. Общая площадь города составляет 40 км²[1,2] (рис. 1).



Рис. 1. Географическое положение региона Эль-Уэд

Ресурсы подземных вод

Регион Эль-Уэд представляет довольно значительный водный потенциал, представленный тремя типами водоносных горизонтов, один из которых свободный, соответствующий уровню грунтовых вод, два других - кэптивные, соответствующие многослойным уровням грунтовых вод терминального комплекса и альбскому уровню грунтовых вод [1] (рис. 2).

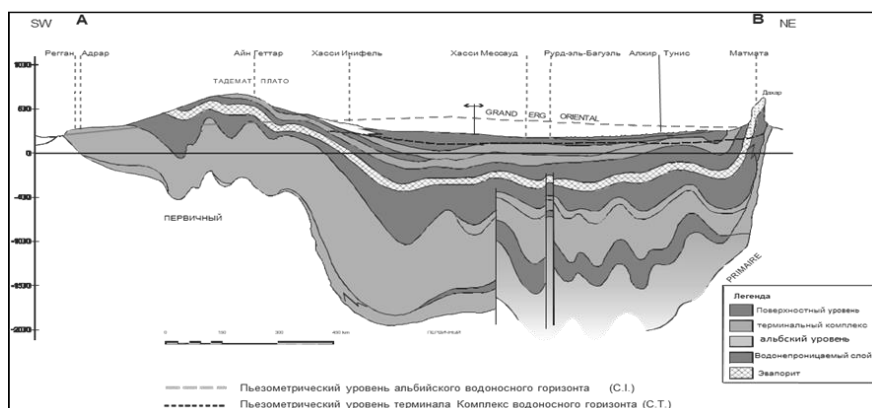


Рис. 2 - Гидрогеологическая секция Северной Сахары [12]

Проблема подъема подземных вод

За последние 30 лет в регионе Эль-Уэд наблюдался подъем уровня грунтовых вод. Последствия этого процесса вредны для человека и окружающей среды. Следствием этого является утопление пальмовых рощ и их удушье, а также распространение бактериологического загрязнения в

водоемах и загрязнение воды нитратами бытового и сельскохозяйственного происхождения [4].

Площадь территории, пострадавшей от подъема воды, составляет 3 000 км², на которой проживает 380 000 человек.

Причиной подъема уровня грунтовых вод является интенсивная откачка глубинных слоев воды (СТ и СИ). Это явление усугубляется почти полным отсутствием санитарной инфраструктуры (уровень охвата санитарными сетями составляет 10%) в Эль-Уэд и отсутствием выходов из-за слабого рельефного склона [1] [4] [5].

С 1993 по 2004 год был проведен ряд исследований для определения геометрических и геологических характеристик водоносного горизонта. По окончании расследований был принят ряд мер: разработан генеральный план очистки сточных вод в регионе с целью отвода сточных и дренажных вод на очистные сооружения путем отстойника и их последующего использования для орошения сельскохозяйственных земель [5] .

Управление сточными водами в районе исследования

Для предотвращения повышения уровня грунтовых вод, государство предприняло конкретные меры в рамках титанического проекта по восстановлению экологического баланса – Суф, проект курируется Национальным управлением по санитарии (ОНА). Четыре насосные станции для отвода нежелательной воды (застойной воды и сточных вод) были установлены благодаря значительной системе труб к Чотт Эль-Халуфа. Также была проведена, реконструкция сетей водоотведения и питьевой воды.

Проект был реализован в четыре этапа: первый этап проекта заключался в прокладке канализационной сети протяженностью 750 км, обозначенной 57 подъемными станциями; на втором этапе проект включал в себя реализацию четырех станций очистки сточных вод в районах коммун, уже подключенных к коллективной канализационной сети, расположенных в Куинине, Хассани Абделькрим, Сиди Аун и Регуйба; третья фаза операции была реализована посредством горизонтального отвода и поглощения 22 000 м³/сутки избыточной поверхностной воды, что потребовало, на протяжении 34 км сети, проходки 51 глубокой скважины с поглощающей способностью 348 л/с; четвертая фаза обеспечивает передачу сточных вод на протяжении 47 км к выходу Чотт Эль-Халуфа [5].

Качество очищенных сточных вод для орошения

Химические и физические характеристики качества идентичны для любой оросительной воды. В этом отношении общие рекомендации, представленные ФАО[8][9] и ВОЗ [10], могут быть использованы для оценки очищенных сточных вод, используемых для целей орошения, с точки зрения содержания в них химических компонентов [6] [7].

Мы провели серию измерений 9 физико-химических параметров сточных вод на входе и выходе станции очистки сточных вод Куинин в

феврале, марте и апреле 2018 года, чтобы оценить пригодность очищенной воды для орошения. Анализы проводились в лаборатории Национального управления канализации (ANRH) [4] в Эль-Уэд в соответствии со стандартными методиками [11]. Результаты измерений представлены в виде гистограммы на рисунке 3.

Взвешенные твердые вещества (ВТВ)

Значения TSS для сырой воды варьируются между 275 мг/л и 239,1 мг/л, а для очищенной воды - между 34,2 мг/л и 39,98 мг/л. Последний показатель превышает стандарты ВОЗ [10], применяемые в Алжире (30 мг/л) (Официальный журнал Алжира 1999).

Биологическое потребление кислорода (БПК5)

Значения БПК5 для сырой воды варьируются между (230,9 и 275) мг/л, а для очищенной воды - между (2 и 37,8) мг/л. Среднемесячное значение за апрель превышает стандарты, применяемые в Алжире (30 мг/л).

Химическая потребность в кислороде (ХПК)

Значения ХПК для сырой воды варьируются между (484 и 609) мг/л, а для очищенной воды - между (77 и 96) мг/л. Два значения в феврале и марте ниже стандартов ВОЗ [10], применяемых в Алжире (90 мг/л), но среднее значение в апреле превышает алжирские стандарты для очищенных сточных вод, используемых в целях орошения.

Растворенный кислород

Значения растворенного кислорода в сырой воде варьируются от 1,32 до 1,51 мг/л, в очищенной воде - от 7,4 до 8,09 мг/л. Эти значения превышают нормы сброса (5 мг/л), установленные ВОЗ [10].

Электропроводность (ЕС)

Электропроводность сырой воды колеблется между минимальным значением 5050 мкСм/см и максимальным значением 5160 мкСм/см, в то время как электропроводность очищенной воды колеблется между минимальным значением 5,32 мСм/см и максимальным значением 5,51 мСм/см. Проводимость очищенных сточных вод очень высока (Faby, 1997) и превышает международные стандарты ФАО[9] для оросительной воды (<3000 мкСм/см). Фактически это самый важный параметр, ограничивающий использование очищенных сточных вод в исследуемом районе, поскольку он превышает солеустойчивость большинства растений[8].

pH

Значения pH, измеренные как для сырой, так и для очищенной воды, находятся в пределах от 8,06 до 8,46. Эти значения соответствуют алжирским стандартам сбросных вод (6,5<pH<8,5).

Нитраты и нитриты

Концентрация нитратов в сырой воде колеблется между минимальным значением 87 мг/л и максимальным 120 мг/л, а в очищенной воде - между минимальным значением 40 мг/л и максимальным 65 мг/л. Эти значения выше международных стандартов ФАО для оросительной воды (<30 мг/л) и стандарта ВОЗ [10] (50 мг/л), за исключением апреля.

Ортофосфаты

Значения ортофосфата, измеренные как для сырой, так и для очищенной воды, превышают международные стандарты ФАО[9] для оросительной воды (<0,94 мг/л) и стандарт ВОЗ [10] (<2). Поэтому очищенные сточные воды на очистных сооружениях в Куинине не подходят для сельскохозяйственного орошения, а цели очистки далеки от достижения, особенно по электропроводности.

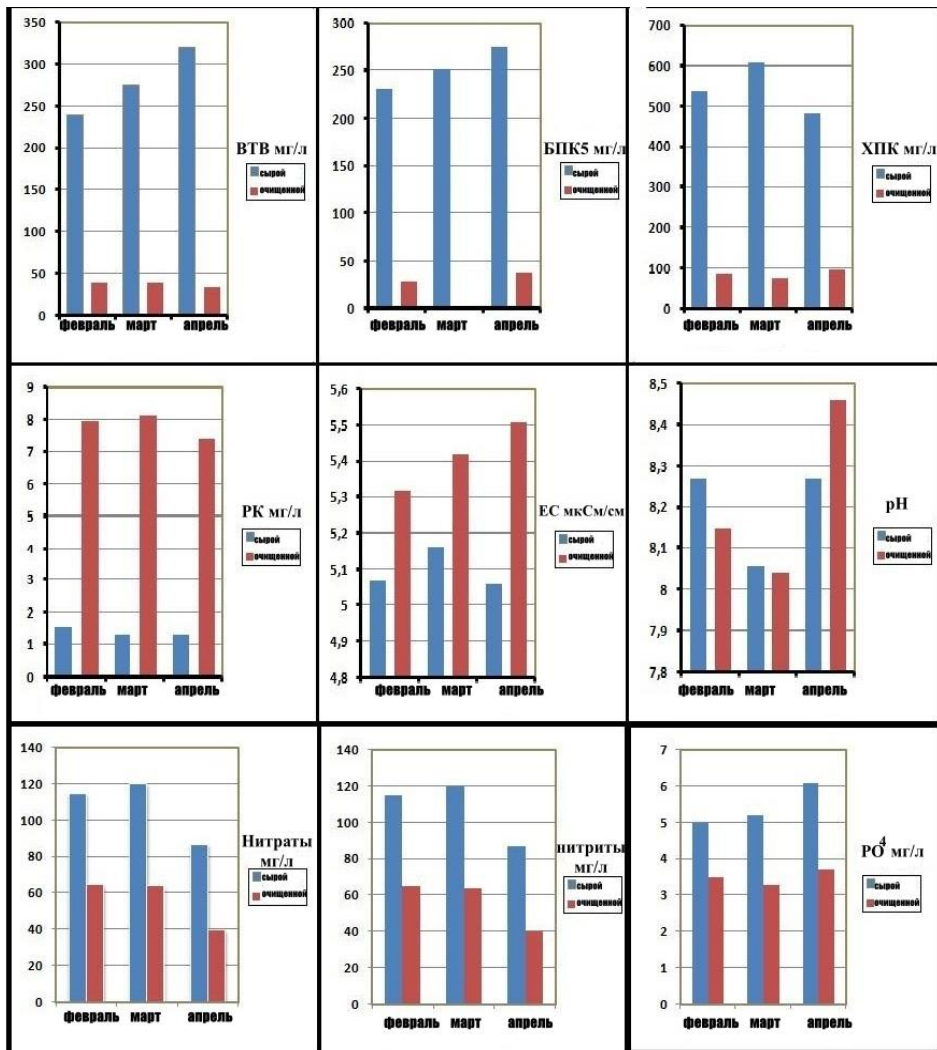


Рис. 3 – Гистограммы изменения физико-химических параметров сырой и очищенной воды на станции Куинин (2018).

Заключение

Исследуемая территория является частью вилайи Эль-Уэд и занимает площадь около 500 км². За последние 30 лет в регионе Эль-Уэд наблюдался подъем уровня поверхностных вод. Для решения этой проблемы в регионе был предложен и реализован генеральный план по очистке сточных вод, целью которого является отвод сточных и дренажных вод на очистные сооружения путем создания отстойников и использование их для орошения сельскохозяйственных земель.

Перекачиваемые сточные воды, очищенные на очистных сооружениях в Куинине, не подходят для сельскохозяйственного орошения, согласно международным стандартам ФАО и ВОЗ для оросительной воды, а цели очистки далеки от достижения, особенно в отношении проводимости, которая превышает солеустойчивость большинства растений.

Рекомендация

Повторное использование очищенной воды является необходимостью в регионе Эль-Уэд, но при этом необходимо отделить бытовые сточные воды со средней проводимостью от дренажных вод (вертикальных и горизонтальных) с высокой проводимостью. Кроме того, для повышения эффективности очистки воды необходимо использовать систему очистки с помощью растений-макрофитов (тростника).

Библиографический список

1.Рахал и Х. Чекима , « Регулирование качества воды водоносных горизонтов городских районов Юго-Восточного Алжира » самарский государственный мехнический университет (2020).

2 .Корнет А, Введение в гидрогеологию Сахары. Мимеографический курс для офицеров подготовительного курса по делам Сахары. Е.П.С. Бирмандрейс, Алжир ,1961.108с.

3 .Ремини, Б. 2006. Исчезновение упырей в регионе Эль-Уэд (Алжир). Larhyss Журнал, ISSN 1112-3680, n° 05, июнь 2006, стр.49-62.

4 .ANRH (Национальное агентство гидравлических ресурсов).

5 .BG (Бюро по изучению Боннара и Гарделя). 2004. Долина Суф. Исследование сточных вод, дождевой и ирригационной канализации - Дополнительные меры по борьбе с подъемом уровня грунтовых вод.

6 .Белаид, Н. 2010. Оценка воздействия орошения очищенными сточными водами на растения и почвы орошаемого периметра Эль-Хаджеб-Сфакс: засоление, накопление и фитопоглощение металлических элементов, докторская диссертация под совместным руководством Университета Сфакса и Лиможа.

7 .CSHPF.1991. Рекомендации по здравоохранению, касающиеся использования после очистки городских сточных вод для полива сельскохозяйственных культур и зеленых насаждений, 40 стр.

8 .ФАО. 2003. Орошение очищенными сточными водами. Руководство по эксплуатации. Региональное отделение для Ближнего Востока и Северной Африки. Каир, Египет, 6 стр.

9 .ФАО. 2002. Растения и капли: наилучшее использование воды в сельском хозяйстве. Рим, еда и Сельскохозяйственная организация ООН.

10 .ВОЗ. 1989. Использование сточных вод в сельском хозяйстве и аквакультуре: рекомендации по охране здоровья. Всемирная организация здравоохранения. Серия технических отчетов, № 778, ВОЗ, Женева, Швейцария.

11 .РОДЬЕ. J. 1984. Анализ воды, 7-е издание DUNOD, 1353 с.

12 .Алжир. - ЮНЕСКО, Проект ERESS: исследование водных ресурсов в северной Сахаре. Заключительный отчет (проект ERESS: исследование водных ресурсов северной Сахары. Заключительный отчет). Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО.1972г), Париж.

УТОЧНЕННАЯ ФОРМУЛА А. ШЕЗИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА САМОТЕЧНЫХ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ С ОТЛОЖЕНИЯМИ В ЛОТКОВОЙ ЧАСТИ ТРУБ

Шлычков Д.И. – к.т.н., доцент, НИУ МГСУ

Научный руководитель: д.т.н., проф. Продоус О.А., ООО «ИНКО-эксперт»

Рекомендована для использования при гидравлическом расчете самотечных трубопроводов с отложениями в лотковой части труб уточненная формула А. Шези с приведенным диаметром вместо их внутреннего диаметра, позволяющая повысить точность гидравлического расчета и обеспечить возможность прогнозирования дальнейшей эксплуатации сетей водоотведения.

Ключевые слова: трубопроводы водоотведения, внутренние отложения, гидравлический расчет, расчетная формула.

Понятие – гидравлический расчет самотечных трубопроводов сводится к вычислению значений $d_{\text{вн}}$, V и i при заданном расходе q , то есть к определению значений характеристик гидравлического потенциала труб для установившегося равномерного самотечного потока сточной жидкости [1].

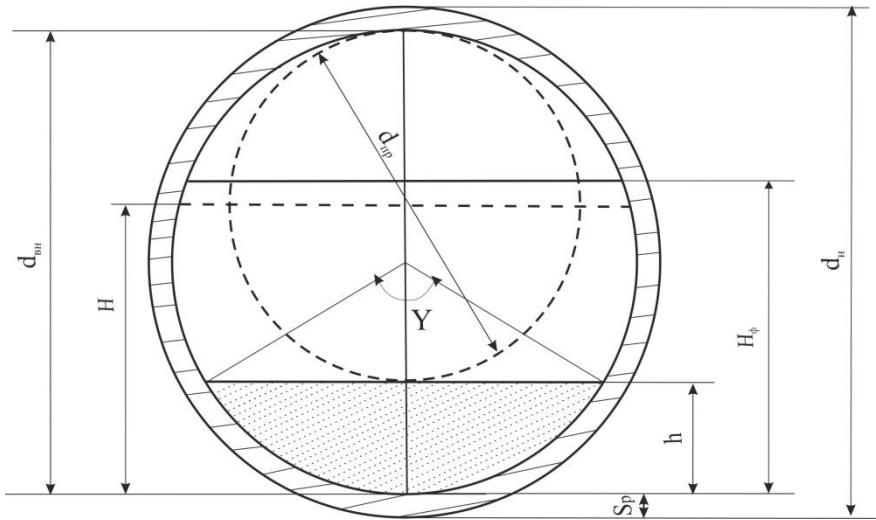


Рис. 1. Геометрические параметры потока в самотечных сетях водоотведения: $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр; d_n – наружный диаметр; S_p – толщина стенки трубы; h – толщина слоя отложений; $H_{\text{ф}}$ – фактическое наполнение; H – степень наполнения в новой трубе; Y – угол между хордами соединяющими границы поверхности осадка с центром трубы.

Существуют две методики гидравлического расчета самотечных трубопроводов.

Первая методика – для самотечных потоков при турбулентном режиме в зоне шероховатого трения. Вторая – для самотечных потоков при любом из трех возможных турбулентных режимов: гладких труб, шероховатых и переходной области между ними. Обе методики гидравлического расчета трубопроводов дают схожий результат расчета значений характеристик гидравлического потенциала труб [2].

Первая методика гидравлического расчета самотечных трубопроводов базируется на использовании уравнения неразрывности потока:

$$q = \omega \cdot V = \frac{V \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}, \text{ м}^3/\text{с (л/с)} \quad (1)$$

где:

q – заданный расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\omega = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}$ – площадь живого сечения трубы, м^2 ;

$d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр труб, м

и гипотезы А. Шези – применения при расчете вместо $d_{\text{вн}}$ значения гидравлического радиуса труб $R = \frac{d_{\text{вн}}}{4}$, м в формуле А. Шези, имеющей вид:

$$V = C\sqrt{R \cdot i}, \text{ м/с} \quad (2)$$

где:

C – коэффициент А. Шези, определяемый по формуле Н.Н. Павловского в диапазоне значений $0,1 < R < 3$;

R – гидравлический радиус, м;

i – гидравлический уклон, м/м, м;

$$C = \frac{R^y}{n}. \quad (3)$$

Для расчетов используют значение показателя степени y в формуле (3):

$$y = 1,5 \cdot n, \quad (4)$$

n – коэффициент шероховатости стенок труб.

Для расчетов используют значение n в диапазоне величин $n = 0,012 \div 0,014$.

Вторая методика базируется на использовании уравнения (1) и формулы Н.Ф. Федорова, имеющей вид:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 Lg \left(\frac{\Delta}{13,68R} + \frac{\alpha_2}{Re} \right), \quad (5)$$

где:

λ – коэффициент гидравлического сопротивления, входящий в формулу Дарси-Вейсбаха $i = \lambda \frac{V^2}{2g \cdot d_{\text{вн}}}$, мм/м (м/м);

Δ и α_2 – величины, назначаемые в зависимости от структуры шероховатости

стенок труб и характера сточной жидкости. На практике используют

значения в диапазоне величин: $0,6 \leq \Delta \leq 2,0$ мм; $70 \leq \alpha_2 \leq 100$;

R – гидравлический радиус, м;

$Re = \frac{V \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}$ – число Рейнольдса;

ν – коэффициент кинематической вязкости сточной жидкости, зависящий от ее температуры, м²/с.

Проведенный авторами сравнительный анализ расчетных зависимостей (2) и (5) показал, что расчет по формуле (2) дает более точный результат гидравлического расчета самотечных трубопроводов [3].

На практике при нарушении скоростного режима потока в лотковой части труб возможно образование отложений, влияющих на значения величин характеристик гидравлического потенциала труб $d_{\text{вн}}$, V , i , входящих в расчетную формулу (2). Однако формула (2) не учитывает толщину слоя отложений h .

Поэтому авторами рекомендуется использовать при гидравлических расчетах самотечных трубопроводов водоотведения – уточненную ими формулу А. Шези, имеющую вид [3]:

$$i = \frac{4 \cdot V^2}{C^2 \cdot d_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

где:

V – скорость установившегося потока, м/с;

C – коэффициент А. Шези, определяемый по формуле (3);

$d_{\text{пр}}$ – приведенный диаметр, определяемый по формуле:

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{(d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}})^2 - (d_{\text{вн}} - h)^2}, \text{ м} \quad (8)$$

где:

$d_{\text{н}}$ - наружный диаметр труб по ГОСТ, м;

$S_{\text{р}}$ - толщина стенки трубы для конкретного вида материала по ГОСТ, м;

$d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр труб по ГОСТ, м;

h - толщина слоя отложений, м.

С учетом формулы (8), окончательный вид расчетной зависимости для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения приобретает вид:

$$i = \frac{4 \cdot V^2}{c^2 \cdot \sqrt{(d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}})^2 - (d_{\text{вн}} - h)^2}}, \text{ м/м} \quad (9)$$

Использование при расчетах уточненного вида формулы А. Шези (9) позволяет существенно уточнять гидравлический расчет самотечных сетей с отложениями в лотковой части труб и обеспечивать прогнозирование возможности их дальнейшей эксплуатации.

Библиографический список

1. Бляшко Я. И. Использование канализационных стоков водоканалов напорно-самотечных водоводов и сбросов ТЭЦ для выработки электрической энергии // Главный энергетик. 2020. № 6. С. 35-44.

2. Воинцева И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб. // НТ журнал "Инженерные системы "АВОК - Северо-Запад", № 1, 2019. - С. 44-47.

3. Воинцева И.И., Нижник Т.Ю., Стрикаленко Т.В., Баранова А.И. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида //Вода: химия и экология. 2018. № 10-12 (117). С. 99-108

4. Продоус О.А., Новиков М.Г., Самбурский Г.А., Шипилов А.А., Тереховт Л.Д., Якубчик П.П., Чесноков В.А. Рекомендации по реконструкции ненювых металлических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна. //Изд. ООО «Свое издательство», Санкт-Петербург – Москва. 2021. – 40 с.

5. Продоус О.А. Зависимость продолжительности исследования металлических трубопроводов водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб. // Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения». 19 марта 2020. Москва: Изд. МИСИ – МГСУ.2020. – С. 113–117.

6. Продоус О.А. Методика оценки продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения// Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. № 1 (157). С. 4-10.

7. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Об изменении значений гидравлических характеристик напорных канализационных коллекторов из

стальных и чугунных труб с внутренними отложениями// Известия вузов. СТРОИТЕЛЬСТВО. 2020. № 12 (744). С. 70-77

8. Орлов В.А Энергосбережение как результат реконструкции водопроводных сетей бестраншейными методами. //В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции. 2020. С. 866-870.

9. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Монография. Иркутск: издательство ИрГТУ. 2015. – 418 с.

10. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. // Издательский Дом "Бастет". М., 2016. - 428 с.

11. Шлычков Д.И. Проблемы технического состояния действующих трубопроводных систем //Иновации и инвестиции. 2020. № 4. С. 207-210.

12. Shlychkov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency// Опцион. 2019. Т. 35. № SpecialEdition24. С. 1626-1636.

13. [Carsten UlrichSchwermera,WolfgangUhlabc](#) Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river// [Journal of Environmental Management](#). 2021 № 288 P. 2-14