НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Сборник докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня образования факультета водоснабжения и водоотведения МИСИ – МГСУ

(г. Москва, 24–25 октября 2019 г.)

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

ISBN 978-5-7264-2063-9

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2019

УДК 626 : 628 : 696
ББК 38.76 : 36.77
С23

С23 **Сборник докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня образования факультета водоснабжения и водоотведения МИСИ – МГСУ** [Электронный ресурс] : сборник докладов / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. — Электрон. дан. и прогр. (14 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. — Режим доступа: http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/ — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2063-9

В сборник включены доклады международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня образования факультета ВиВ МИСИ – МГСУ и проходившей 24–25 октября 2019 г. в НИУ МГСУ.

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

Научное электронное издание

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

© Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019

Ответственный за выпуск *А.П. Андрианов*

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

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

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

Верстка макета *Е.В. Орлова*

Подписано к использованию 25.12.2019. Объем данных 14 Мб

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ).
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

Р.Ш. Абиев, А.Н. Григорьева. Влияние геометрии перемешивающего устройства на диаметр пузырьков воздуха при пневмомеханической аэрации сточных вод 9
М.М. Али. Применение георадара «Лоза» в области водоотведения и канализации 16
*В.Ф. Бабкин, В.Н. Яценко, Е.А. Завалин*а. Способ получения белковой фракции из компонентов отработанного активного ила очистных сооружений 21
П.М. Гудинович. Очистка подземных вод от соединений железа и марганца биологическим методом 26
И.А. Гульшин. Перспективная конструкция анаммокс-реактора для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод при низких температурах 30
А.К. Клочко, А.А. Локтева. Применение «абсолютно надёжных камер» для распределительных сетей 35
Ю.А. Коледенкова. Мембранные технологии в очистке дренажных стоков 41
А.В. Кругликова. К вопросу изучения влияния природно-климатических факторов на очистку сточных вод 45
Г.Г. Каграманов, Е.Н. Фарносова, Лин Маунг Маунг. Эффективность нанофильтрации в задачах очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов 49
Р.Ш. Мамбетова, И. Абдурасулов, Т.С. Умаров, И.Х. Пашаев, Ж.Т. Тилекова. Процесс осветления воды на модели трубчатого отстойника 53
Г.Ш. Мамина. Теоретическая модель очистки воды ионным обменом в гидродинамических условиях 59
М.Г. Мхитарян, А.С. Мунзер, Э.Е. Назаркин, А.В. Данилина, Е.С. Копачева, И.А. Мельникова. Использование лотков малого размера в многоэтажной застройке. Разработка требований к параметрам размещения элементов открытой ливневой канализации в условиях городской застройки на основе анализа практики применения свода правил 67
К.С. Неверов. Современные технологии гидроизоляции гидротехнических сооружений 76
Р.Ш. Непаридзе, М.В. Уракин, Н.Н. Беляев, А.И. Соколов. Опыт применения на практике наилучшей доступной технологии (НДТ) для глубокой очистки сточных вод 80
К.Т. Оспанов, М.М. Мырзахметов. Современное состояние и опыт Казахстана в очистке сточных вод 85
И.И. Павлинова. Вклад кафедр «Водоснабжение» и «Канализация» в развитии нормативно-правововой документации 92

О.А. Платонова. Инновационные решения при проектировании систем водоснабжения и водоотведения 95
Д.Ю. Поленов. Разработка системы интеллектуального управления водоснабжением объектов растениеводства 99
М.А. Разаков. Об организации воздухообмена в городской канализационной насосной станции 104
И.А. Синянский, Е.В. Орлов. К вопросу о проектировании и строительстве помывочных для домашних животных в жилых многоквартирных домах 107
Е.Н. Фарносова, А.А. Рид, А.С. Жебраткина. Эффективность очистки картофельного сока баромембранными методами 110
В.А. Семеновых, Ж.М. Говорова. Установка для очистки подземной воды 114
О.В. Янцен, А.П. Сторожев, В.А. Герасимов. Реконструкция городских очистных сооружений малой производительности до нормативов НДТ 121
А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, А.О. Быстранова. Сравнение методов определения содержания растительного жира в сточных водах 130
Г.Г. Каграманов, Е.Н. Фарносова, А.В. Титов. Изучение мембранных методов очистки сточных вод от тяжелых металлов 134
С.В. Федорова, А.Н. Крыжановский, И.А. Косолапова. Делитирование подмерзлотных вод Якутии для питьевого водоснабжения 138
В.Н. Фисенко. Инвестиционная доходность и риск проектов в сфере водоснабжения и водоотведения 145
В.И. Щербаков. Из истории воронежского водопровода 152
В.И. Щербаков, О.Б. Рудаков, О.Б. Кукина. Утилизация шлам-лигнина байкальского ЦБК с применением препарата дезолак..... 157

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

Организационный комитет:

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

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

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

Члены организационного комитета:
В.А. Орлов – д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;
А.П. Андрианов, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;
Н.А. Макиша – канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;
Е.М. Чеботаева, начальник Управления молодежной и информационной политики НИУ МГСУ;
М.В. Митькина, директор Издательства МИСИ-МГСУ;
Н.В. Самотесова, начальник Управления по координации международного сотрудничества НИУ МГСУ.

Члены научного комитета:
В.А. Орлов – д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;
Е.В. Алексеев – д-р. техн. наук, проф. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;
А.Г. Первов – д-р. техн. наук, проф. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;
Ж.М. Говорова – д-р. техн. наук, проф. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;
В.Б. Викулина – канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ;
Е.В. Орлов, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВИВ) НИУ МГСУ.

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

Е.С. Гогина

В.А. Орлов

2019 год ознаменовался празднованием 90-летия со дня образования факультета «Водоснабжение и водоотведение» («Водоснабжение и канализация») в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете (бывшем Московском инженерно-строительном институте им. В.В. Куйбышева). В этот юбилейный год мы постарались собрать специалистов отрасли, выпускников факультета и всех неравнодушных к нашей специальности людей на различных мероприятиях в университете. Этот сборник издан по итогам конференции, которая была проведена в НИУ МГСУ 24-25 октября 2019 года. Конференция объединила специалистов разной квалификации и разного возраста – от аспирантов и студентов до докторов наук, от производственников до сотрудников научно-исследовательских институтов. Множество проблемных вопросов было затронуто в самых разнообразных сферах. Высокий темп развития промышленных производств, антропогенное загрязнение поверхностных водоемов ставят новые задачи перед специалистами в области водоподготовки и очистки сточных вод. Уровень развития современных строительных материалов и технологий позволяет совершенствовать трубопроводные системы водоснабжения и водоотведения. Информационные технологии внедряются в системы автоматизации насосных станций, сооружений водоподготовки, очистки сточных вод. Большое количество вопросов решаются сегодня на междисциплинарном уровне. Это означает, что сегодня специалист в области водоснабжения и водоотведения должен обладать знаниями и навыками в смежных науках – нанотехнологиях, микробиологии, IT и многих других. Именно эти задачи видит сегодня университет в области подготовки кадров.

Опираясь на тот опыт, который передали нам наши учителя – С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Н.Н. Абрамов, В.И. Калицун, В.С. Кедров, Г.И. Николадзе, И.В. Прозоров, Ю.М. Ласков, М.А. Сомов, Ю.В. Воронов и многие другие, мы стремимся повысить престиж нашей специальности, ищем новые технологии, производим новое надежное оборудование, чтобы каждый день в каждый дом нашей страны приходила чистая питьевая вода, чтобы мы по-прежнему гордились самыми большими запасами чистой пресной воды, чтобы мы и наши дети купались в чистых природных водоемах.

От имени НИУ МГСУ мы благодарим спонсоров конференции: ООО «СК Под Ключ», ООО «Группа Полипластик», ООО «ТД «Пенетрон», ООО «Грундфос», ООО «Экосит», УК «Полимерконструкция», ООО «Ингмар-XXI», ООО «КСБ», ООО «Альта Групп». Особую благодарность выражаем АО «Мосводоканал», АО «Институт МосводоканалНИИпроект» и редакциям журналов «Водоснабжение и санитарная техника», «Сантехника. Отопление. Кондиционирование» и «Вода и экология: проблемы и решения».

Желаем всем специалистам в области водоснабжения и водоотведения новых свершений, интересных задач и нестандартных решений, инновационных проектов и реализации самых смелых идей!

Проректор НИУ МГСУ, к.т.н. Гогина Елена Сергеевна

Заведующий кафедрой
«Водоснабжение и водоотведение»,
д.т.н., профессор Орлов Владимир Александрович

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ДИАМЕТР ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА ПРИ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ АЭРАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД

Р.Ш. Абиев, проф., д.т.н., зав. каф. ОХБА; **А.Н. Григорьева**, аспирант каф. ОХБА, СПБГТИ (ТУ), г. Санкт-Петербург

Перемешивание в системе газ-жидкость в основном проводится для интенсификации массообмена [1]. В настоящее время в очистке сточных вод широкое распространение получила пневматическая система аэрации при помощи дисковых аэраторов, основными недостатками которых является [2]:

- изменения в материале мембраны в процессе эксплуатации;
- снижение эффективности с увеличением расхода воздуха;
- потребность в большом количестве аэраторов, расположенных по площади аппарата;
- чрезмерно высокая длительность и сложность монтажа аэраторов, особенно при большом их количестве;
- необходимость в специальных водосбросных стояках.

Одним из решений проблемы забивания пневматической аэрации является переход на пневмомеханическую систему. Подобные системы применялись еще с 80-х годов [3], причем в качестве перемешивающего устройства использовалась турбинная мешалка. Использование дополнительного механического перемешивания при пневматической аэрации приводит к увеличению ее эффективности и позволяет снизить расход воздуха, необходимого для биологической очистки сточных вод [4]. Авторы статьи [5] исследовали комбинированную систему с применением вихревого эрлифтного устройства. При производственном внедрении технологии перемешивания на канализационных очистных сооружениях (КОС) г. Кузнецк-12 Пензенской области удалось снизить удельный расход воздуха, поступающего в аэротенк, с 9,9 до 7,0 $м^3/м^3$. Эффективность системы аэрации после проведенной реконструкции увеличилась с 1,9 до 2,7 кг/(кВт·ч).

Для выбора диаметра рабочего колеса мешалки и частоты вращения необходимо знать, какой диаметр пузырька воздуха требуется получить для достижения эффективной очистки воды. Авторы статьи [6] пришли к выводу о том, что независимо от расхода сточных вод эффект очистки достигает максимума при диаметре пузырьков 1,45–2 мм. При дальнейшем увеличении диаметра эффект очистки уменьшается, достигая минимума при $d = 8{,}6$ мм, а затем начинает возрастать. Данный эффект связан с самопроизвольным дроблением пузырьков, приводящим к увеличению поверхности контакта фаз. В данный момент большинство предприятий по очистке сточных вод используют предпочтительно мелкопузырчатую систему аэрации, так как она позволяет экономить на расходе воздуха. Таким образом, исходя из графика, приведенного в статье [6], для эффективной очистки сточных вод необходимым условием является создание пузырьков воздуха 2 мм.

Цель данной работы – сравнить эффективность диспергирования газа при работе разработанной нами конической мешалки с турбинной, которая достаточно хорошо изучена и признана многими авторами как наиболее эффективная для перемешивания в системе газ-жидкость [7], [8], [9].

В качестве критерия для сравнения перемешивающих устройств выбран показатель «отношение удельной поверхности контакта фаз к количеству используемой электроэнергии».

В ходе работы выявлено, что турбинная мешалка превосходит коническую по количеству создаваемых пузырьков воздуха, это связано с большим вводом энергии в жидкость, однако по соотношению удельной поверхности контакта фаз и потребляемой мощности разработанная нами мешалка нового типа существенно выгодно отличается от турбинной.

Теоретическая часть

Пневмомеханические системы аэрации предполагают подачу воздуха в аппарат посредством нагнетателей и диспергирование его в воде с помощью механических перемешивающих устройств. Барботер устанавливается непосредственно под рабочее колесо перемешивающего устройства. Пузырьки интенсивно диспергируются под действием турбулентных пульсаций, создаваемой мешалкой. Для разрыва пузырька необходимо, чтобы сила турбулентного потока была выше, чем сила поверхностного натяжения пузырька. В тоже время в объёме перемешиваемой газожидкостной смеси происходит процесс коалесценции. Для данного процесса пузыри должны находиться в контакте в течение определенного периода времени, пока поверхность пограничного слоя пленки не достигнет критической толщины. Если пузырьки отделяются входящим вихрем до достижения этой толщины, коалесценция не происходит. С одной стороны, турбулентность способствует столкновению пузырьков, а с другой – снижает коалесценцию [10].

Для определения массы растворившегося вещества (кислорода) в жидкости воспользуемся основным уравнением массопередачи:

$$M = K_L a \Delta c \qquad (1)$$

где M – масса вещества, перешедшего из одной фазы в другую в единицу времени, кг/с; K_L - коэффициент массопередачи, м/с; a – полная поверхность контакта фаз в аппарате, м^2; Δc – средняя движущая сила процесса, разность концентраций, кг/м^3.

Таким образом, определяющее значение эффективности аэрации имеет скорость массопередачи кислорода и удельная поверхность контакта фаз.

Удельная площадь поверхности одиночного пузыря $S_{уд}$ определяется по формуле

$$S_{уд} = \frac{A}{V_n} = \frac{6}{d_{32}} \qquad (2)$$

где d_{32} – средний поверхностно-объемный диаметр пузырька по Заутеру, м; $V_п$ – объем пузырей в аппарате, м^3;

Отметим, что значения А и $S_{уд}$ и удельной поверхности а, приведенной к объему V газожидкостной смеси в аппарате связаны соотношением, где φ – объемная доля газа в аппарате.

При пневмомеханической аэрации в результате дробления воздуха мешалкой возникают пузырьки, характеризующиеся достаточно широким распределением размеров. Для расчета характеристик массопереноса средний диаметр пузырьков определяют по Заутеру [11] как отношение суммарного объема пузырей к суммарной площади поверхности:

$$d_{32} = \frac{\sum_{i=0}^{n} N_i d_i^3}{\sum_{i=0}^{n} N_i d_i^2} \qquad (3)$$

где N_i – количество пузырьков в i-м классе, шт; d_i – средний диаметр в i-м классе, м.

Подробная методика расчета диаметра пузырька воздуха при работе мешалки в системе газ-жидкость описана в [3]. Из анализа теоретического расчета диаметра пузырьков воздуха можно сделать вывод о том, что помимо коэффициента поверхностного натяжения и плотности жидкости на показатель влияют диаметр мешалки, частота ее вращения, скорость подачи газа, высота и угол наклона лопасти.

Потребляемая мощность мешалки рассчитывается по формуле [7]:

$$N = K_N \rho n^3 d_m^5, \qquad (4)$$

где N – мощность, потребляемая мешалкой, Вт; K_N – коэффициент мощности (Ньютона); ρ – плотность жидкости, кг/м^3; n – частота вращения мешалки, об/с;

Экспериментальная часть

Эксперименты по оценке среднего размера диаметров пузырьков проводились в прямоугольном сосуде из оргстекла (полиметилметакрилата) с плоским днищем. Форма емкости максимально приближена к реальным сооружениям (аэротенкам), а ее геометрические размеры велики по сравнению с диаметром мешалки. Схема и размеры экспериментального аппарата представлена на рис. 1.

Уровень жидкости составил H = 270 мм. Расход воздуха контролировался при помощи термоанемометрического расходомера с цифровой индикацией сигнала PFM725-F01-D фирмы SMC (Япония). Предел измерений датчика от 0,5 до 25 л/мин, точность ±2%. Характеристика мощности, потребляемой мешалками, рассчитывалась по формуле (4). Дополнительным

экспериментом был установлен критерий мощности K_N для конической мешалки: методом 3d печати были изготовлены два рабочих колеса диаметрами 120 и 150 мм с соблюдением геометрического подобия. Мешалки были установлены в аппарат прямоугольной формы размерами 1000×1000×1000 мм. При частоте вращения 1400 об/мин производились измерения крутящего момента при помощи датчика М 40 (производства ООО Тилком, Минск), точность которого составляет ±0,1 Н·м. Затем по формуле (5) рассчитывался коэффициент мощности Ньютона, который в результате составил 0,37. В то время как для турбинной мешалки данный коэффициент составляет 8,2 [13].

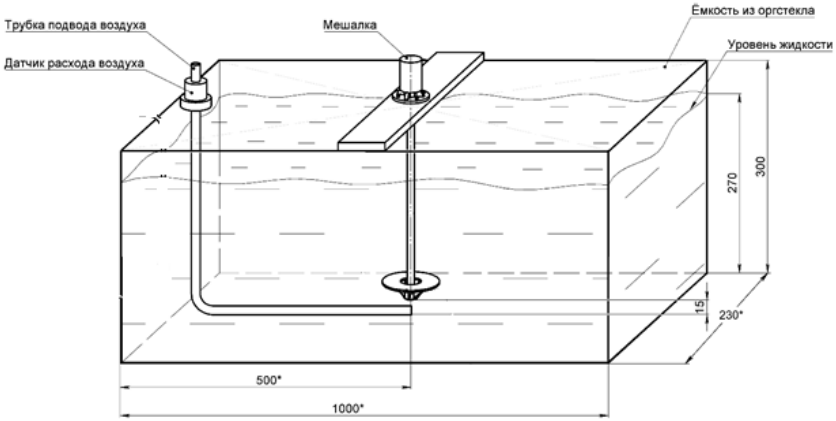


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В ходе эксперимента измерялась эффективность дробления пузырей воздуха следующих моделей мешалок:

1) турбинная тип 03 (рис. 2, а),

2) коническая многолопастная нового типа (рис. 2, б).

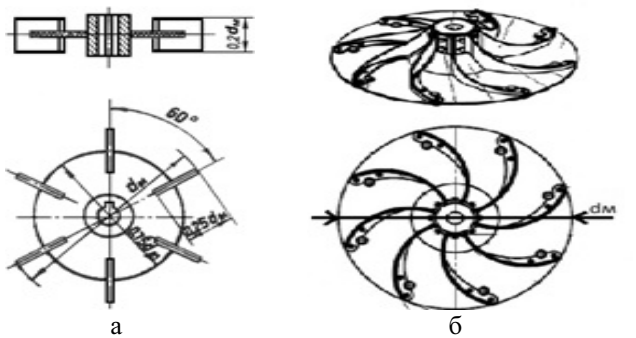


Рис. 2. Схема турбинной мешалки (а) и конической мешалки (б)

Подробное описание конической многолопастной мешалки представлено в [12]. В исследованиях [12] было найдено, что энергопотребление конической мешалки меньше, поэтому для сравнения были выбраны коническая мешалка диаметром 70 мм и турбинная с диаметром 50 мм. Т.е. целью эксперимента было сравнить эффективность аэрации при работе мешалок с приблизительно равным энергопотреблением.

Число Рейнольдса центробежное составило $R_{ец}$ = 97420 для конической мешалки и $R_{ец}$ = 497000 для турбинной мешалки. Число Рейнольдса является критерием подобия, характеризующим соотношение между силами вязкости и инерции в движущемся потоке. В реальных аэротенках конические мешалки работают при частоте вращения 18-28 об/мин, однако диаметр их составляет от 1000 мм, таким образом $R_{ец}$ в реальных условиях составляет более 100 000. Выбранная частота вращения 1200 оборотов обосновывается тем, что в моделировании мы стремились сохранить критерий подобия течения вязкой жидкости в лабораторном аппарате с мешалкой и реальным аэротенке.

Воздух в аппарат подавался через трубку с внутренним диаметром 6 мм непосредственно под мешалку с расходом 5 л/мин. После включения мешалки аппарат фотографировался при помощи фотокамеры Nikon D90 с разрешением 0,92 млн пикселей, снимки были обработаны в программе ToupView (произведен подсчет количества и диаметра пузырьков воздуха). После обработки фотографий рассчитывался средний диаметр по Заутеру в соответствии с формулой (2) и удельная поверхность раздела фаз по формуле (3).

Результаты и их обсуждение

После расчета среднего диаметра по Заутеру было установлено, что турбинная мешалка немного более эффективно диспергирует воздух, соотношение средних диаметров составляет 0,92 (2,3 мм у конической и 2,5 мм у турбинной) Это связано с большим вводом энергии в аппарат. Можно заключить, что в турбулентном режиме (при высоких числах Рейнольдса) большинство создаваемых мешалкой пузырьков находится в промежутке от 1 до 2,5 мм. Эти размеры удовлетворяют требованиям, при которых эффект очистки сточных вод максимален. Таким образом, пневмомеханическая система аэрации сточных вод может быть использована как альтернатива традиционной пневматической системе. По принятому нами критерию эффективности вновь разработанная нами коническая мешалка лучше турбинной в 3,8 раза. Это объясняется малым потреблением энергии, т.к. лопасти новой мешалки скруглены, имеют более обтекаемую форму.

В результате проведенной работы установлено, что коническая мешалка разбивает воздух практически также эффективно, как и турбинная, потребляя при этом в 4,12 раза меньше электроэнергии. Соколов и Доманский [14] отмечают, что перемешивание газа с турбинной мешалкой эко-

номически не целесообразно в аппаратах больших объемов. Действительно подобного рода мешалки становятся дорогостоящими устройствами, т.к. увеличение диаметра сопровождается резким увеличением энергопотребления самой мешалки. С разработкой конического колеса в следствии низкого сопротивления лопастей перемешивание в системе газ-жидкость возможно и в аппаратах больших размеров, что особенно актуально для аэротенков с небольшой глубиной при биологической очистке сточных вод, когда эффективность пневматической системы существенно снижается. Кроме того, применение новой системы пневмомеханической аэрации позволит избежать достаточно трудоемкого процесса монтажа и обслуживания барботеров, уйти от проблемы периодического забивания отверстий. В заключении необходимо отметить, что анализ массообмена в предложенной системе аэрации сточных вод является предметом дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Барабаш В.М., Абиев Р.Ш., Кулов Н.Н. «Обзор работ по теории и практике перемешивания» // Теоретические основы химической технологии, 2018, том 52, № 4, с. 367-383.

2. Мешенгиссер Ю.М. Теоретическое обоснование и разработка новых полимерных аэраторов для биологической очистки сточных вод: дисс. докт. техн. наук, Москва, 2005. 204 с.

3. Брагинский В.И., Евилевич Л.Н., Бегачев М.А. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. – Л.: Химия, 1980.

4. Харькина О.В., Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. – Волгоград, Панорама, 2015.

5. Андреев С.Ю., Исаева А.М., Малютина Т.В., Пантюшов И.В. «Интенсификация работы мелкопузырчатых систем аэрации аэротенков за счет использования перемешивающих эрлифных устройств» // Региональная архитектура и строительство, 2008, № 2.

6. Дихтярь Т.В., Боровский Д.И. «Исследование зависимости эффекта очистки сточных вод в аэротенке от диаметров пузырьков воздуха» // Учебные записки крымского инженерно-педагогического университета, 2006, с. 65-67.

7. Edward L. Paul, Victor A. Atiemo – Obeng, Suzanne M. Kresta, Handbook of industrial mixing: science and practice – Canada: A John Wiley & Song, INC., publication, 2004.

8. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М., Перемешивание в жидких средах. – Л.: Химия, 1984.

9. Стренк Ф. Пер. с польского под ред. Щупляка И.А. Перемешивание и аппараты с мешалками. – Л.: Химия, 1975.

10. Bart C.H. Venneker., Jos J. Derksen, and Harrie E.A. Van den-Akker, Population Balance Modeling of Aerated Stirred Vessels Based on CFD, Netherlands // AIChE Journal, April 2002.

11. Sauter J. «Die Grössenbestimmung der in Gemischnebeln von – Verbrennungskraftmaschinen brennungskraftmaschinenvorhandenen Brennstoffteilchen» // VDI Forschungsheft № 279, 1926.

12. Григорьева А.Н., Абиев Р.Ш. «Сравнительный анализ влияния геометрической формы рабочих колес перемешивающих устройств на эффективность суспендирования в системе жидкость-твердое» // Известия СПбГТИ (ТУ), № 45,2018.

13. РД 26-01-90-85 «Механические перемешивающие устройства. Метод расчета», 1986.

14. Соколов В.Н., Доманский И.В., Газожидкостные реакторы. – Л.: Машиностроение, 1976.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРА «ЛОЗА» В ОБЛАСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

М.М. Али, студентка магистратуры, институт ИСА, НИУ МГСУ, г. Москва

Введение

Многие виды инженерно-геологических исследований, например, шурфы, бурение скважин, не всегда подходят для изучения особенностей стройплощадок, поскольку для их проведения требуется физическое вмешательство в грунт или сооружение, иными словами, их частичное разрушение. Поэтому довольно часто при строительстве используется георадарное сканирование – современный метод исследования строения грунта или состояния конструкции без вмешательства в их целостность. Этот способ также позволяет быстро и точно определить расположение подземных коммуникаций на участке работ. При этом, георадарная съемка никак не влияет на структуру исследуемых объектов. Но они редко применяются в градостроительных инженерно-изыскательных работах.

Георадар «ЛОЗА» – это современный прибор, позволяющий дистанционно обнаруживать глубоко под землёй металлические и неметаллические коммуникации, артефакты, руины древних городов и других объектов. Работы проводятся с использованием георадара – прибора, действие которого основано на принципе геолокации. Он испускает низко- и высокочастотные электромагнитные сигналы, которые отражаются от границ поверхностей с различными геофизическими свойствами, что в результате позволяет воссоздать модель исследуемого объекта и изучить его строение.

Данный георадар может быть незаменим в градостроительстве и может помочь детально исследовать местность перед началом изыскательных работ.

Назначение Георадар – это прибор подповерхностного зондирования, характеризующийся особой точностью исследований. Компактность и мобильность георадара позволяет проводить обследования даже в условиях плотной застройки, а импульсы, производимые прибором, дают возможность получить сведения о состоянии почвы на глубину нескольких метров. Используется для:

– обнаружения подземных инженерных сетей и коммуникаций, археологических объектов;

– за деформациями различных сооружений, к примеру, автомобильных дорог;

– для территорий с плотной городской застройкой, а также большим транспортным потоком.

– георадара обнаруживают места бытовых отходов;

– исследуют участок перед выполнением строительных работ;

– определяет трубопровод и места расположения врезки труб, телефонных кабелей, коллекторов;

– обследования строительных конструкций;

– определить глубину расположения коммуникаций и арматуры;

– исследовать на наличие разрушений и дефектов, например: трещин, пустот;

– для бетонных конструкций определить толщину и состояние защитного слоя, сделать оценку фундаментов; изучить грунты под покрытием дорог и мостов.

– устранение дефектов возможно с сохранением асфальта на всей поверхности мостовых конструкций (рис. 1).

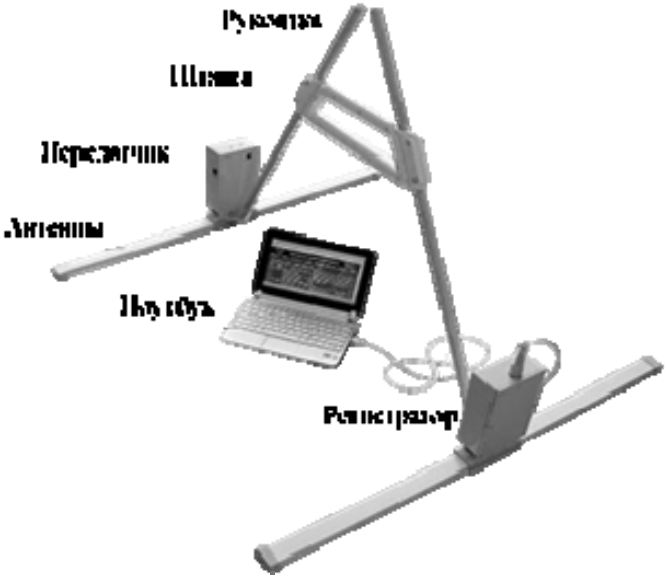


Рис. 1. Общий вид георадара «ЛОЗА» со среднечастотными антеннами

Таблица 1

Основные характеристики георадара «ЛОЗА»

Георадар	**Лоза-В**			**Лоза-Н**		
Частота (МГц)	50 : 300 МГц			1 : 50 МГц		
Антенны	Длина (cm)	Частота (МГц)	Глубина (m)	Длина (cm)	Частота (МГц)	Глубина (m)
	30	300	Up to 1	15	10	400
	100	200	6 : 8	10	15	300 : 250
	150	100	10 : 25	6	25	100 : 150
	300	50	30 : 40	3	50	20 : 40
Трансмиттер	5 KV			10 or 21 KV		

Применения георадара «Лоза» в области водоотведения и канализации

Все задачи, решаемые с помощью георадара, могут быть разделены на две большие группы с характерными для каждой группы методиками исследований, способами обработки, типами отражения объектов исследования в поле электромагнитных волн и представлениями результата.

Геологические и гидрогеологические задачи:

- картирование геологических структур – восстановление геометрии относительно протяжённых границ, поверхности коренных пород под рыхлыми осадками, уровня грунтовых вод, границ между слоями с различной степенью водонасыщения, поиск месторождений строительных материалов;
- определение свойств различных отложений по скорости распространения электромагнитных волн, опираясь на связь этих свойств с диэлектрической проницаемостью пород;
- определение толщины ледяного покрова;
- определение мощности водного слоя и картирование поддонных отложений;
- определение мощности зоны сезонного промерзания, оконтуривание областей вечной мерзлоты, таликов.

Поиск локальных объектов, обследование инженерных сооружений, нарушения штатной ситуации:

- трубопроводов;
- кабелей;
- участков разреза с нарушенным естественным залеганием грунта – рекультивированных земель, засыпанных выемок;
- погребенных отходов и захоронений;
- подземных выработок, подвалов, карстовых и суффозионных провалов;
- границ распространения углеводородных загрязнений;
- поиск скрытых нарушений в станах наземных сооружений, шахт, тоннелей, в опорах и перекрытиях;
- поиск нарушений, возникших в процессе строительства или в процессе эксплуатации в конструкции автомобильных и железных дорог, взлётно-посадочных полос аэродромов и т.д.

Изыскания и проектирование водоснабжения и канализации сетей:

- изыскания грунтово-гидрогеологических условий в полосе варьирования трассы;
- определение положения грунтовых вод;
- оценка глубины и очертания дна водоёма в месте будущего мостового систем водоснабжения и канализации;
- определения места расположения и размеров инженерных коммуникаций;
- контроль качества при строительстве, реконструкции и ремонта систем водоснабжения и канализации.

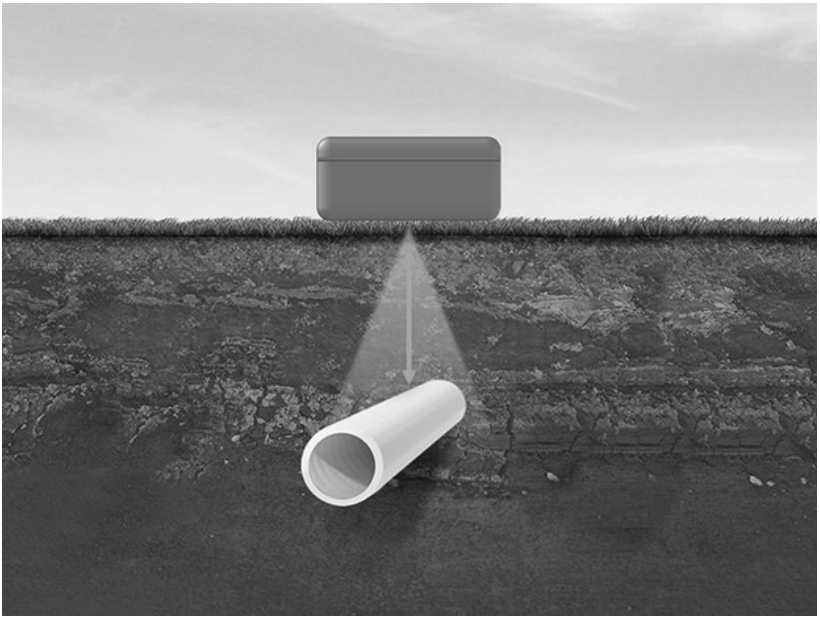


Рис. 2. Метод георадара

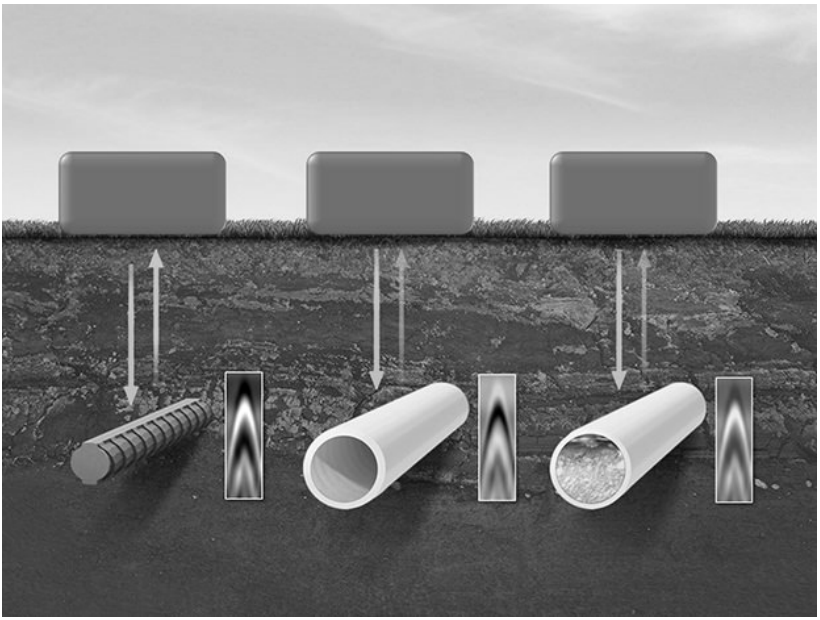


Рис. 3. Продольный профиль внутриплощадочных и внеплощадочных сетей водоснабжения и канализации

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- приведенный информационный базис технико-технологических и организационных показателей впервые позволил обосновать технологическую осуществимость, организационную обеспеченность и экономическую эффективность реализации проектных решений при применении георадара Лоза;
- изучив количественные и качественные характеристики георадара, установили, что он является одним из важных современных инструментов и методов применения в области водоотведения и канализации сетей.

Библиографический список

1. A.P. Abramov, A.G. Vasiliev, V.V. Kopeikin, P.A. Morozov. Underwater Ground Penetrating Radar in Archeological Investigation below Sea Bottom. Proc. of the Tenth International Conference on GPR. V.2, PP. 455-458, 21-24 June 2004, Delft, The Nethrlands.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВОЙ ФРАКЦИИ ИЗ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАННОГО АКТИВНОГО ИЛА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В.Ф. Бабкин, д.т.н., проф., зав. каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения; **В.Н. Яценко,** канд. химико-биологических наук, доц. кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения; **Е.А. Завалина**, старший преподаватель кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет" (ВГТУ), г. Воронеж

Избыточный активный ил (совокупность различных микроорганизмов), удаляемый с очистных сооружений, блока биологической очистки может быть использован в сельском хозяйстве как органическое удобрение, а также как биодобавка в корма сельхозживотным и птице. Но в процессе очистки сточных вод микроорганизмы активного ила накапливают внутри клетки различные патогенные элементы, содержащиеся в сточных водах. К таким элементам можно отнести соли тяжелых металлов, что не позволяет использовать активный ил без предварительной обработки для нужд сельского хозяйства. Существует целый ряд методов обработки избыточного активного ила с целью удаления из его состава различных вредных веществ. Так [1] был использован деструктивный метод ультразвуковой обработки активного ила.

Были произведены работы по переработке активного ила с содержанием тяжелых металлов, смешивая его с природными минералами кальция (малорастворимыми), а далее производилось перемешивание разделение образовавшихся фаз [2]. Существует целый ряд других исследований, связанных с извлечением тяжелых металлов из отработанного активного ила очистных сооружений, но все эти методы довольно затратные как с точки зрения экономики, так и временных параметров. Все эти методы имеют недостаточную эффективность.

До недавнего времени существовали три основных способа извлечения ионов тяжелых металлов из осадков. К таким способам относятся: 1 – ионообменный; 2 – термический; 3 – химическое выщелачивание, с помощью концентрированных кислот и щелочей [3-6].

Все перечисленные способы не приводят к полной извлекаемости солей тяжелых металлов из отработанного активного ила, а это значит, что этот ил не может быть использован как органическое удобрение в сельском хозяйстве. Как известно, активный ил это совокупность различных микроорганизмов, которые в процессе своей жизнедеятельности используют различные органические вещества, содержащиеся в сточных водах. В процессе такой жизнедеятельности они поглощают соли тяжелых металлов, которые накапливаются во внутримикробной области организма.

Для извлечения этих солей необходимо вывести их из внутримикробного пространства микроорганизмов активного ила. В этом случае образуется белковая оболочка, которая может быть использована в качестве органического удобрения, а также в виде подкорма различным сельхозживотным.

Нами был предложен ультразвуковой метод разрушения клеток микроорганизмов активного ила, с целью удаления из внутриклеточного пространства солей тяжелых металлов и других вредных включений.

Исследования производились как в статических, так и в динамических условиях. Использовалась ультразвуковая установка с интенсивностью ультразвукового воздействия в диапазоне 2-10 Вт/см^2. Время обработки образцов составляло от 30 секунд до 10 минут. По нашим данным в результате такой обработки деструкции подвергалось порядка 30% обрабатываемого активного ила. Интересным является тот факт, что процент деструктируемого ила зависит от степени зрелости его. Чем дольше созревал активный ил, тем меньше количество микроорганизмов подвергалось распаду.

Этот факт наводил на мысль, что обработку активного ила необходимо проводить сразу после удаления его из блока биологической очистки.

Далее возникала задача отделения разрушенных фрагментов активного ила от оставшейся после обработки основной его массы. Это осуществлялось потому, что из внутриклеточного пространства микроорганизмов удалялись соли тяжелых металлов и другие вредные примеси, а обрывки оболочки микроорганизмов, состоящие в основном из белковой фракции, могли быть использованы как удобрение и биодобавки в корма сельхозживотным и птице. Схема установки приведена на рис. 1.

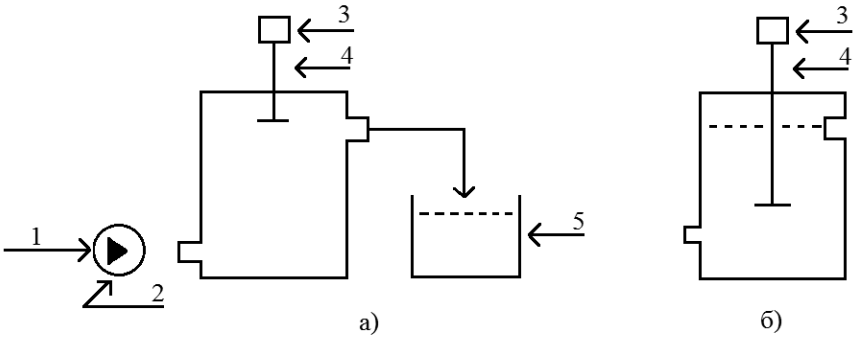


Рис. 1. Схема установки для ультразвуковой обработки отработанного активного ила:
а – для динамических условий; б – для статических условий;
1 – подводящий трубопровод; 2 – подающий насос; 3 – ультразвуковая установка;
4 – излучатель; 5 – приемная емкость

После такой обработки, как уже указывалось, не все микроорганизмы активного ила подвергались разрушению. Поэтому перед нами стояла задача разделения полученных фракций (разрушенных клеток активного ила и тех, которые не подвергались деструкции) на две группы. С этой целью

нами была собрана установка используемая для разложения этих двух фракций, позволяющая определить разрушенные клетки микроорганизмов активного ила, от тех, которые не подвергались разрушению. Схема установки представлена на рис. 2.

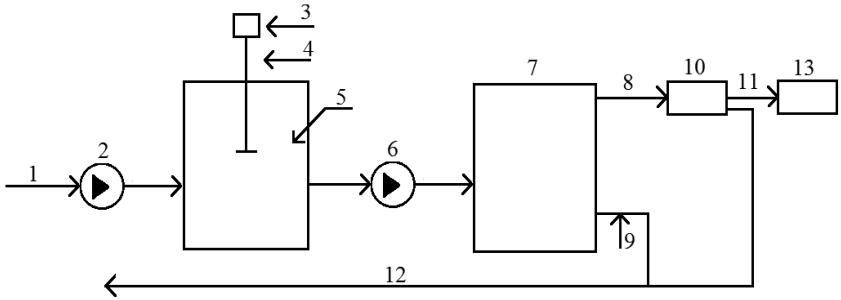


Рис. 2. Общая блок-схема получения белковых фрагментов из отработанного активного ила очистных сооружений:
1, 8, 9, 11, 12 – трубопроводы; 3 – ультразвуковая установка; 4 – излучатель; 5 – контактный резервуар; 2, 6 – насос; 7 – электрофлотатор; 10 – шнековый дегидратор; 13 – приемный контейнер

По трубопроводу 1 активный ил из аэротенков блока биологической очистки очистных сооружений с помощью подающего насоса 2 направляется в контактный резервуар 5. В резервуаре смонтирован ультразвуковой излучатель 4 излучающий ультразвуковые волны определенной частоты, которая задается ультразвуковым генератором 3. В контактном резервуаре происходит разрушение клеток микроорганизмов, что приводит к выводу из них как солей тяжелых металлов, так и других вредных примесей.

Но как уже отмечалось, деструкции подвергаются порядка 30% микроорганизмов. Далее стояла задача разделения на фракции разрушенных и оставшихся не разрушенных микроорганизмов активного ила.

Данный метод основан на том факте, что живые клетки активного ила обладают электрокинетическим потенциалом, что затрудняет процесс их коагуляции. В отличии от живых клеток белковая оболочка разрушенных ультразвуком клеток, обладает значительно меньшим электрокинетическим потенциалом, в идеальном случае он равен нулю. А это дает возможность разделить эти две фракции. Для предотвращения влияния гидроксидов на стандартные коагулянты (соли алюминия, соли железа) загрязнение извлекаемой массы белков этими компонентами недопустимо. Поскольку размеры клеток весьма малы (так размер одноклеточной микроводоросли Хлорелла составляет 8-10 мкм, зависящее от возраста клетки), то наиболее приемлемым способом извлечения частиц таких размеров является метод электрофлотации, в котором размер пузырьков электролитического водорода соответствует размеру клеток. Причем при электрофлотации происхо-

дит дополнительное обеззараживание системы от патогенных бактерий, гельминтов благодаря выделению на аноде атомарного кислорода.

После контактного резервуара иловая масса, включающая в себя как разрушенные, так и живые клетки активного ила с помощью насоса 6 подается в электрофлотатор 7, где под давлением газов, выделяющихся при электролизе воды происходит разделение скоагулярованных белковых оболочек от живых клеток активного ила. Для ускорения процесса коагуляции белковых оболочек мы добаляем флокулянты. В качестве флокулянта можно применять высокомолекулярные флокулянты типа престол катионного типа, а коагулянтами могут служить соли алюминия или железа.

На поверхности электрофлотатора образуется слой пены включающий в себя белковые фрагменты разрушенных клеток микроорганизмов. Пена с белковой фракцией из электрофлотатора удаляется по трубопроводу 8, направляясь в шнековый дегидратор 10, где происходит частичное обезвоживание. Влажность полученной белковой фракции доводится до 65-80%. Образовавшийся кек по транспортеру 11 выгружается в приемный контейнер 13 и отправляется на складирование. Та часть воды, которая прошла через электрофлотатор и содержащая в своем составе живые, не разрушенные микроорганизмы активного ила по трубопроводу 9, а так же фугат из шнекового дегидратора 10, по трубопроводу 12 подается в голову очистных сооружений.

Таким образом проведенные нами экспериментальные работы показывают методику получения чистой белковой фракции после соответствующей обработки исходного отработанного активного ила блока биологической очистки очистных сооружений. Полученные результаты позволяют получить чистую белковую фракцию из микроорганизмов. Она может быть использована как удобрение для производства сельскохозяйственных культур, а так же в оптимальных дозах, как кормовая добавка для сельхозживотных и птицы [7].

Библиографический список

1. Ахмадуллина Ф.Ю. Деструкционные процессы при ультразвуковой обработке активного ила / Ф.Ю. Ахмадуллина, Р.К. Закиров, С.Т. Минзанова, А.С. Сироткин // Башкирский химический журнал. 2009. Т. 16, № 3. С. 92-97.

2. Патент РФ на изобретение № 2133231, C02F11/14, Бюл. № 20, 20.07.99 г.

3. Панов, В.П. Извлечение тяжелых металлов из избыточного активного ила при аэрации / В.П. Панов, И.В. Зыкова // Журнал прикладной химии. – 2005. – Вып. 4. – С. 608 – 612.

4. Зыкова, И.В. Статика адсорбции ионов кобальта из водных сред керамической крошкой / И.В. Зыкова, В.П. Панов, И.В. Лысенко // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2004. – Т. 47. № 7. – С. 22 – 25.

5. Зыкова, И.В. Извлечение тяжелых металлов из активного ила [Текст] / И.В. Зыкова, В.П. Панов, Е.А. Петухова, А.Р. Дадаева // Экология и промышленность России. – 2004. – ноябрь. – С. 34 – 35.

6. Зыкова, И.В. Обезвреживание от тяжелых металлов и утилизация избыточного активных илов БОС в глобализующемся мире / И.В. Зыкова, В.П. Панов // Региональная экология. – 2007. - № 1 – 2. – С. 269 – 288.

7. Яценко В.Н., Бабкин В.Ф., Евсеев Е.П., Захаров П.Д. : Способ получения органических (белковых) удобрений из отработанного активного ила очистных сооружений. - Воронеж, Воронежский государственный технический университет. Патент РФ на изобретение №2674071, 04.12.2018 г.

ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА БИОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

П.М. Гудинович, ведущий инженер-технолог УП «Полимерконструкция», г. Витебск, Республика Беларусь

Введение

В более чем 70% эксплуатируемых подземных источниках вода не соответствует требованиям, предъявляемым к воде питьевого качества по содержанию железа концентрации, которого колеблются от 0,4 мг/л до 6 мг/л и более. Не редко на водозаборах встречается и превышение предельно допустимых концентраций по марганцу, содержание которого может достигать до 0,4 мг/л. В северных регионах Российской Федерации часто встречаются воды с содержанием железа более 10 мг/л и марганца более 1 мг/л. Повышенные концентрации железа и марганца негативно влияют не только на здоровье человека, но и на эксплуатацию сетей водоснабжения, водогрейного оборудования, бытовой техники и пр.

Наиболее распространёнными методами обезжелезивания и деманганации являются упрощенная аэрация, применение специализированных каталитических загрузок, применение окислителей (гипохлорит, перманганат калия, озон), мембранный и ионообменный метод [1]. На фоне выше перечисленных методов перспективно выделяется биологический метод.

Биологический метод

Многими учеными при исследованиях аэрационных методов обезжелезивания подземных вод выявлялось существенное влияние на их эффективность стихийно развивающихся биологических процессов. В толще и на поверхности фильтрующих загрузок образовались скопления железобактерий, которые проявляли каталитический эффект и способствовали интенсификации процесса обезжелезивания [2].

Неоднократно проводились исследования в этой области, анализ отложений промывной воды показывал, что в них получило массовое развитие железобактерий, преимущественно рода Leptothrix, а также и другие представители, такие как Grenothrix и Arthrobacter (рис. 1). Степень развития различных видов железобактерий и механизмы окисления железа и марганца напрямую зависит от состава обрабатываемой воды и условиями технологических процессов.

Данные ряда исследований и опыт эксплуатации станций обезжелезивания показывает, что скорость и эффективность биологического окисления железа при правильной организации технологического процесса значительно превышают эти показатели химических процессов.

В сравнении с физико-химическим удалением железа и марганца выявлены следующие преимущества [3-5]:

– быстрое протекание реакций окисления железа и марганца;

– для окисления не требуется никаких реагентов таких как хлор, озон, перманганат калия, реагенты для корректировки pH;

Рис. 1. Микрофотография железобактерий.

– окисленное железо и марганец задерживается в более компактной форме в сравнении с физико-химическими окислами, что более чем в 5 раз увеличивает грязеемкость фильтра;

– высокая скорость фильтрации. По данным из источника [3] скорость фильтрации при обезжелезивании может достигать 40-50 м/ч и 30-40 м/ч при удалении марганца;

– низкие затраты воды на собственные нужды;

– упрощенная обработка осадка. Высококонцентрированные воды хорошо сгущаются и обезвоживаются.

Железобактерии способны окислять и концентрировать железо и марганец при условиях, когда их химическое окисление невозможно. Скорость биологических процессов окисления железа и, особенно, марганца, во много раз превышает химическое окисление.

Активная реакция воды не оказывает существенного влияния на развитие железобактерий в широком диапазоне pH (от слабокислой до слабощелочной).

Большинство железобактерий активно развиваются при температуре 4-8 °С. Наблюдается активный рост и при температуре 1-3 °С.

Биологический метод, лишен недостатков, которые сопровождают вышеперечисленные методы. Имеет высокую эффективность и самые низкие эксплуатационные затраты.

В областях активности железо и марганец окисляющих бактерий на диаграмме Пурбе (рис. 2) можно увидеть значительно более широкие зоны окисления этих элементов в сравнении с физико-химическим окислением. В зоне физико-химического окисления железа и марганца биологические процессы могут быть преобладающими.

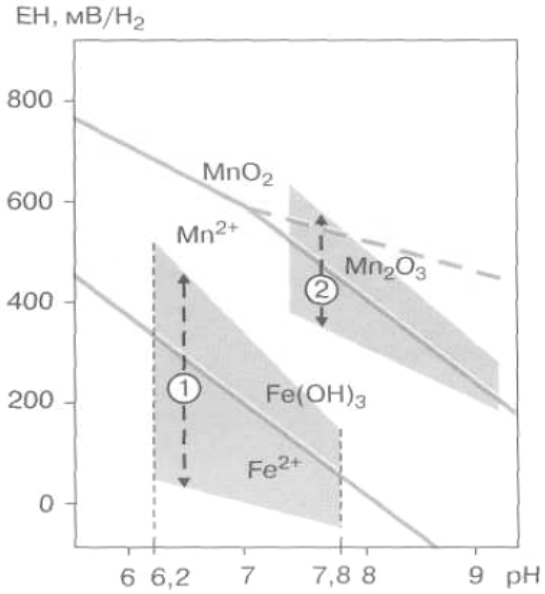


Рис. 2. Диаграмма стабильности железа и марганца и соответствующие области активности бактерий железа (1) и марганца (2)

Конструктивно биологический метод обезжелезивания и деманганации может быть исполнен в открытых скорых фильтрах из железобетона, фильтрах из полимерных материалов и стали, в напорном и безнапорном исполнении. В одну или две ступени.

Особое внимание при реализации биологического метода удаления железа и марганца необходимо уделять аэрационно-дегазационным процессам и промывке фильтрующих материалов.

Впервые на территории СНГ биологический метод был реализован в Беларуси в г. Новополоцке в 1991 г. Производительность станции водоподготовки 40000 $м^3$/сут, при содержании железа в исходной воде 5-6 мг/л в очищенной стабильно не более 0,2 мг/л. Так же на сегодняшний день разрабатывает и широко применяет биологический метод предприятие УП «Полимерконструкция», которая успешно реализовала уже несколько сотен объектов на территории Беларуси и России [5].

На данный момент завод водоочистного оборудования УП «Полимерконструкция» реализует установки водоподготовки в напорном исполнении на базе фильтров «Кристалл-Н» [5]. Фильтры изготавливаются из металла с антикоррозионной обработкой. В качестве фильтрующего материала используется кварцевый песок фр. 1-2 мм. Так же применяется оригинальная система аэрации за счет эжекторов, обеспечивающая интенсивную аэрацию и равномерное распределение исходной воды по всем фильтрам независимо от фильтроцикла и потерь напора на фильтрующей загрузке. Компоновочные решения с напорными фильтрами позволяют производить станции полной заводской готовности в контейнерном исполнении.

Так же широкое распространение при реализации биологического метода обезжелезивания и деманганации получили безнапорные станции водоподготовки «Кристалл-Б» [5]. Все конструктивные элементы станции выполняются из полимерных материалов с отдельными элементами из нержавеющей стали. В качестве фильтрующих материалов применяются полимерная иммобилизующая загрузка с высокой развитой поверхностью и вспененный полистирол. Низкое требуемое давление перед станцией, отсутствие промывных и повысительных насосов, безреагентный аэрационный метод, а также полная автоматизация технологических процессов обеспечивают уникально низкое удельное энергопотребление (0,005-0,01 кВт*час/м^3) и минимальные эксплуатационные затраты.

На данный момент одним из наиболее перспективных методов очистки воды из подземных источников от железа и марганца является биологический.

Данный метод безреагентный, является природным, не производящим токсичных веществ и опасных микроорганизмов, обладает крайне низкими эксплуатационными затратами и может быть использован при обработке сложных по составу вод, в том числе и при одновременном удалении железа и марганца.

Библиографический список

1. Лекомцев В. Р. Обзор основных методов обезжелезивания воды // Молодой ученый. 2017. №29. С. 17-20.

2. Седлухо Ю.П. и др. Очистки сложных многокомпонентных вод биохимическими методами // Вода Magazine - 2014, № 6 (82).

3. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т.- СПб.: Новый журнал. 2007г.

4. Седлуха С.П., Софинская О.С. Биологический метод очистки подземных вод от железа // Вода и экология: проблемы и решения. - 2001. №1 - С.13-21.

5. Биологическая очистка подземных вод от железа, марганца и сероводорода – опыт Беларуси [Электронный ресурс] / УП «Полимерконструкция». – Режим доступа: https://polymercon.com/publications/survey/biologicheskaya-ochistka-podzemnykh-vod-ot-zheleza-margantsa-i-serovodoroda-opyt-belarusi. Дата доступа: 12.10.2019.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ АНАММОКС-РЕАКТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

И.А. Гульшин, преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

Низкокислородные технологии глубокой биологической очистки сточных вод рассматриваются в настоящее время как одно из наиболее перспективных направлений исследований, направленных на снижение энергопотребления при очистке сточных вод. Действительно, большая часть эксплуатационных затрат городских очистных сооружений складывается именно из затрат на работу воздуходувного оборудования [1], и снижение этих затрат должно достигаться как за счет оптимизации воздуходувного оборудования, так и благодаря внедрению новых технологий биологической очистки.

Одна из интенсивно развивающихся групп таких технологий – это технологии на основе использования анаммокс-бактерий в составе активного ила. Анаммокс-бактерии (от «anammox» – anaerobic ammonium oxidation) – микроорганизмы, открытые в конце XX века, относящиеся к анаэробным хемолитоавтотрофам. В качестве энергетических субстратов используется аммоний и нитрит, в качестве источника углерода используется бикарбонат. Аммоний – донор электронов, нитрит – акцептор электронов. Таким образом, аммоний окисляется нитритом [2].

Процесс анаммокс – многоступенчатый, состоит из трех этапов:

– восстановление нитрита при участии нитритредуктазы до окиси азота $NO_2 + 2H + e = NO + H_2O$;

– взаимодействие окиси азота с аммонием с образованием гидразина $NO + NH_4 + 2H + 3e = N_2H_4 + H_2O$. Действующий фермент – гидразингидролаза;

– окисление гидразина до молекулярного азота под действием гидразинокисляющего фермента с высокой аффинностью к субстрату $N_2H_4 = N_2 + 4e$;

В анаммокс-процессе всегда образуется некоторое количество нитратов при фиксации углекислоты по пути Вуда-Льюнгдала:

$$NH_4 + 1{,}32NO_2 + 0{,}13H = 1{,}02N_2 + 0{,}26NO_3 + 0{,}066CH_2O_{0{,}5}N_{0{,}15} + 2{,}03H_2O$$

Отмечается, что некоторые анаммокс-бактерии способны к нитратредукции – превращение нитрата в нитрит. Анаммокс-бактерии – автотрофные микроорганизмы, способные фиксировать до 20 ммоль CO_2 на моль потребленного аммония, а также использовать бикарбонат. Скорость роста анаммокс-бактерий крайне медленное, время удвоения в лабораторных условиях составляет 11 суток. Лучшее достигнутое время удвоения составляет 3,3 суток.

Чистые культуры анаммокс-бактерий отсутствуют из-за сложности их культивирования. Поэтому большая их часть имеет в описании особый статус – Candidatus. Это временный таксон, который существуют до тех пор, пока не будет выделена чистая культура. Чтобы кандидат стал валидным, необходимо, чтобы он был включен в список “List of prokaryotic names with standing in the nomenclature (LPSN)”. Многие описанные виды анаммокс-бактерий не включены в этот список.

Процессы с анаммокс являются одними из перспективных направлений развития энергоэффективных технологий очистки городских сточных вод. В последнее десятилетие они успешно внедрены для очистки возвратных сточных вод (образующихся на станции после обработки осадка и активного ила). Но для очистки основного потока сточной воды они применялись редко. Основная задача в данном случае – достижение высокой степени удаления азота при гарантированном высоком качестве очищенной сточной воды и компактных размерах сооружений. И первостепенную значимость, в связи с этим, приобретает обеспечение стабильности анаммокс-процесса на длительном промежутке времени [3].

Основная проблема применения анаммокс-процессов для очистки основного потока сточной воды – это значительно более низкие температуры по сравнению с возвратными потоками (которые могут достигать 30 градусов по Цельсию). По факту экспериментальный градиент температуры от 20 до 10 градусов по Цельсию был предложен Гилбертом в 2014 году [4] для симуляции изменения температуры поступающих городских сточных вод в течение года для умеренного климата. Низкие температуры отмечались в качестве причины значительного падения эффективности активности анаммокс [5, 6, 7], несмотря на то, что отмечается, что бактерии анаммокс могут расти при температурах на уровне 4 градусов по Цельсию в естественных экосистемах (например, в морских осадках). Другая особенность работы с анаммокс-процессами при очистке основного потока – сниженная скорость роста биомассы, связанная с низким содержанием азота в поступающей сточной воде, что вызывает высокий вынос биомассы [8]. Для того, чтобы повысить концентрацию биомассы, необходимо обеспечить достаточный возраст ила. Таким образом, это стало основным узким местом для внедрения анаммокс-процесса для очистки основного потока сточных вод на городских очистных сооружениях с момента открытия соответствующих микроорганизмов. Однако некоторые последние исследования показали, что максимальная удельная скорость роста анаммокс-бактерий выше, чем предполагалось изначально [9, 10].

Довольно много исследований посвящено применению процесса анаммокс для условий основного потока, в том числе в одноступенчатых системах или двухступенчатых системах с выделением этапа частичной нитритации в отдельный от анаммокса биореактор. Изначально первые внедрения технологии для основного потока были сделаны с одностадийными реакторами по так называемому процессу PN/A – частичная нитритация/анаммокс. Лотти с коллегами [11] отмечал стабильную очистку синте-

тической сточной воды при 15 градусах по Цельсию, но дестабилизация процесса происходила уже при 10 градусах Цельсия. Сходимые результаты были получены Гилбертом в 2015 году [12], которые сравнивали различные конфигурации одноступенчатого PN/A процесса. К сожалению, в данном случае дестабилизация процесса произошла при температурах ниже 13 градусов Цельсия. В случае с одноступенчатыми процессами PN/A для реальных городских сточных вод лучшие результаты были получены Лаурени в 2016 году [13], подтвердив активность анаммокс процесса при температурах на уровне 11 градусов Цельсия. С другой стороны, предыдущие исследования показали, что стабильная частичная нитритация возможна в условиях очистки основного потока городских сточных вод [14, 15], и, таким образом, двухстадийная система является хорошей альтернативой для внедрения анаммокс-процесса на основной линии городских очистных сооружений. В связи с этим некоторые исследования показали стабильную эксплуатацию единых анаммокс-реакторов (работающих на субстрате из смеси аммония и нитритов, при условии, что реактор частичной нитритации поддерживает стабильную частичную нитритацию [16]), осуществляющих очистку городских сточных вод при низких температурах. Однако эти исследования показали достаточно низкие скорости удаления азота, которые влекут за собой слишком большие объемы биореакторов [17-20].

Задачей исследования, выполняемого в НИУ МГСУ, является разработка и оценка эффективности технологической и конструктивной схемы работы биореакторов с анаммокс-процессом для работы в низких температурах с низкоконцентрированными по азоту сточными водами.

Для осуществления процесса разрабатывается двухступенчатая конструкция биореактора, позволяющая проводить процессы нитритации и анаммокс в едином корпусе (в едином объеме сооружения) с созданием отдельных макрозон. Реактор работает в режиме вертикальной подачи жидкости (типичная схема UP-Flow). Для создания зоны анаммокс в реакторе размещаются кассеты с двумя видами загрузки для биомассы, объемной и плоскостной, для поддержания анаммокс-бактерий в двух состояниях – прикреплённом и в виде гранул.

Внутри реактора потоки сточной воды и биомассы распределяются по зонам при помощи перистальтических насосов, позволяющих обеспечить подачу жидкости с точным требуемым соотношением нитритов и аммонийного азота. Удаление органических веществ обеспечивается на стадии нитритации, что сокращает риск возникновения конкуренции анаммокс-бактерий и гетеротрофных денитрификаторов за нитриты.

План эксперимента подразумевает исследование работы конструкции при различных температурах сточной воды (до 4 градусов по Цельсию), что достигается за счет внешних охлаждающих элементов. $БПК_5$ поступающих на очистку сточных вод будет находиться на уровне 110 $мгO_2/дм^3$, что характерно для сточных вод Российской Федерации, при это концентрации аммонийного азота – на уровне 30 $мг/дм^3$. В процессе работы реактора будут исследоваться: эффективность очистки сточных вод по органи-

ческим загрязнениям и азоту, активность гетерогенных микроорганизмов по методу Данепа-Мора, скорость удаления азота, относительное количество анаммокс-бактерий (методами молекулярной биологии). Изначально реактор запущен на инокулирующем активном иле с содержанием вида Candidatus Anammoxomicrobium moscowii (невалидный вид), отобранном с экспериментальных очистных сооружений АО «Мосводоканал» [21, 22]. В настоящее время ведется накопление необходимого количества биомассы для запуска биореактора в рабочем режиме.

По результатам исследования предполагается получения эффективности очистки сточных вод по азоту до 95% при температурах на уровне 18 градусов по Цельсию при интенсивности аэрации и общем расходе воздуха гораздо более низкими, чем при традиционных технологиях денитри-нитрификации.

Библиографический список

1. Березин С.Е., Баженов В.И. Воздуходувные станции с регулируемыми центробежными компрессорами: на что обратить внимание? // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2019. – №. 10. – С. 58-68.

2. Бочкова Е.А. Микробиологическая и молекулярно-биологическая характеристика микробного анаммокс-сообщества лабораторного up-flow реактора : дис. – Диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук. Москва, 2016. 181 с.

3. Reino C., Suárez-Ojeda M. E., Pérez J., Carrera J. Stable long-term operation of an upflow anammox sludge bed reactor at mainstream conditions // Water research. – 2018. – Т. 128. – С. 331-340.

4. Gilbert E. M., Agrawal S., Karst S. M., Horn H., Nielsen P. H., Lackner S. Low temperature partial nitritation/anammox in a moving bed biofilm reactor treating low strength wastewater // Environmental science & technology. – 2014. – Т. 48. – №. 15. – С. 8784-8792.

5. Dapena-Mora A. et al. Evaluation of activity and inhibition effects on Anammox process by batch tests based on the nitrogen gas production //Enzyme and microbial technology. – 2007. – Т. 40. – №. 4. – С. 859-865.

6. Hoekstra M. et al. Deterioration of the anammox process at decreasing temperatures and long SRTs // Environmental technology. – 2018. – Т. 39. – №. 5. – С. 658-668.

7. Hu Z. et al. Nitrogen removal by a nitritation-anammox bioreactor at low temperature // Appl. Environ. Microbiol. – 2013. – Т. 79. – №. 8. – С. 2807-2812.

8. Isanta E. et al. Stable partial nitritation for low-strength wastewater at low temperature in an aerobic granular reactor // Water research. – 2015. – Т. 80. – С. 149-158.

9. Lotti T. et al. Faster through training: the anammox case // Water research. – 2015. – Т. 81. – С. 261-268.

10. Lotti T., Kleerebezem R., Van Loosdrecht M. C. M. Effect of temperature change on anammox activity // Biotechnology and bioengineering. – 2015. – Т. 112. – №. 1. – С. 98-103.

11. Lotti T. et al. Anammox growth on pretreated municipal wastewater // Environmental science & technology. – 2014. – Т. 48. – №. 14. – С. 7874-7880.

12. Gilbert E. M. et al. Comparing different reactor configurations for partial nitritation/anammox at low temperatures // Water research. – 2015. – Т. 81. – С. 92-100.

13. Laureni M. et al. Mainstream partial nitritation and anammox: long-term process stability and effluent quality at low temperatures // Water Research. – 2016. – Т. 101. – С. 628-639.

14. Gilbert E. M., Agrawal S., Karst S. M., Horn H., Nielsen P. H., Lackner S. Low temperature partial nitritation/anammox in a moving bed biofilm reactor treating low strength wastewater // Environmental science & technology. – 2014. – Т. 48. – №. 15. – С. 8784-8792.

15. Reino C. et al. Kinetic and microbiological characterization of aerobic granules performing partial nitritation of a low-strength wastewater at 10° C // Water research. – 2016. – Т. 101. – С. 147-156.

16. Pérez J., Isanta E., Carrera J. Would a two-stage N-removal be a suitable technology to implement at full scale the use of anammox for sewage treatment? // Water Science and Technology. – 2015. – Т. 72. – №. 6. – С. 858-864.

17. Hendrickx T. L. G. et al. High specific activity for anammox bacteria enriched from activated sludge at 10 C // Bioresource technology. – 2014. – Т. 163. – С. 214-221.

18. Laureni M. et al. Activity and growth of anammox biomass on aerobically pre-treated municipal wastewater // Water research. – 2015. – Т. 80. – С. 325-336.

19. Lotti T. et al. Simultaneous partial nitritation and anammox at low temperature with granular sludge // Water research. – 2014. – Т. 66. – С. 111-121.

20. Ma B. et al. Performance of anammox UASB reactor treating low strength wastewater under moderate and low temperatures // Bioresource technology. – 2013. – Т. 129. – С. 606-611.

21. Козлов М.Н., Кевбрина М.В., Николаев Ю.А., Дорофеев А.Г., Грачев В.А., Казакова Е.А., Асеева В.Г., Жарков А.В. Однореакторная технология удаления азота из сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2014. – № 5. – С. 53-60.

22. Храменков С.В., Козлов М.Н., Кевбрина М.В., Дорофеев А.Г., Казакова Е.А., Грачев В.А., Кузнецов Б.Б., Поляков Д.Ю., Николаев Ю.А. Новая бактерия, осуществляющая анаэробное окисление аммония в реакторе биологической очистки фильтрата сброженного осадка сточных вод // Микробиология. – 2013. – № 5. – Т. 82. – С. 625-634.

ПРИМЕНЕНИЕ «АБСОЛЮТНО НАДЁЖНЫХ КАМЕР» ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

А.К. Клочко, к.т.н., доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **А.А. Локтева,** студентка 4-го курса 15 группы института ИИЭСМ, НИУ МГСУ, г. Москва

Данная работа выполнена в рамках мероприятий Российской Энергетической Недели (РЭН).

В данной работе мы будем рассматривать газораспределительную сеть в качестве показательной, однако все сказанное о газораспределительной сети будет относиться к тепловым сетям и водопроводным сетям.

Под надежностью распределительных систем часто понимают способность транспортировать среду в необходимом количестве с соблюдением заданных параметров при нормальных условиях эксплуатации в течении определенного периода времени [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Надежность газораспределительной сети численно может быть охарактеризована количественным показателем - показателем надежности газораспределительной сети. Вероятность выхода из строя как элемента сети, так и сети в целом носит случайный характер и может быть описана используя элементы теории вероятности. При этом необходимо учитывать, что происхождение аварии на различных элементах системы наносит различный относительный ущерб всей системе в целом.

Показатель надежности газораспределительной сети определяется в соответствии с рекомендациями, предложенными методикой [2]:

$$R_{сист}(t) = 1 - \left(1 - e^{-\sum \omega_i t}\right)\left(\sum_{pipe} \frac{\Delta Q_j \omega_i}{Q_0 \sum \omega_i} + \sum_{задв} \frac{\Delta Q_j \omega_з}{Q_0 \sum \omega_i}\right) \qquad (1)$$

где ω_i – параметр потока отказов для участка сети, 1/год; $\omega_з$ – параметр потока отказов для запорной арматуры, 1/год; t – расчетный период времени для определения показателя надежности системы, год; ΔQ_j – недополученные объемы газа потребителями, м^3/час; Q_0 – общий расход газа в сети, м^3/час.

Как видно из уравнения (1) показатель надежности газораспределительной сети в целом зависит от параметра потока отказов ее элементов (участки сети и запорная арматура). При этом если при определении показателя надежности под элементом системы понимать часть системы способную выйти из строя, при этом, не выводя из строя другие элементы системы можно преобразовать уравнение (1) к следующему виду [7, 8]:

$$R_{сист} = 1 - \left(1 - \frac{1}{e^{t\sum \omega_i}}\right)\frac{\sum\left(\Delta Q_j \omega_j\right)}{Q_o \sum \omega_i} \qquad (2)$$

Данная форма записи позволяет при необходимости вводить дополнительные группы элементов (например, газорегуляторные пункты и т.д.), а также учитывать наличия в системе трубопроводом из разных материалов (полиэтилен или сталь и пр.) и задвижек разного тип (из чугуна или стали и пр.).

При расчёте показателя надёжности удобно использовать вспомогательную таблицу. Вид данной таблицы приведён в табл. 1.

Таблица 1

Таблица расчётов для элементов газораспределительной сети

№ элемента	Длина участка, м	Длина участка, км	$\omega_{уд}$, 1/(км·год)	ω_i, 1/год	ΔQ_j, м^3/ч	$\omega_i \Delta Q_j$, м^3/(ч·год)
1	2	3	4	5	6	7
участок	x	x	x	x	x	x
запорная арматура	-	-	-	x	x	x
$\sum$	-	-	-	x	-	x

Рассмотрим понятие «абсолютно надёжной камеры» (далее в тексте в ряде случаев будем применять аббревиатуру АНК) на примере рис. 1. Обратим внимание на то, что при выполнении сети кольцевой (однокольцевой и более), а также дублировании тупиковых ответвлений выход из строя любого элемента не влечёт появления «недоотпуска» транспортируемой среды в системе. Графическая интерпретация этого явления приведена рис. 2.

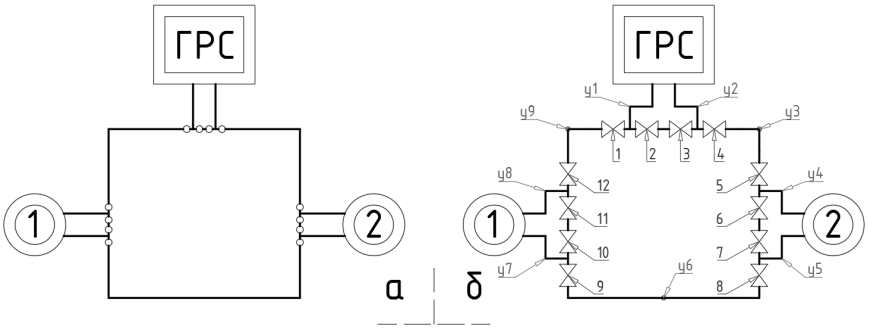


Рис. 1. Схема «абсолютно надёжной камеры»:
а – схема распределительной сети; б – схема распределительной сети с расставленными номерами участков и запорных устройств

В нашем случае в соответствии с (2) ввиду того, что не возникает ущерба системе в целом при происхождении аварии (ΔQ_j=0 м^3/ч), показатель надежности не зависит от отношения длины тупиковых участков к кольцевой его части и $R_{сист}$ всегда равен 1.

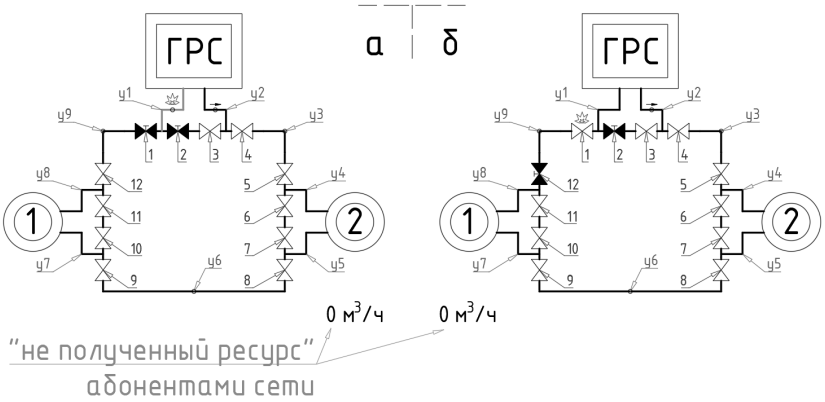


Рис. 2. Схема локализации места аварии при применении «абсолютно надёжных камер».
а – выход из строя участка «у1»; б – выход из строя запорного устройства «1»

Для схемы снабжения абонентов природным газом с применением АНК, изображенной на рис. 3, опираясь на формулу (2) и используя вспомогательную табл. 1 определим показатель надёжности.

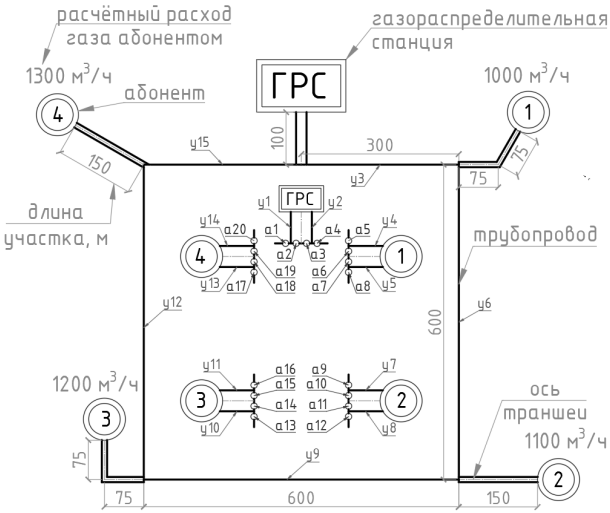


Рис. 3. Схема газораспределительной сети высокого давления

На рис. 3 отображены: конфигурация сети, номера участков, длины участков, номера запорной арматуры и места её размещения, также рядом с номером абонента записан расчетный расход газа в м^3/ч.

Данный вариант конфигурации сети (рис. 3) примем в качестве базового и с целью демонстрации алгоритма по определению показателя надежности выполним расчёт $R_{сист}$. Расчёт приведём в табл. 2. Приставки «у» – используется для обозначения участков сети, а приставка «а» – используется для обозначения запорной арматуры.

Таблица 2

Определение показателя надёжности газораспределительной сети

№ элемента	Длина участка, м	Длина участка, км	$\omega_{уд}$, 1/(км·год)	ω_i, 1/год	ΔQ_j, м^3/ч	$\omega_i \Delta Q_j$, м^3/(ч·год)
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
у1	100	0,1	0,005	0,0005	0	0
у2	100	0,1	0,005	0,0005	0	0
у3	300	0,3	0,005	0,0015	0	0
у4	150	0,15	0,005	0,00075	0	0
у5	150	0,15	0,005	0,00075	0	0
у6	600	0,6	0,005	0,003	0	0
у7	150	0,15	0,005	0,00075	0	0
у8	150	0,15	0,005	0,00075	0	0
у9	600	0,6	0,005	0,003	0	0
у10	150	0,15	0,005	0,00075	0	0
у11	150	0,15	0,005	0,00075	0	0
у12	600	0,6	0,005	0,003	0	0
у13	150	0,15	0,005	0,00075	0	0
у14	150	0,15	0,005	0,00075	0	0
у15	300	0,3	0,005	0,0015	0	0
а1	-	-	-	0,0005	0	0
а2	-	-	-	0,0005	0	0
а3	-	-	-	0,0005	0	0
а4	-	-	-	0,0005	0	0
а5	-	-	-	0,0005	0	0
а6	-	-	-	0,0005	0	0
а7	-	-	-	0,0005	0	0
а8	-	-	-	0,0005	0	0
а9	-	-	-	0,0005	0	0
а10	-	-	-	0,0005	0	0
а11	-	-	-	0,0005	0	0
а12	-	-	-	0,0005	0	0
а13	-	-	-	0,0005	0	0

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
a14	-	-	-	0,0005	0	0
a15	-	-	-	0,0005	0	0
a16	-	-	-	0,0005	0	0
a17	-	-	-	0,0005	0	0
a18	-	-	-	0,0005	0	0
a19	-	-	-	0,0005	0	0
a20	-	-	-	0,0005	0	0
∑	**-**	**-**	**-**	**0,029**	**-**	**0**

Используя уравнение (2) определим показатель надежности газораспределительной сети для расчётного срока равного 10 лет:

$$R_{сист} = 1 - \left(1 - \frac{1}{e^{t\sum\omega_i}}\right)\frac{\sum\left(\Delta Q_j \omega_j\right)}{Q_o \sum \omega_i} = 1 - \left(1 - \frac{1}{2,71^{10\cdot 0,029}}\right)\frac{0}{4600 \cdot 0,029} = 1$$

Далее выполним расчёты показателя надёжности для ещё 3 различных вариантов, отображенных на рис. 4. Кроме того, определим общую протяженности сетей и отношение длины тупиковых участков сети к длине кольцевой части сети. Обобщённые результаты расчётов сведем в табл. 3.

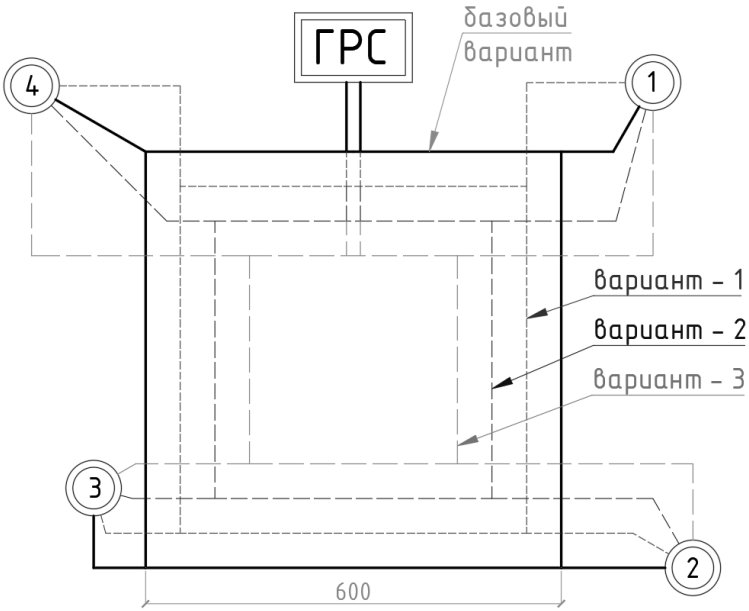


Рис. 4. Схемы распределительных сетей

Таблица 3

Обобщённые результаты расчетов схем распределительных сетей

Схема (вариант)	$R_{сист}$, %	$\sum L_i$, км	$L_т/L_к$, б/р
Базовый	100	3,80	0,583
1	100	4,22	1,111
2	100	4,19	1,621
3	100	5,01	3,178

Вывод

Применение «абсолютно надёжных камер» для распределительных сетей позволяет добиться обеспечения надёжного снабжения абонентов транспортируемой средой. Так же такая схема удобна тем, что нет необходимости на время проведения ремонтных работ сооружать байпас для элементов сети, достаточно последовательно производить замену трубопроводов на тупиковых ответвлениях сети.

Библиографический список

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года.

2. Ионин А.А. Газоснабжение. М.: Стройиздат, 1989. 439 с.

3. Жила В.А. Газоснабжение: учебник для студентов вузов по специальности "Теплогазоснабжение и вентиляция". М.:АСВ, 2014. 368 с.

4. Жила В.А., Гусарова Е.А., Гулюкин Д.М. Надежность газораспределительных систем. / Издательский дом "Наука образования". НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ. 2017. № 20. С. 38-44.

5. Жила В.А., Гусарова Е.А., Гулюкин Д.М. Способы повышения надёжности систем газораспределения в городском строительстве. / Общество с ограниченной ответственностью Журнал Инновации и инвестиции. ИННОВАЦИИ И ИНВЕСТИЦИИ. 2017. № 20. С. 139-142.

6. Лактюнькин А.В. Выбор степени кольцевания газораспределительной сети высокого давления для среднего населенного пункта: ВКР М., 2018 с 21.

7. Жила В.А., Маркевич Ю.Г. Газоснабжение города: задание и методические указания к выполнению курсового проекта для студентов специальности 270109 ТГВ. – М.: МГСУ, 2011. 47 с.

8. Klochko A., Zhila V. Determination of high-pressure pipeline cyclization degree with exploratory technique . // MATEC Web Conf. VI International Scientific Conference “Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education” (IPICSE-2018) 2018. Volume 251. No. 7336. p. 91-94. https://doi.org/10.1051/matecconf/201825103030

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЧИСТКЕ ДРЕНАЖНЫХ СТОКОВ

Ю.А. Коледенкова, ведущий инженер-технолог ООО «ЭЛИТА-ПЕТЕРБУРГ» (г. Санкт-Петербург), аспирант «Московский политехнический университет», г. Москва

В рамках реализации проекта в 2018 г по созданию очистных сооружений дренажных сточных вод, образующихся при строительстве, в Кингисеппском районе, Ленинградская области, компания «ЭЛИТА-ПЕТЕРБУРГ» успешно выполнила проект, поставку, монтаж, пусконаладку сооружений, а также осуществляла эксплуатацию объекта в течение 6 месяцев с последующей сдачей в эксплуатацию Управляющей компании объекта.

Дренажные стоки образуются на данном объекте при строительстве и бетонировании. Грунтовые и поверхностные воды со строительной площадки с помощью ассенизационных машин вывозятся на очистные сооружения, расположенные на производственно-эксплуатационной площадке. Очищенные воды насосной станцией выпускаются в реку Россонь.

На этапе инженерно-экологических изысканий был проанализирован состав водных вытяжек и получены превышения допустимых ПДК для сброса в рыбохозяйственный водоем для следующих элементов:

1. железо общее – в 460 раз;
2. алюминий – в 281 раз;
3. молибден – в 173 раза;
4. марганец – в 136 раз;
5. медь - в 39 раз;
6. цинк – в 11,40 раза;
7. аммоний – в 8,58 раза;
8. свинец – в 5,61 раза;
9. нефтепродукты – в 4,47 раза;
10. бериллий – в 3,33 раза;
11. фенолы – в 2,1 раза;
12. никель – в 2 раза;
13. кадмий – в 1,07 раза;
14. хром – в 1,03 раза.

Модульные очистные сооружения дренажных сточных вод БИОГАРД-ПРОМ-400-10-18.НМ включают в себя несколько последовательных стадий очистки, на основе следующих процессов:

1. Механическая очистка (сепаратор песка);
2. Физико-химическая очистка (напорный флотатор, дозирование реагентов, осветление);
3. Мембранная очистка (установка ультрафильтрации и обратный осмос);
4. Обеззараживание (УФ-лампа);
5. Обработка осадка (сбор осадка в биг бэг).

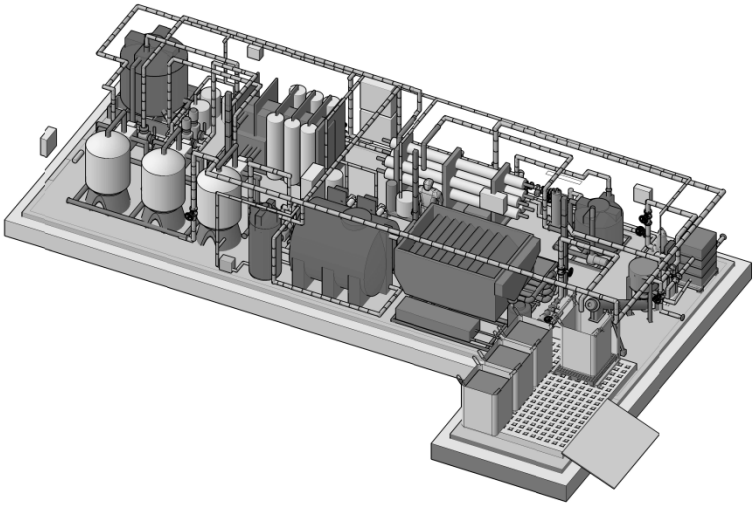


Рис. 1. Общий вид Модульных очистных сооружений дренажных сточных вод БИОГАРД-ПРОМ-400-10-18.НМ

Основные технические данные Модульных очистных сооружений дренажных сточных вод БИОГАРД-ПРОМ-400-10-18.НМ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические данные БИОГАРД-ПРОМ-400-10-18.НМ

№	Наименование	Ед. изм.	Значение
1	Производительность установки	$м^3$/сут	400
2	Среднечасовое поступление стока	$м^3$/ч	20
3	Транспортировочный вес, не более	т	25
4	Максимальный рабочий вес, не более	т	35
5	Габариты установки, LxBxH	м	16,0x6,0x3,2 + 3,0x9,0x3,2
7	Установленная мощность	кВт	136,5
8	Потребляемая мощность	кВт	75,5
9	Линейное напряжение	В	380

По итогам аналитики от 06.11.2018 г (Протокол № 2470.18.В) в исходном дренажном стоке в 9 раз превышено значение ХПК от проектного значения, и в 5,5 раз превышен Сухой остаток. При этом по всем параметрам на выходе достигнуто ПДК рыбохозяйственного значения. Проектный, фактический состав стока до очистки, а также значения после очистки и требования к очищенному стоку приведены в табл. 2.

Таблица 2

Проектный, фактический состав стока до и после очистки, ПДК

№	Наименование	Ед. изм.	До очистки проектное	До очистки фактическое	После очистки фактически	ПДК	Эффективность очистки, %
1	ХПК	мгO_2/дм3	144-160	**1500**	**25**	30	98,3
2	Взвешенные вещества	мг/дм3	1500	210	<3	5,65	98,6
3	Сухой остаток (минерализация)	мг/дм3	369-416	**2320**	<50	1000	97,8
4	Аммоний-ионы	мг/дм3	3,35	<0,05	<0,05	0,39	-
5	Нитрат-ионы	мг/дм3	0,34	<0,1	<0,1	40	-
6	Нитрит-ионы	мг/дм3	<0,02	0,06	0,036	0,08	40,0
7	Фосфат-ионы	мг/дм3	0,15-0,34	<0,05	<0,05	0,2	-
8	Сульфат-ионы	мг/дм3	3,0-6,4	**54**	1,21	100	97,8
9	Хлорид-ионы	мг/дм3	5,0-6,5	**176**	3,1	300	98,2
10	Фенол	мг/дм3	0,0021	0,014	0,00025	0,001	98,2
11	Алюминий	мг/дм3	11,2	3,5	0,019	0,04	99,5
12	Железо	мг/дм3	46	5,4	<0,05	0,1	99,1
13	Кадмий	мг/дм3	0,0054	0,0002	0,0002	0,005	-
14	Марганец	мг/дм3	0,0136	0,7	0,0059	0,01	99,2
15	Медь	мг/дм3	0,039	0,0031	0,001	0,001	67,7
16	Никель	мг/дм3	0,02	0,0039	0,001	0,01	74,4
17	Свинец	мг/дм3	0,034	0,003	<0,001	0,006	66,7
18	Цинк	мг/дм3	0,17	0,35	0,0056	0,01	98,4
19	Нефтепродукты	мг/дм3	0,22	0,22	<0,04	0,05	81,8

Выводы:

1. Эффективность очистки дренажных строительных стоков по технологической схеме на базе физико-химической очистки с применением мембранных технологий по ряду загрязнений, таких как ХПК, взвешенные вещества, тяжелые металлы, соли, достигает 97,8-99,5%.

2. Мембранные технологии позволяют достигать стабильного качества очистки до норм сброса в водоемы рыбохозяйственного значения без проскоков.

3. Установка ультрафильтрации является надежной защитой последующей установки обратного осмоса в условиях изменения температуры подаваемой сточной воды, загрязненности по взвешенным веществам.

4. Для очистки дренажных строительных стоков целесообразно применять наземные блочно-модульные установки, так как очистные сооружения эксплуатируются только в период строительства и далее должны быть демонтированы.

Библиографический список

1. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями N 1, 2).

2. Протокол испытаний № 2470.18.В от 09.11.2018 г. ФГБУ «ЦЛАТИ по Северо-Западному ФО».

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД

А.В. Кругликова, аспирант, НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск

Расчёт очистных сооружений канализации (ОСК) производится на температуру сточной жидкости, поступающей в приёмную камеру, не учитывая её изменения в ходе очистки в открытых сооружениях: первичных отстойниках, аэротенках и вторичных отстойниках [1]. Для определения объёмов сооружений механической и биологической очистки принимается среднегодовая температура, которая значительно отличается от средней температуры за холодный период, тем более от средний за самый холодный месяц или холодную пятидневку. Для подбора основного оборудования (воздуходувок) используется среднемесячная температура за теплый период года, которая также отличается от средней температуры за самый жаркий месяц, а тем более от самой жаркой пятидневки [2]. Длительное нахождение сточной жидкости в открытых ОСК в процессе её очистки отражается на её охлаждение или нагревании. На степень изменения температуры влияют климатические факторы района нахождения объекта. Определенную роль в изменении температуры сточной жидкости оказывает качество сточной жидкости, влияющее на продолжительность обработки стоков в открытых ОСК. Программный комплекс [3], который был разработан в помощь эксплуатационному персоналу для анализа, прогнозирования и оптимизации ОСК, успешно решает задачи по выявлению возможных нарушений в работе объектов по очистке сточных вод в зависимости от изменения гидравлической нагрузки или нагрузки по загрязнениям, ухудшению технического состояния сооружений или отключению, включению дополнительного количества сооружений или оборудования, но не учитывает изменения температуры сточной жидкости в открытых сооружениях в ходе её очистки. Это связано с тем, что в существующей компьютерной модели не заложены математические модели, описывающие процессы тепломассообмена, которые протекают в открытых ОСК между сточной жидкостью и окружающей средой. Задачей данных исследований является разработка усовершенствованной компьютерной модели, способной учитывать этот показатель, который существенно влияет на принимаемые объёмы сооружений на стадии проектирования и качество очистки стоков на стадии эксплуатации ОСК. Для моделирования тепловых процессов, протекающих в открытых сооружениях, используются математические модели, применяемые в теплотехнике для определения потерь тепла в окружающую среду и поступления тепла извне. Общими статьями потерь тепла для первичных, вторичных отстойников и аэротенков являются потери за счёт испарения, естественного или вынужденного конвективного теплообмена, излучения тепла с абсолютно тёмного тела, потерь тепла в грунт, поступления энергии Солнца. Для аэротенков дополнительно необходимо учитывать потери или

поступление тепла в результате нагнетания воздуха в самый холодный или самый жаркий периоды года. В любое время года в аэротенках в разной степени наблюдается воздействие на температуру сточной жидкости тепло экзотермических реакций [4].

В данной работе рассматривается модель только одного сооружения (первичного отстойника), в котором изменение температуры сточной жидкости происходит за счет потерь тепла в грунт через ограждающие конструкции.

Созданию компьютерной модели первичного отстойника предшествовала работа, которая была посвящена мониторингу температуры сточной жидкости в открытых сооружениях (первичных и вторичных отстойников, а также аэротенков) двух объектов, имеющих разную мощность, объёмы и конструкции сооружений, но находящихся в одной климатической зоне, так как удалены друг от друга на расстоянии 60 км. [5]. В качестве таких объектов были выбраны ОСК города Новосибирска пропускной способностью 820 тыс. $м^3$/сут и Искитима мощностью 50 тыс. $м^3$/сут.

Геометрия модели первичного отстойника строилась на основе реальных параметров данного сооружения. Данная модель позволяет оценить насколько потери тепла в грунт влияют на температуру сточной жидкости в этом сооружении. Разработанная компьютерная модель учитывает теплообмен со стенками сооружения и грунтом путем решения сопряженной тепловой задачи. Решение задачи позволяет оценить влияние климатических параметров, заданных для решателя, на температуру сточной жидкости. В качестве инструмента для решения поставленной задачи был использован программный комплекс ANSYS Fluent всех перечисленных факторов [6].

Задача решалась на основе трехмерных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса [7], дополненных уравнениями энергии [8] и k-w SST модели турбулентности [9]. Численные решения позволяют получить распределение средней скорости и температуры в первичном отстойнике и оценить вклад различных физических процессов в тепловой баланс при различных внешних условиях. Расчеты производились в подвижной системе координат в связи с тем, что основная масса жидкости движется. При этом принимался режим опции «время» стационарный, не зависящий от времени. Для запуска решения задачи выбиралась в качестве исходной математическая модель, содержащая уравнения законов сохранения массы и импульса. В данной работе дополнительно использовалась модель энергии, а также модель вязкости. В качестве модели вязкости была выбрана модель турбулентности k-omega (2 eqn). Решались два дополнительных транспортных уравнения для турбулентной кинетической энергии k, скорости ее диссипации в тепло e. По этим параметрам вычисляется турбулентная вязкость, которая потом добавляется в уравнение движения. Однако так как жидкость прилипает к стенкам, то есть имеет нулевую скорость на стенках, в узком пристенном слое течение можно считать ламинарным. Для описания эффекта ламинарно-турбулентного перехода при увеличении верти-

кальной координаты k-е модель использует пристеночные функции. При решении задачи использовались реальные данные, отражающие набор материалов и их физические свойства, а также задавались свойства жидкости и твердых тел. Определение граничных условий позволило выделить единственное решение из множества всех решений дифференциальных уравнений, описывающих движение среды. Для корректного задания граничных условий были идентифицированы их типы (вход, стенка и т.д.), расположение, заданы нужные числовые значения физических величин, список которых зависит от типа границы и используемой физической модели.

Процесс изменения температуры на выходе из сооружения важный параметр, ради которого и проводилось данное исследование. Ведь температура сточной жидкости, а также температура окружающего воздуха при расчетах принималась постоянной. В данных расчетах для летнего периода выбиралось два температурных режима воздуха: 28 и 20 градусов. При числе итераций 10 000 в первом случае температура сточной жидкости практически не изменялась. Для второго режима температура уменьшалась. Соответственно, по результатам расчётов можно сделать вывод, что чем ниже летом температура, тем более явно происходит изменение температуры сточной жидкости. Для зимнего периода года, когда происходят наибольшие потери тепла в открытых сооружениях, в том числе и в грунт, был проведен расчет с заданными параметрами и температурой окружающей среды (-37 градусов) и температурой грунта 4 градуса, который показал, что температура сточной жидкости в данный период года изменяется наиболее существеннее, чем в летний, что приводит к ухудшению качества очистки сточной жидкости.

Для того, чтобы в полной мере определить степень изменения температуры сточной жидкости в зимний и летний периоды года в открытых сооружениях, а именно в первичных отстойниках, аэротенках и вторичных отстойниках, предусматривается дальнейшая доработка данной компьютерной модели с учетом всех моделей потерь и поступления тепла, которая будет прогнозировать температуру сточной жидкости по ходу её очистки, что позволит правильно подбирать объёмы сооружений и оборудование на стадии проектирования и тем самым исключит ухудшение показателей очищенной сточной жидкости в самый холодный и самый жаркий периоды года.

Библиографический список

1. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения // Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 2012, 85 С.

2. Амбросова Г.Т, Кругликова А.В.// Влияние природных условий на эффективность работы очистных сооружений канализации//Биосферная совместимость: человек, регион технологии. – 2016. Курск, № 4 (16). – С. 3-12.

3. Амбросова Г.Т., Гвоздев В.А., Меркель О.М., Бойко Т.А. Контроль работы очистных сооружений канализации // Журнал «Известия вузов «Строительство». Новосибирск 2003, № 2. 1,5 п.л.

4. СП 131.13330.2012: Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 – М.: Стройиздат, 2012, С. 109.

5. Влияние природно-климатических факторов на эффективность работы открытых очистных сооружений канализации/Г.Т. Амбросова, А.В. Кругликова и др.// Водоснабжение и санитарная техника. - 2019. - № 4. - С. 48-60.

6. Федорова Н.Н, Кругликова А.В., Аганичева Е.К. Моделирование процессов тепломассообмена в открытых очистных сооружениях канализации// Материалы международной конференции «Экологически безопасные технологии природообустройства и водопользования: теория и практика», посвященной 25-летию программы УНИТВИН / Кафедры ЮНЕСКО, Новосибирск, 2017, с. 163-166.

7. Седов Л.И. Механика сплошной среды. 6-е изд. М., 2004. Т. 1.

8. Милн-Томсон Л. Теоретическая гидродинамика. Пер. с англ. под ред. Н. Н. Моисеева. – М.: Мир, 1964. – 660 с.

9. Smirnov P., Menter F. Sensitization of the SST turbulence model to rotation and curvature by applying the Spalart-Shur correction term // Proc. of ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea and Air, GT 2008, Germany, Berlin, June 9-13, 2008. 10 p.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАНОФИЛЬТРАЦИИ В ЗАДАЧАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Г.Г. Каграманов, Е.Н. Фарносова, Лин Маунг Маунг, ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Проблемы нехватки чистой и все увеличивающихся количеств загрязненной воды являются актуальными. Удаление ионов тяжелых металлов из стоков играет важную роль. Для их очистки от ионов тяжелых металлов эффективно используются следующие методы: физические, химические, физико-химические, электрохимические и баромембранные процессы [1-6].

Нанофильтрация (НФ) – это баромембранный процесс разделения, в котором эффективность разделения определяется как физико-химическими свойствами, так и электростатическим взаимодействием мембраны и разделяемого раствора. Существуют две основные характеристики нанофильтрационной мембраны – ее удельная производительность и селективность.

На электростатическую компоненту огромное влияние оказывает величина pH разделяемого раствора. Для полного понимания механизма переноса при нанофильтрации необходимо определить влияние величины pH на эффективность нанофильтрации.

Была исследована взаимосвязь между величинами pH исходного раствора и pH пермеата на рис. 1 (а) и (б).

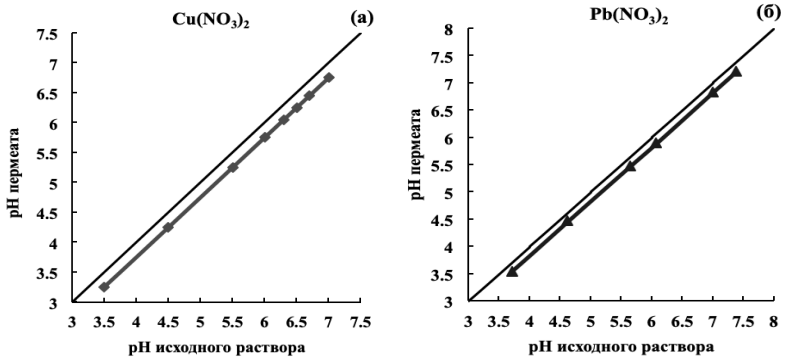


Рис. 1. Зависимость величины pH пермеата НФ от pH исходного раствора: а – $Cu(NO_3)_2$ и б – $Pb(NO_3)_2$

Как видно из графиков, величина pH пермеата значительно ниже pH исходного раствора (для $Cu(NO_3)_2$ – $\Delta pH = 0{,}25 \pm 0{,}1$; для $Pb(NO_3)_2$ – $\Delta pH = 0{,}16 \pm 0{,}1$). Это объясняется тем, что селективность НФ мембраны по относительно крупному и одновалентному NO_3^- - иону, имеющему малую плотность заряда, мала (≈40-60%). В то же время, селективность по двухвалентным катионам (Cu^{2+} , Pb^{2+}) высока (≈93-98%). Нитрат-ион проникает в пермеат в большем количестве, чем катионы металлов.

Электронейтральность раствора обеспечивается ионами H^+, поэтому пермеат «подкисляется».

На рис. 2 приведены зависимость селективности мембран от величины pH исходного раствора для солей тяжелых металлов $MnSO_4$ и $Cu(NO_3)_2$. Зависимость селективности НФ мембраны по иону Mn^{2+} от величины pH проходит через минимум при pH равной **5,3 ± 0,02**, по иону Cu^{2+} при pH равной **6,5 ± 0,02** соответственно.

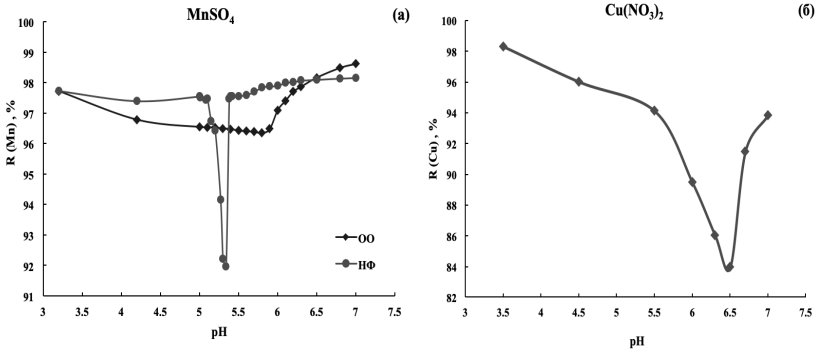


Рис. 2. Зависимость селективности исследуемых мембран от величины pH исходного раствора (а) $MnSO_4$; (б) $Cu(NO_3)_2$
ΔP = 4 бар ; T = 20 ± 1 °C
(а) с (Mn^{2+}) = 10 мг/л ; (б) с (Cu^{2+}) = 10 мг/л

Эти данные можно объяснить уменьшением потенциала поверхности нанофильтрационной мембраны в изоэлектрической точке, при этом, заряд мембраны и раствора полностью скомпенсирован, электростатический механизм отсутствует. Ионы легче проникают через мембрану, и процесс разделения данной области определяется капиллярно-фильтрационным механизмом.

Далее исследовано влияние концентрации катиона марганца на основные характеристики разделения – удельную производительность и селективность НФ и ОО мембран. Удельная производительность во время эксперимента оставалась практически постоянной и равной 27 ± 1 л/м^2·час для НФ и 12 ± 1 л/м^2·час для ОО.

Очевидно, что с повышением концентрации исходного раствора до 40 мг/л и выше, селективность НФ и ОО мембран увеличивается и достигает 98-99 % на рис. 3.

Это объясняется тем, что у НФ мембран для образования двойного электрического слоя необходимо определенное количество ионов. При очень низких концентрациях ионов тяжелых металлов, двойной электрический слой не образуется на всей поверхности мембраны, и, следовательно, нанофильтрационная мембрана обладает относительно низкой селективностью, которая обеспечивается капиллярно-фильтрационным механизмом.

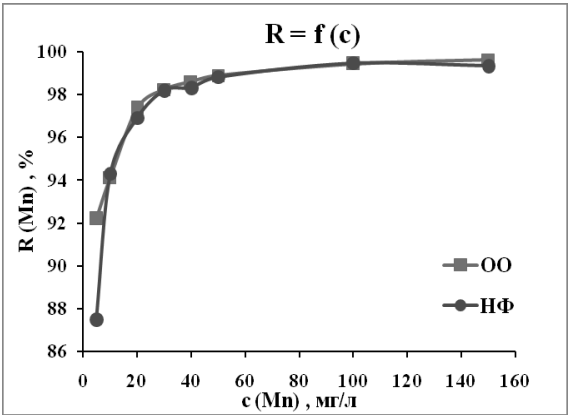


Рис. 3. Зависимость селективности НФ и ОО мембран от концентрации исходного раствора; ΔP = 4,0 бар ; T = 20 ± 1°C ; pH $_{(исх)}$ = 6,1 ± 0,1

Следующим этапом исследования нанофильтрации является очистка многокомпонентных растворов. На рис. 4 представлена зависимость селективности НФ мембраны от рабочего давления.

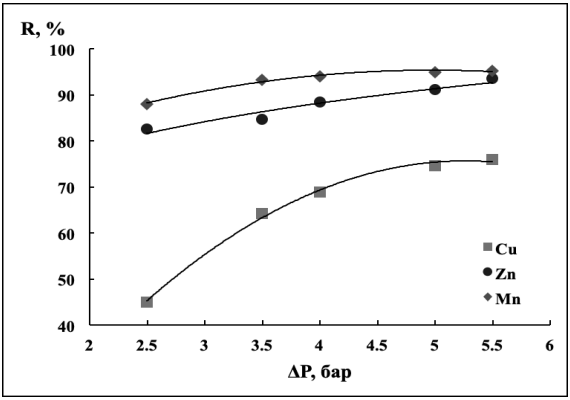


Рис. 4. Зависимость селективности НФ мембраны от рабочего давления T = 20 ± 1°C; pH = 6,5 ± 0,1

Очевидно, что селективность НФ мембраны увеличивается с повышением рабочего давления. Вследствие увеличения давления, происходит уплотнение мембраны, растет движущая сила процесса, что приводит к увеличению селективности.

Таким образом, нанофильтрация является энергосберегающим, надежным и эффективным методом удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод.

Библиографический список

1. Fergusson J.E, editor. The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Oxford: Pergamon Press; (1990).

2. Баранов Е.А., Смирнов Д.Н. Комплексные технологические схемы очистки сточных вод с возвратом воды в производство. – М.: Мир, 1978 – 32 с.

3. Смирнов Д.Н., Генкин В.С. Очистка сточных вод в процессе обработки металлов. – М.: Металлургия, 1989. – 224 с.

4. Хотунцев Ю.Л. Экология и экологическая безопасность: Учеб. пособие. - М.: Академия, 2012. – 233 с.

5. Francisco Macias, Rafael P. Lopez, Manuel A. Caraballo, Carlos R. Canovas, Jose Miguel Nieto. Management strategies and valorization for waste sludge from active treatment of extremely metal-polluted acid mine drainage: A contribution for sustainable mining // Journal of Cleaner Production – 2017. vol. 141 – p. 1057-1066.

6. Орлов Д.С. Экология и охрана гидросферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие / Орлов Д.С, Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. - М.: Высшая школа, 2012. – 167 с.

ПРОЦЕСС ОСВЕТЛЕНИЯ ВОДЫ НА МОДЕЛИ ТРУБЧАТОГО ОТСТОЙНИКА

Р.Ш. Мамбетова, к.т.н., доц. кафедры «Строительство», Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика; **И. Абдурасулов,** д.т.н., проф., зав. каф. «Строительство», Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика; **Т.С. Умаров,** к.т.н., старший преподаватель кафедры «Геодезия и маркшейдерское дело», Кыргызскый государственный университет геологии, горного дела и освоении природных ресурсов им. акад. У. Асаналиева, г. Бишкек, Кыргызская Республика; **И.Х. Пашаев,** студент профиля «Водоснабжение и водоотведение», Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика; **Ж.Т. Тилекова,** студент профиля «Водоснабжение и водоотведение», Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Для выявления возможности эффективного использования тонкослойных отстойников для осветления поверхностных вод, аналогичных речным водам предгорной зоны Чуйской долины были выполнены экспериментальные исследования в лабораторных условиях кафедры «Строительство» Кыргызско-Российского Славянского университета.

В состав экспериментальной установки входили устройства для подачи исходной воды, дозатор реагента, дырчатый смеситель, камера хлопьеобразования совмещенная с трубчатым отстойником. Опыты на указанной модели были проведены при угле наклона к горизонту около 60° (т.н. «наклонный» тип отстойника). Следует отметить, что принятая в конструкции модели отстойника гидравлическая камера хлопьеобразования вихревого типа, в месте конически расширяющейся входной части, была загружена гравием (крупностью 5-12 мм) на высоту 8 см. В качестве щелочных реагентов была использована каустическая сода.

Контроль и измерение скорости потока в отстойнике, а также вводимых доз реагентов производили объемным методом. Концентрацию взвесей во всех пробах определяли с помощью фотоэлектроколлориметра – ФЭК-Н-57. Одновременно проводили определение и других физико-химических показателей исходной и обработанной воды, как pH, щелочность, содержание взвешенных веществ, цветность и др.

Во время экспериментальных исследований, показателем оценки эффективности работы трубчатого отстойника был выбран эффект осветления

$$Э = \frac{F_{исх} - F_{отст}}{F_{исх}} \cdot 100\% , \qquad (1)$$

где Э – эффект осветления, %; $F_{исх}$ – концентрация взвесей в исходной воде, мг/л; $F_{отст}$ – концентрация взвесей в отстоянной воде, мг/л.

Исследования на первом образце природной воды были проведены с использованием математического метода планирования эксперимента [1], что давало возможность минимизировать число обязательных опытов при

получении надежной взаимосвязи между исследуемыми параметрами. На втором образце проводились проверочные (выборочные) опыты.

Современный метод математического планирования эксперимента является результатом обобщенных работ многих исследователей и начальным моментом считается работа Бокса и Вильсона [6], где впервые сформулированы и доведены до практических рекомендаций идеи последовательного движения к оптимуму и использование при этом полиноминальных уровней.

Полагая, что в нашем случае линейная модель окажется адекватной, планирование эксперимента проводилось по методу Бокса-Вильсона. Для первой стадии экспериментальных исследований предполагалось изменять скорость протекания воды в отстойнике и дозу коагулянта, которые соответственно, обозначены X_I и X_{II}.

Следует указать, что в данном случае чрезмерное уменьшение скорости протекания воды в отстойнике или увеличение дозы каолина, несомненно, даст высокий эффект улучшения качества воды, но является технически и экономически не целесообразным [3]. Поэтому выбор области определения осуществляли в соответствии с общепринятыми данными: по скорости протекания воды через трубчатый отстойник при реагентом осветлении природных вод [2], а выбор X_{II} осуществляли исходя из результатов определений осаждения взвесей.

На рис. 1 представлены кривые осаждения взвесей при добавлении в исходную воду коагулирующего вещества каолина.

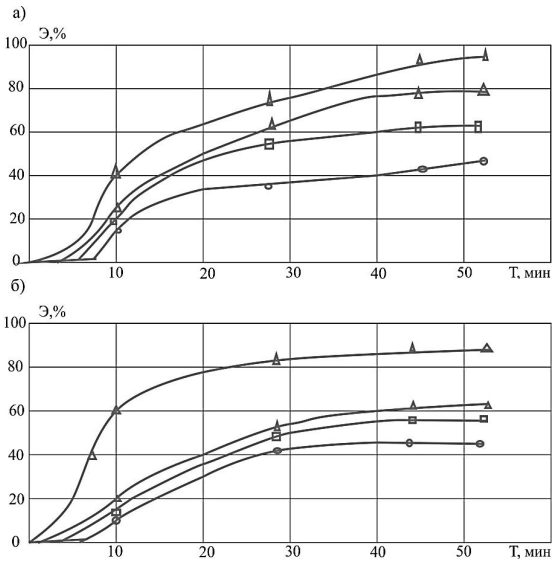


Рис. 1. Кривые осаждения взвешенных веществ в гомогенной среде при пробном подщелачивании: а) при $М_{исх}$=2000 мг/л и б) при $М_{исх}$=1000 мг/л: – $Д_к$-200 мг/л; ▲ – $Д_к$=150 мг/л; □ – $Д_к$=120 мг/л; ● – $Д_к$=80 мг/л

Уровни и интервалы варьирования двух факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования

Факто-ры	Уровни			Интервалы варьирования I	Единицы измерения
	- I	0	+ I		
x_I	6	10	14	4	м/ч
x_{II}	80	100	120	20	мг/л, считая на товарный продукт каолина

Матрица планирования и условия проведения опытов в кодированных и натурных значениях факторов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования

Номера опыта в матрице	Скорость протекания воды в отстойнике		Доза каолина	
	код	м /ч	код	мг/л
1	+1	14	+1	120
2	-1	6	+1	120
3	+1	14	-1	80
4	-1	6	-1	80

Переход от натуральных значений факторов к кодированным значениям осуществлялся с помощью следующего преобразования:

$$x_i = \frac{c_i - c_i}{J}, \qquad (2)$$

где x_i – кодированное значение фактора (безразмерная величина); $c_i - c_i$ – натуральное значение фактора (соответственно его текущее значение и

значение на нулевом уровне); J – натуральное значение интервала варьирования фактора c_i; i – номер фактора.

Матрица планирования, результаты двух параллельных опытов (округленные до целых чисел) и значение дисперсии среднего арифметического приводятся в табл. 3.

Таблица 3

Матрица планирования

Номера строк	Порядокок проведения двух повторных опытов	X_I	X_{II}	U'u	U"u	$\bar{U}u$	S^2j
1	4:7	+I	+I	53	49	51	8
2	3:8	-I	+I	62	66	64	8
3	1:6	+I	-I	26	24	25	2
4	2:5	-I	-I	46	44	45	2

Примечание: Здесь U'u – U"u результаты двух опытов по эффекту осветления в %; - $\bar{U}u$ их среднее значение. Каждое значение U'u – U"u является средним из 10-16 определений.

Рабочая матрица и результаты реализации, т.е. полученные экспериментальные данные по эффекту осветления воды, после трубчатого отстойника позволили определить коэффициент регрессии следующего уравнения:

$$\bar{U}u = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_1 2X_1X_2 + b_{11}X_2 + b_{22}X_2^2 \qquad (3)$$

После определения значений коэффициентов регрессии и в результате вычислений мы нашли эффект осветления:

$$Э = 78{,}7 + 0{,}605D_к - 13V_0 + 0{,}52V_0^2, \qquad (4)$$

где Э – эффект осветления воды в %; $D_к$ – доза извести, мг/л; V_0 – скорость протекания потока в ячейках отстойника, м/ч.

На рис. 2 приведены зависимости эффекта осветления от скорости протекания воды в ячейках отстойника и дозы каолина. Эти зависимости получены исходя из (4) варьированием величин одной из переменных при постоянном значении – второго переменного. Откуда видно, что несмотря

на повышенные скорости движения потока в ячейках отстойника – 6÷12 м/ч, при дозах извести 40÷80 мг/л эффект осветления воды достигает в отстойнике 50 ÷80%. При скорости протекания воды в отстойнике 6÷12 м/ч, время пребывания воды в отстойнике составляет 10÷5 мин, а число Рейнольдса находится в пределах 22÷45.

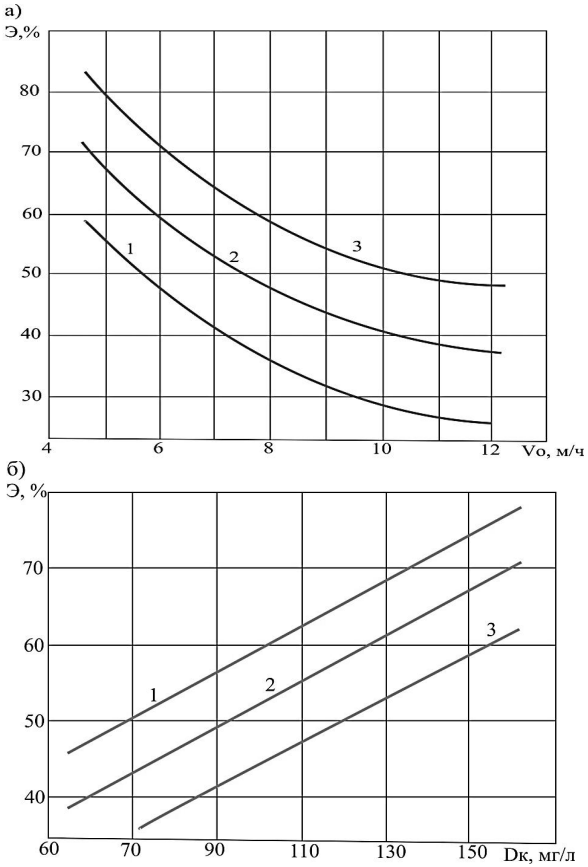


Рис. 2. Изменение эффекта осветления воды прошедшей трубчатый отстойник в зависимости от скорости потока в ячейках отстойника (а) и дозы щелочи (б): а) при $Д_и$=const; б) при V_0= const

Следует отметить, что наклонное положение отстойника обеспечивало сползание осадка в камеру хлопьеобразования и позволило совместить процесс хлопьеобразования и осаждения. Согласно визуальным наблюдениям по достижению определенной концентрации осадка в камере хлопьеобразования, выпавшие отложения перестают сползать и не перемещаются потоком воды, подвергаясь лишь уплотнению под действием позже осевших частиц.

Исследования работы модели трубчатого отстойника на обработанной известью воде показали, что при скорости потока в отстойнике 6÷12 м/ч достигается высокий эффект осаждения взвешенных веществ речных вод до 80%.

Кинетика осаждения взвешенных веществ в трубчатом отстойнике характеризуется определенной продолжительностью осветлительного цикла работы отстойника, равной периоду его «защитного» действия и составляет 20÷50 ч. Удаление выпавших отложений из трубчатого отстойника не вызывает трудностей.

В результате исследований, было выявлено, что принятая конструкция камеры хлопьеобразования не обеспечивала постоянный контактный слой, образованный из осадков и процесс хлопьеобразования идет сравнительно вяло, что объясняется несовершенством конструкции гидравлической камеры хлопьеобразования. Небольшая модель установки и сравнительно малое количество ячеистых элементов создавали некоторую неравномерность в распределении потока внутри модели.

Указанные недостатки конструкции исследуемой модели, в конечном счете, отражались на работе отстойника, поэтому их необходимо учитывать в дальнейших исследованиях.

Библиографический список

1. Абдурасулов И. Водообеспечение и очистка сточных вод Кыргызской Республики. ДСП / И. Абдурасулов. – Бишкек: Илим, 1994. – 449 с.

2. Мамбетова Р.Ш. Обработка речных вод предгорной зоны Чуйской долины на установках заводского изготовления. Автореферат кандидата технических наук. Бишкек, КРСУ, 2016. 20 с.

3. Мамбетова Р.Ш. Использование установок для обработки вод открытых водоемов / Р.Ш. Мамбетова // Известия КГТУ, № (3) 36 – Бишкек: «Текник», 2015. – С.58-62.

4. Мамбетова Р.Ш. Анализ качества поверхностных вод Кыргызской Республики / Р.Ш. Мамбетова. Материалы международной научно-практической конференции на тему «Современные направления развития водоснабжения и водоотведения» 21-22 апреля 2016 г. Алматы: КазНИТУ-им.К.И.Сатпаева, 2016, С.135-137.

5. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Особенности применения коагулянтов для очистки природных цветных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 1. С. 9-15.

6. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды / – М.: Стройиздат, 1964. –155 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЧИСТКИ ВОДЫ ИОННЫМ ОБМЕНОМ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Г.Ш. Мамина, аспирант, каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

Введение

Гетерогенный ионный обмен осуществляется между ионами раствора и ионами поверхности твёрдой фазы (ионитами).

Иониты – ионообменные сорбенты, твёрдые нерастворимые вещества, способные к обмену ионами.

В зависимости от знака заряда иониты делят на катиониты и аниониты. Катиониты проявляют кислотные свойства, а аниониты – основные. Если иониты способны обменивать и катионы и анионы, то они являются амфотерными [5, 6].

Химическая природа ионитов может быть минеральной и органической. По происхождению – природные и синтетические [7].

Иониты подразделяют по типам и группам, по специфическим свойствам, по особенностям структуры, по назначению. По происхождению иониты могут быть синтетические высокомолекулярные (полимерные) ионообменные смолы и органические [8, 9].

Ионообменные смолы делят на катионообменные (поликислоты), анионообменные (полиоснования) и амфотерные, или биполярные (полиамфолиты).

Свойства некоторых промышленных марок отечественных ионообменных смол приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства и марки ионообменных смол

Марка	Статистическая обменная емкость, мг-экв/г	Удельный объем[2], мл/г	Максимальная температура эксплуатации	Основное сырье
1	2	3	4	5
Сильнокислотные катионообменные смолы				
КУ-1	4,8-4,5	2,6-3,0	80	Фенол, формальдегид
КУ-2	4,8-5,2	2,5-2,9	130	Стирол, дивинилбензол
Слабокислотные катионообменные смолы				
КБ-2	10-11	2,6-3,0	100	Акриловая кислота, дивинилбензол
КБ-4	8,5-10	2,6-3,0	100	Метакриловая кислота, дивинилбензол

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Сильноосновные анионообменные смолы				
АВ-16	8-9,5	3,6-4,2	90	Полиамины, эпихлоргидрин, пиридин
АВ-17	3,5-4,2	2,5-3,0	50	Стирол, дивинилбензол
Слабоосновные анионообменные смолы				
АН-2Ф	8,5-10	2,5-3,2	50	Полиамины, фенол
АН-18	3,5-5	2-2,5	60	Стирол, дивинилбензол
ЭДЭ-10П	8,5-9,5	2,6-3,2	45	Полиамины, эпихлоргидрин

Средний размер частиц таких ионообменных смол составляет 0,2–2,0 мм, насыпная масса 0,5–0,9 т/м^3.

Свойство ионитов, определяющее их использование в различных отраслях производства, является обменная ёмкость (поглотительная способность). Обменная ёмкость ионитов находится в пределах от 2 до 12 мг-экв/г.

Различают динамическую и статическую обменные ёмкости, причём первая всегда меньше второй [11].

Механическая прочность, термическая и химическая стойкость ионитов определяют длительный срок их службы и многократную регенерацию.

В различных технологических процессах производств применение ионитов для очистки воды является широко используемым.

В энергетике получают деминерализованную воду.

Общеизвестно, что ионитовые фильтры и электродиализные установки с ионитовыми мембранами используют для получения опресненной морской или грунтовой воды с высоким солесодержанием.

Ионообменный процесс применяется для переработки радиоактивных отходов, удаления многих вредоносных примесей из сточных вод.

В медицинской и пищевой промышленностях иониты используют для получения витаминов и лекарственных препаратов, консервируют плазму крови, при рафинировании сахара, для улучшения качества вин и соков и др. [12].

Актуальность работы

Ионный обмен является частью физико-химических методов очистки природных и сточных вод. Разработка теоретических предпосылок метода ионного обмена применительно к растворённым азотосодержащим веществам в гидродинамических условиях является актуальной задачей [13].

Цель работы

Цель работы заключается в разработке теоретической модели процесса ионного обмена в гидродинамических условиях.

Задача работы

Задача состоит в получении уравнения снижения концентрации азотосодержащих соединений ионным обменом в гидродинамических условиях фильтрования.

Результаты

При движении жидкости, содержащей диссоциированные ионы, через слой загрузки (ионообменная смола), извлекаемые ионы задерживаются, а в фильтрат поступают ионы загрузки в эквивалентном соотношении. Одновременно с этим в толще загрузки накапливается масса извлекаемых ионов. Накапливаемая масса извлекаемых ионов зависит от обменной способности загрузки [14].

Рассмотрим процесс фильтрования воды через слой ионообменной загрузки для извлечения азотосодержащих диссоциированных соединений. Рассуждая теоретически, составляем схему движения жидкости через слой загрузки с целью математического описания процесса рис. 1.

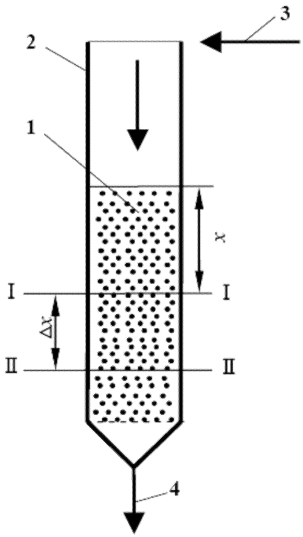


Рис. 1. Схема исследуемого процесса:
1 – ионообменная загрузка; 2 – цилиндрический сосуд; 3 – вход исходной воды;
4 – выход исходной воды; I – I и II – II - расчётные сечения

Ионообменную загрузку 1 помещаем в вертикальный цилиндрический сосуд 2 с площадью горизонтального сечения равной единице. Исходная вода 3 движется сверху вниз. Рассмотрим элементарный слой загрузки бесконечно малой величины между двумя сечениями I – I и II – II толщиной Δx на расстоянии x от её поверхности. К сечению I – I поступает вода с весовой концентрацией C_1, а проходя через элементарный слой загрузки, концентрация уменьшается до C_2. Уменьшение концентраций ионов в элементарном слое составляет:

$$\Delta C = -\left(C_2 - C_1\right) = -\frac{\partial C}{\partial x}. \qquad (1)$$

Производная $\frac{\partial C}{\partial x}$ – градиент концентрации, то есть изменение её на единицу толщины слоя Δx.

Градиент концентрации выражен частной производной потому, что концентрация ионов в каждом сечении зависит от двух переменных: расстояние от поверхности загрузки, x; обменной способности загрузки E и продолжительности фильтрования.

Знак минус в уравнении (1) показывает, что концентрация ионов уменьшается с увеличением расстояния x от поверхности загрузки.

Ионный обмен можно рассмотреть, как процесс взаимодействия обмена активной группы анионов загрузки (OH^-, Cl^-, SO_4^{-2}) на азотосодержащие анионы в исходной воде.

Исходная вода фильтруется через слой анионита (загрузки), при этом из исходной воды удаляются азотосодержащие компоненты, а в фильтрате появляются замещённые активные группы из загрузки.

Предположим, что уменьшение концентрации азотосодержащих соединений в элементарном слое загрузки составляет ΔC_1, а увеличение азотосодержащих соединений – за счёт гидродинамических условий (скоростной режим) ΔC_2.

Баланс концентраций ионов на участке Δx может быть представлен выражением

$$\Delta C = \Delta C_1 - \Delta C_2, \qquad (2)$$

где ΔC_1 можно описать зависимостью

$$\Delta C_1 = f(E) \qquad (3)$$

На процесс изъятия азотосодержащих соединений из исходной воды, кроме обменной способности загрузки E, влияет соотношение хлоридов

(Cl^-) и сульфатов (SO_4^{-2}). Обозначим это соотношение через a, тогда в элементарном слое толщиной Δx уменьшение концентрации ΔC_1 будет равно

$$\Delta C_1 = a \cdot E \cdot \Delta x \tag{4}$$

Рассматриваем второе слагаемое выражения (2), где ΔC_2 является функцией скорости фильтрования [15].

$$\Delta C_2 = f(\upsilon) \tag{5}$$

Ионообменная загрузка представляет собой множество шарообразных форм одинакового диаметра. На рис. 2 представлена схема обтекания шара потоком жидкости.

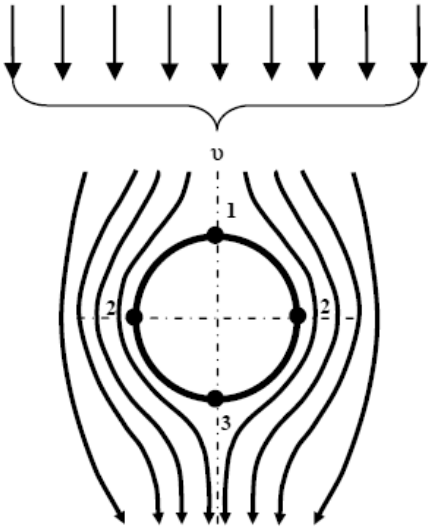


Рис. 2. Схема обтекания шара загрузки потоком жидкости со скоростью υ:
1 – верхняя точка шара; 2 – боковая тока шара; 3 – нижняя точка шара

При движении жидкости через загрузку происходит обтекание водой частицы в виде шара. В этом случае одновременно действуют две силы – лобового сопротивления давления и лобового сопротивления трения.

Приближаясь к шару, поток отклоняется и обтекает его. Затем начинает двигаться ускоренно, возникает конфузорный эффект.

Увеличение скорости в потоке приводит к уменьшению давления в пограничном слое загрузки в направлении от точки 1 к точке 2. При движе-

нии к кормовой части шара поток расширяется и возникает диффузорный эффект, скорость уменьшается и давление возрастает. В пограничном слое в направлении движения потока от точки 2 к точке 3 давление увеличивается. В пограничном слое движение ламинарное, частицы жидкости заторможены, не преодолевают возрастающего давления от точки 2 к точке 3. Внутри пограничного слоя, под действием давления частицы начнут движение в обратном направлении.

Возвратное течение в пограничном слое приводит к появлению вихрей, которые уменьшают давление в этой области и сила лобового сопротивления увеличивается.

Характер обтекания шара потоком жидкости зависит от числа Рейнольдса, которое определяется следующим соотношением

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu} \tag{6}$$

где υ – скорость невозмущённого потока; d – диаметр шара загрузки; ν – кинематическая вязкость.

На основании изложенного, можно записать ΔC_2, как

$$\Delta C_2 = \mathrm{Re} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \Delta x \tag{7}$$

где Re – число Рейнольдса (от 10 до 30); ρ – плотность исходной воды; Δx – толщина элементарного слоя.

Полученные зависимости подставляем в выражение (2)

$$\Delta C = \Delta C_1 - \Delta C_2 = a \cdot E \cdot \Delta x - \mathrm{Re} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \Delta x = \Delta x \left(a \cdot E - \mathrm{Re} \cdot \rho_{\text{в}} \right). \tag{8}$$

В конечном виде уравнение можно записать следующим образом

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \left(a \cdot E - \mathrm{Re} \cdot \rho_{\text{в}} \right) \tag{9}$$

где $\frac{\partial C}{\partial x}$ – снижение концентрации азотосодержащих соединений в элементарном слое; a – коэффициент, зависящий от соотношения хлоридов и сульфатов в исходной воде; E – обменная способность ионитов.

Полученная теоретическая зависимость связывает исходную концентрацию исследуемых веществ в воде, обменную способность ионитов, гидродинамические и физические показатели потока. В основу представленной модели положены следующие предпосылки:

– исследуемые вещества находятся в диссоциированной форме;

– извлекаемые вещества (азотосодержащие) имеют отрицательный заряд;

– соотношение хлоридов и сульфатов в исходной воде имеет влияние на эффект очистки;

– гидродинамические условия в потоке (число Рейнольдса от 10 до 30) являются необходимыми;

– форма загрузки шарообразная;

– направление движения потока жидкости при фильтровании сверху вниз.

Выводы

1. В результате литературного обзора показано, что можно применять процесс ионного обмена для извлечения азотосодержащих соединений из воды.

2. В работе принята теоретическая схема процесса фильтрования с приращением извлекаемых веществ в элементарном слое.

3. В качестве загрузки рассмотрен ионит шарообразной формы.

4. Рассмотрен предельный случай обтекания потоком жидкости шара в условиях лобового сопротивления в пограничном слое.

5. Препятствия, создаваемые потоку жидкости, приводят к снижению эффекта очистки воды.

6. Выбрано значение числа Рейнольдса, оптимальное для ионного обмена.

7. Получено уравнение снижения концентраций азотосодержащих соединений ионным обменом.

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \left(a \cdot E - \mathrm{Re} \cdot \rho_{\text{в}}\right)$$

8. Приведённая модель даёт возможность прогнозировать эффективность процесса применения процесса ионного обмена для удаления азотосодержащих соединений в гидродинамических условиях.

Заключение

1. Полученное теоретическое уравнение отражает связь исходного качества воды в виде диссоциированных молекул, обменной ёмкости загрузки и гидродинамики потока жидкости при фильтровании.

2. Данная модель даёт возможность прогнозировать эффект очистки воды ионным обменом в гидродинамических условиях движения жидкости.

3. Полученная модель даёт возможность получить основные закономерности ионного обмена для изучения процесса в экспериментальных условиях.

Библиографический список

1. Самсонов Г.В. Ионный обмен и иониты. М.: Издательство Наука. 1970. 336 с

2. Лаврушина Ю. А. Ионообменные смолы: виды, принцип действия, эффективность. 2002. Ж. СОК - № 10 с. 57-61.

3. Гельферих Ф. Основы ионного обмена. М.: Издательство Иностранной литературы. 1962. 492 с.

4. Щукин Е.Д. Коллоидная химия. 3-е издание, переработанное и дополненное М.: Высшая школа. 2004. 445 с.

5. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - СПб. ХИМИЗДАТ. 2003. 384 с.

6. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев: Наукова думка. 1983. 240 с.

7. Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии. М.: Академия. 2007. 240 с.

8. Гришки А.А., Малахов И.А. и Ларин Б.М. Экологические проблемы ионообменных технологий на ТЭС // Сборник материалов международной конференции «Экология энергетики». М.: Издательство МЭИ. 2000. С. 131-332.

9. Копылов А.С., Лавыгин В.М. и Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. М.: Издательство МЭИ. 2016. 305 с.

10. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт. 2004. С.105-106.

11. Василенко Л.В., Никифоров А.Ф. и Лобухина Т.В. Методы очистки промышленных сточных вод. Екатеринбург УГЛТУ. 2009. 174 с.

12. Воронов Ю.В., Первов А.Г. и Сомов М.А. Водоподготовка и спецводоочистка на АЭС, Москва: Издательство АСВ. 2016. 200 с.

13. Алексеев Е.В. Викулина В.Б. и Викулин П.Д. Учебное пособие. Основы моделирования систем ВиВ. Москва, М.; НИУ МГСУ. Издательство МИСИ-МГСУ. 2015. 128 с.

14. Алексеев Е.В., Викулина В.Б. и Викулин П.Д. Учебное сетевое электронное издание. Гидравлическое моделирование систем водоснабжения и водоотведения. Москва, М.: НИУ МГСУ, Издательство МИСИ-МГСУ. 2015.

15. Викулин П.Д. и Викулина В.Б. Гидравлика и аэродинамика систем водоснабжения и водоотведения: учебник; М.: Издательство МИСИ-МГСУ. 2018. 396 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОТКОВ МАЛОГО РАЗМЕРА В МНОГОЭТАЖНОЙ ЗАСТРОЙКЕ. РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПАРАМЕТРАМ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОТКРЫТОЙ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ СВОДА ПРАВИЛ

М.Г. Мхитарян, к.т.н., доц. каф. сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения; **А.С. Мунзер,** к.т.н., доц., зав. каф. сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения; **Э.Е. Назаркин,** ассистент кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения; **А.В. Данилина,** магистр, инженер водоснабжения и водоотведения; **Е.С. Копачева**, магистрант кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения; **И.А. Мельникова**, магистрант кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения, РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, г. Москва

Интенсивное развитие и освоение новых городских и сельских территорий, увеличение плотности застройки, повышение уровня благоустройства внутридворовой зоны и общегородской инфраструктуры, реконструкция и реновация в уже сложившейся жилой застройке вызывает необходимость быстрого и безопасного отвода атмосферных осадков без увеличения глубины заложения основных коллекторов закрытой системы ливневой канализации.

Ливневая (дождевая) канализация К2 обеспечивает защиту селитебной территории от подтопления дождевыми, талыми и грунтовыми водами.

В последние годы в связи с всемирным потеплением, стали наблюдаться ливни с интенсивностью, значительно превышающей нормативные показатели.

Существующие нормы предполагают сбор ливневых стоков на начальных участках застройки путем организации рельефа – вертикальной планировки, обеспечивающей отвод стоков самотеком по поверхности дорожных и тротуарных покрытий до первого участка закрытой системы (дождеприемной решетки). Это приводит к подтоплению небольших проездов и тротуаров, отвод воды – неорганизованный. В пониженных участках проездов и тротуаров (между бордюрами и боковыми участками дороги) образуются открытые водотоки, что создает опасность подтопления. Кроме того, эти нормативы были разработаны для условий новой застройки на свободных территориях и не учитываются реалии современного строительства. Полностью свободных территорий в пределах населенных пунктов практически не осталось, происходит реконструкция и реновация, увеличивается количество твердых покрытий.

В настоящее время на территории Российской Федерации устройство открытых лотков разрешено только на территории сельских поселений, в рекреационных зонах и малоэтажной застройке. На территории более крупных городов устройство лотков допускается только в рекреационных

садово-парковых зонах. Нормативы, регламентирующие применение открытых лотков прописаны в научно-технической и нормативной документации.

СНиП 2.06.15-85 «Инженерная защита территорий от затопления и подтопления» (уже отмененный), требовал в п. 3.16 следующее: «Применение открытых водоотводящих устройств (канав, кюветов, лотков) допускается в районах 1-2-этажной застройки, на территориях парков и зон отдыха с устройством мостиков или труб на пересечениях с улицами, дорогами, проездами и тротуарами».

Данный СНиП был заменен на СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления [1]». Однако данный пункт в несколько другой редакции сохранен.

П. 6.1.3.4 гласит: «…На территориях промышленной и гражданской застройки надлежит предусматривать дождевую канализацию закрытого типа. Применение открытых водоотводящих устройств (канав, кюветов, лотков) допускается на территории одно-, двухэтажной застройки, на территориях парков и зон отдыха».

СП 42.133302016 «СНиП 2.07.01-89*» Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (дата введения: 2017-07-01) [2], регламентирует:

п. 12.11 На территории городов следует применять закрытую систему водоотвода. Применение открытых водоотводящих устройств допускается в средних и малых городах, сельских населенных пунктах, на парковых территориях с устройством мостков или труб на пересечении с дорогами. Допускается применение открытых водоотводящих устройств в виде кюветных лотков на городских дорогах и в районах малоэтажного строительства. Открытая дождевая канализация состоит из лотков и канав разного размера с искусственной или естественной одеждой и выпусков упрощенных конструкций. Дождеприемники при этом не устраивают.

СП 32.13330.2018. «Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85.» [3] определяет терминологию: отличие канавы, кювета и лотка.

п. 5.5.3 Наименьшие размеры кюветов и канав трапецеидального сечения принимать: ширину по дну - 0,3 м; глубину - 0,4 м. То есть, все, что меньше по габаритам, можно считать лотком.

Каналы, согласно таблице 4 (см. СП), также могут иметь грунтовые стенки. Глубина потока в канале – от 0 до 1 м.,

В итоге получается, что ни одна таблица в СП 32.13330.2012 не дает четкого определения для технических сооружений: канавы, кювета, канала и лотка. Терминология не имеет четкой таблицы для определения типа сооружения.

Также в п. 7.1.10 ограничивается область применения открытой системы ливневой канализации: «…На территории населенных пунктов и промышленных предприятий следует предусматривать закрытые системы отведения поверхностных сточных вод. Отведение по открытой системе во-

достоков с использованием разного рода лотков, канав, кюветов, оврагов, ручьев и малых рек допускается для селитебных территорий с малоэтажной индивидуальной застройкой, поселков в сельской местности, а также парковых территорий с устройством мостов или труб на пересечениях с дорогами. Во всех остальных случаях требуется соответствующее обоснование и согласование с органами исполнительной власти, уполномоченными в области охраны окружающей среды и обеспечения санитарно-эпидемиологического надзора».

Редакция этого пункта в СП 32.133330 позволяет при условии обоснования и согласования устройство открытой системы ливнеотвода фактически везде. Однако этот пункт в СП противоречит главенствующему СП по безопасности: СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления», где такого условия нет и оно не может быть использовано.

В Технических указаниях по проектированию и строительству дождевой канализации [5] дано более конкретное определение для лотков, каналов, канав.

Здесь четко описано отличие лотков от каналов и канав, лотки также имеют градацию по назначению, однако такое разделение не соответствует принятому в действующих СП.

Практика применения запрета на устройство открытой системы ливневой канализации в многоэтажной жилой застройке повсеместно в нашей стране нарушается в отношении устройства лотков, в основном в пешеходной зоне дворов, небольших улиц, рекреационных территорий внутри жилой застройки вне зависимости от этажности застройки. Устройство лотков выполнено в виде открытых мощеных водотоков, лотков, покрытых дождеприемными решетками. Материал лотков применяется различный: бетон, железобетон, полимеры, металл. Дождеприемная решетка на лотках также различной конструкции и материал изготовления в зависимости от возможной нагрузки: полимер, чугун, сталь, нержавеющая сталь. Габариты лотков в различных городах отличаются. В Санкт-Петербурге максимальная ширина лотков приближается к 1 м, минимальная – 0,1 м. В Москве основные габариты лотков по ширине – 0,1-0,2 м., на ул. Пятницкой устроен открытый лоток, выполненный из цельных каменных блоков малой глубины и шириной до 0,5 м. В менее обеспеченных городах лотки отсутствуют, там используется закрытая система, построенная еще в советское время.

Нарушения при устройстве элементов открытой системы ливневой канализации в многоэтажной застройке являются вынужденными, так как в больших городах производится реконструкция и реновация старых районов, даже новые строительные участки стесненные.

Общая тенденция – уменьшение дворового пространства с увеличением плотности населения. В то же время большое количество дворов при новом строительстве расположено на стилобатах подземных автостоянок, что приводит к невозможности устройства полноценной закрытой системы

ливневой канализации. Расход дождевой воды с таких небольших площадок относительно невысок, но если производить сбор ее традиционным способом - устройством вертикальной планировки с уклоном до точки сброса в закрытую систему ливневой канализации, происходит подтопление пожарных проездов при сильных ливнях, неудобство для пешеходов. Устройство неглубоких лотков, прокладываемых с уклоном, равным уклону вертикальной планировки позволяет убрать воду с тротуаров и проездов, организованно отвести ее и сбросить в закрытую систему ливневой канализации.

Для сравнения рассмотрим опыт применения лотков для отвода воды наших европейских коллег.

Анализ зарубежной нормативной базы показал, что принятого в нашей стране запрета на устройство лотков в населенных пунктах не существует. Лотки применяются повсеместно, в основном в пешеходной зоне, а также на участках с малой скоростью движения транспорта.

Еврокод EN 1433.3 в зависимости от формы и размеров лотков дает градацию лотков, применяемых при дорожном строительстве и в зоне застройки.

По данным [6] «…система канализации в Германии насчитывает около 445.700 км коммунальной канализации, из них 51 % общесплавной канализации, через которую одновременно отводится грязная и дождевая вода. Существует около 134.000 км канализации чисто бытовых стоков. В нее сбрасываются для обработки наряду с бытовыми и промышленными, грязными водами и фекалии. Дождевые воды отводятся отдельно через ливнеспуски, насчитывающие около 85.000 км. В качестве альтернативы - фильтрация дождевых вод на месте. Наряду с коммунальной канализационной сетью есть канализационная сеть, находящаяся в частной собственности, например, на крупных промышленных предприятиях. Нет точных данных о протяженности таких сетей». То есть, даже в развитой европейской стране более половины сетей канализации – общесплавные и говорить о серьезном нормировании в данном случае не приходится.

Основное требование к лоткам в пределах населенного пункта – безопасная конструкция, предотвращающая падение человека как в лотки без воды, так и при заполнении их при ливнях. Конструкция лотков – неглубокая:

– для открытых лотков без решетки глубина не более 0,1 м в самой глубокой части при большой ширине (0,5-0,7 м) и пологом профиле.

Из открытых лотков вода поступает в дождеприемные решетки закрытой системы ливневой канализации, расположенные в пониженных точках планировки. Примеры устройства такого рода лотков приведены ниже.

Открытые лотки, как правило, устраиваются на мощеных мостовых из такого же камня, что и основное покрытие, не нарушая общего архитектурного ансамбля улицы.

Закрытые решеткой лотки получили менее широкое распространение вследствие более высокой цены и необходимости постоянной эксплуатации

из-за засорения. Такие системы требуют установки пескоуловителей и регулярной очистки. Решетки выполняются, главным образом, из чугунного литья или стальные, при обосновании – из различных полимеров. Закрытые лотки также небольшого сечения и глубины: глубиной – до 200 мм, шириной – до 300 мм, что связано с безопасностью при нарушении целостности решеток. Вода по закрытым решетками лоткам направляется в закрытую систему ливневой канализации, перед сливом устанавливаются пескоуловители или врезка производится непосредственно в дождеприемные решетки, имеющие осадочную часть.

Экспериментально-лабораторные исследования работы лотков в условиях неравномерного и неустановившегося движения

Цель исследования – определение пропускной способности дождеприемных лотков из различных материалов, в различных гидравлических условиях.

Задачи исследования:

– определение пропускной способности открытой дождевой канализации, при различных уклонах;

– определение максимального/минимального расходов воды в лотках;

– определение степени наполнения дождевых лотков;

– определение пропускной способности открытой дождевой канализации, при различной интенсивности выпадения осадков.

Место проведения исследований

Исследование проводились в лаборатории кафедрой сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения, института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова (РГАУ-МСХА имени Тимирязева), г. Москва, ул. Б. Академическая, д. 44

Время проведения исследований

Исследование проводились с 01. 07. По 31. 07.2019 г.

Лабораторная установка

Для проведения исследований была создана лабораторная установка, предназначенная для моделирования работы системы открытой дождевой канализации (рис. 2), установка представляет собой часть открытой дождевой канализации, с возможностью изменения уклона и материала изготовления лотка.

С двух сторон от дождевого лотка предусмотрена водосборная площадка, с определенной шероховатостью, имитирующая асфальтовое покрытие. Площадка установлена с определенным уклоном по направлению к открытой системе дождевой канализации.

Уклон водосборной площадки переменный с возможностью регулирования в пределах 0,005-0,003

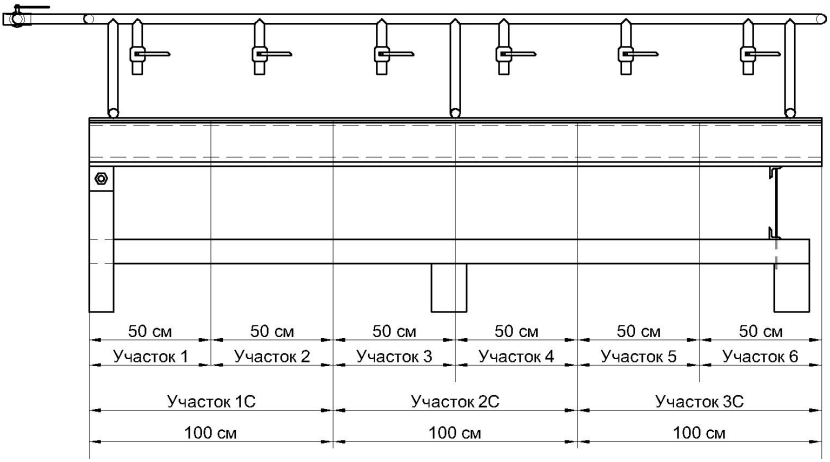


Рис. 1. Участки измерения глубины и скорости движения воды в лотке

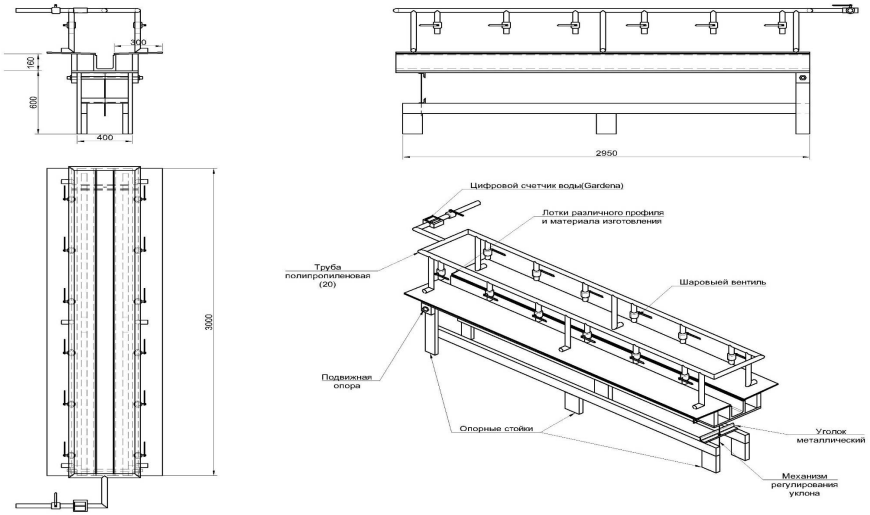


Рис. 2. Схема лабораторной установки

Вода поступает по системе трубопроводов через 12 специальных насадок на водосборную площадку. Расход воды определяется через цифровой расходомер.

Лабораторная установка состоит из следующих элементов:

1. Деревянная опорная стойка;

2. Деревянный лоток (3,0×0,4×0,16 м) где можно размешать лотки разных размеров и из разных материалов;

3. Полипропиленовые трубы Дн 20×1,9 для распределенной подачи воды в лоток при моделировании распределенной подачи;

4. Кран шаровой d 20 мм, полипропилен (12 ш.);

5. Цифровой счетчик воды Gardena;

6. Трубы ПВХ D110 мм для сброса воды (слива) в трап;

7. Механизм для изменения уклон лотков.

Испытания проводились для различных лотков, при различных уклонах.

Испытания проводились для следующие лотков:

– Лоток водоотводный пластиковый DN100 Размер: 1000×146×138,5 мм; 1000×199×118,5 мм; 1000×249×118,5 мм;

Так же испытание проводились для этих лотков после их цементирования (имитация ж/б и бетонных лотков).

После установления необходимого уклона система заполняется водой и работает до тех пор, пока не выйдет весь воздух из системы.

После полного удаления воздуха из системы устанавливается необходимый расход воды в установке.

Для определения расхода воды каждой из насадок использовали мерный стакан и секундомер.

Затем устанавливается интенсивность выпадения осадков, таким образом, чтобы в каждой из 12 насадок была одинаковая интенсивность.

После того как определены и выравнены расходы воды каждой из насадок, определяется уровень воды на каждом участке лотка (степень наполнения участка). Определения наполнения проводились по 5 раз на каждом из расчетных участков.

Следующим этапом определялись скорости движения воды. Определение скоростей проводилось на трех участках длиной 1 м, при помощи специальных поплавков и цветного колера.

Каждое измерение проводилось 20 раз. Данные всех измерений заносились в специальную таблицу.

После определения скорости, наполнения и расхода каждой из насадок, изменялся общий расход воды в системе при неизменном уклоне, и все измерения проводились заново.

На каждый уклон измерения проводились 6 различных общих расходов.

<u>По итогам</u> проведенных изысканий предлагаем следующие рекомендации (эти рекомендации так же могут быть приняты как рекомендации по корректировке СП):

Использование систем открытой дождевой канализации допустимо в условиях многоэтажной застройки, поскольку позволит разгрузить систему ливневой канализации, отвести избыточную воду при ливневых дождях и уменьшить площадь подтопления.

При расчете лотков ливневой канализации обоснованно применять существующие математические модели, основанные на формулах акад. Павловского Н.Н. и Маннинга.

Для определения расчетных расходов и уклонов лотков определяется расход притока с прилегающей территории по СП 32.13330.2012 по методу предельных интенсивностей.

При расчете лотков на ограниченной площади сбора с водонепроницаемым покрытием следует руководствоваться определением расчетных расходов по методике СП 30.13330.2016 аналогично расчету для кровли.

Для обеспечения безопасности и предупреждения травматизма пешеходов размеры лотков, перекрытых решетками, ограничить габаритами не более 200×200мм по глубине и ширине.

Открытые лотки без решеток должны быть плавно сопряжены с основным покрытием прилегающей территории и использоваться только в пешеходной зоне. Максимальная глубина таких лотков – не более 55 мм. Расчетные расходы лотков должны быть рассчитаны на наполнение не более 0,98, уклоны лотков и скорости в них должны обеспечивать самоочищение и защиту от истирания дна дождевыми стоками.

Минимальный диаметр водостоков принимается равным 400 мм. Допускается применение открытых водоотводящих устройств в виде кюветных лотков на городских дорогах и в районах малоэтажного строительства. Открытая дождевая канализация состоит из лотков и канав разного размера с искусственной или естественной одеждой и выпусков упрощенных конструкций. Дождеприемники при этом не устраивают.

Материал лотков и решеток должен быть определен в зависимости от климатической зоны, максимальной динамической и статической нагрузки на них (бетон, полимербетон, металл, полимер) и определяться проектом.

Общие рекомендации: при устройстве лотков необходимо учитывать режим эксплуатации вследствие повышенной засоряемости. Периодичность очистки лотков от песка, листьев и мусора определяется в каждом конкретном случае индивидуально из опыта эксплуатации в зависимости от местных условий, но не реже 2 раз в год весной и осенью.

Мировая и отечественная практика доказывает необходимость и возможность применения малых лотков в многоэтажной городской застройке без ущерба безопасности людей и угрозы затопления и подтопления территории. Назрела необходимость корректировки существующих нормативных документов.

Однако корректировки СП 42.133330.2016 и СП 32.13330.2012 в данном случае недостаточно. Основным СП, ограничивающим применение лотков открытой системы ливневой канализации, является СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления». Данный СП является главенствующим, обеспечивающим безопасность жизнедеятельности людей и поэтому должен быть также откорректирован.

Библиографический список

1. СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления».

2. СП 42.133302016 «СНиП 2.07.01-89*» Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».

3. СП 32.13330.2012. «Канализация. Наружные сети и сооружения».

4. СНиП 2.06.15-85 «Инженерная защита территорий от затопления и подтопления».

5. Технические указания по проектированию и строительству дождевой канализации. Утверждены приказом Минжилкомхоза РСФСР № 468 от 18 сентября 1980 г. Москва Стройиздат 1985.

6. Институт экологической техники и управления Университета Виттен-Хердеке г. ГмбХ Alfred-Herrhausen-Straβe 4458455 Witten Берлин - Бонн - Виттен, сентябрь 2001 ISBN 3-934898-26-2.

7. Еврокод EN 1433.3 Лотки водосточные канальные для автодорог и пешеходных зон.

8. Еврокод EN1433 Таблица классов нагрузки по системе.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

К.С. Неверов, технический директор, ООО «Пенетрон-Москва», г. Москва

Водохозяйственный комплекс – важнейшая отрасль народного хозяйства России, решающая не только задачи водообеспечения страны, но и правильного использования, управления, защиты и охраны водных объектов и ресурсов.

В настоящее время гидротехнические сооружения являются сложными системами, обеспечивающими безопасность окружающей среды, и, поэтому требуют к себе повышенного внимания и надлежащего контроля. Но, из-за недостаточного финансирования на проведение восстановительных и аварийных работ, существует множество проблем, связанных с надежной эксплуатацией гидротехнических сооружений. Их техническое состояние постоянно ухудшается, многие сооружения находятся в аварийном состоянии, потому что эксплуатируются без ремонта и реконструкции не один десяток лет. Содержать такие объекты непросто, потому что в процессе эксплуатации они испытывают постоянные негативные воздействия грунтовой и технологической воды или химически агрессивных сред, что разрушающе действует на строительные конструкции. И в случае нарушения их нормальной работы наносится невосполнимый ущерб экологии, объектам экономики и природопользования.

Таким образом, вопросы надежности и долговечности строительных конструкций являются главными проблемами при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов водного хозяйства. Из-за разнообразных, а порой и экстремальных нагрузок и воздействий, испытываемых этими объектами, необходимо максимально тщательно прорабатывать вопрос их сохранности и нормальной эксплуатации.

Многие гидротехнические объекты российских городов, введенные в эксплуатацию еще в советские времена, нуждаются в срочном ремонте. Не секрет, что в то время строительство в значительной степени велось по типовым проектам, что позволяло значительно ускорить выполнение работ, однако тормозило использование новых, более эффективных решений. Устройство защиты конструкций также выполнялось традиционными для того времени методами - снаружи обычно выполнялась обмазочная битумная гидроизоляция. Внутренняя гидроизоляция была выполнена методом торкретирования цементно-песчаным раствором. В те годы такая защита от воды была оптимальным вариантом, хотя срок ее службы всего 5-10 лет. Так что сейчас от нее мало что осталось. Поэтому железобетонные конструкции в процессе эксплуатации подвергаются постепенному износу и разрушению. Процессы разрушения бетона усиливаются под воздействием на него агрессивных сред, а также процессов, связанных с замораживанием и оттаиванием воды в теле бетона, что весьма актуально для сооружений, имеющих постоянный контакт с водой. При этом при воздействии на бетон жидких сред, не содержащих

агрессивных по отношению к стали ионов (Cl^-, SO_2^{2-}) в первую очередь разрушается бетон, т.е. процесс коррозии бетона является ведущим. В условиях газовоздушной среды (например, при повышении относительной влажности воздуха более 60%), а также при воздействии на конструкцию жидких или твердых сред, содержащих агрессивные по отношению к стали ионы, возможно развитие коррозии арматуры. В этом случае, продукты ржавчины накапливаются на арматуре, давят на бетон, вызывают появление трещин, а затем и отслоение защитного слоя.

Все эти проблемы грозят печальными последствиями. Снижение качественных характеристик железобетонных конструкций и их разрушение приводит к тому, что неочищенная вода на объектах водопроводно-канализационного хозяйства попадает напрямую в грунт, загрязняет прилегающую территорию, ухудшая ее экологическое состояние.

В случаях с объектами хозяйственно-питьевого водоснабжения ситуация обратная. Здесь необходимо уберечь питьевую воду от вредных веществ, проникающих вместе с грунтовыми водами через разрушенные ограждающие конструкции.

Все это рано или поздно приведет к невозможности нормальной эксплуатации объекта и большим затратам на проведение восстановительных работ. Конечно, если бы возникающие проблемы решались в плановом режиме, то на начальной стадии затраты на ремонт были бы гораздо меньше. Однако проблемы копились не одно десятилетие, и решить их в один момент весьма трудная задача, даже в свете улучшения экономической ситуации в стране. Поэтому при реконструкции или новом строительстве подобных объектов особое внимание следует уделять выбору гидроизоляционных составов.

Современный строительный рынок предлагает огромное количество составов и технологий для устройства качественной и надежной гидроизоляции конструкций. Наиболее экономичными и эффективными являются материалы «Пенетрон». Пенетрон – это не просто всемирно известная торговая марка гидроизоляционных материалов, применяемых в 140 странах мира, это уникальная система защиты бетона от негативного воздействия воды и агрессивных сред, позволяющая значительно продлить срок службы зданий и сооружений.

Производителем материалов является холдинг «Группа Компаний «Пенетрон-Россия», который на протяжении уже 28 лет занимается разработкой, производством и реализацией материалов предназначенных для гидроизоляции, герметизации и антикоррозионной защиты зданий и сооружений различного назначения. На сегодняшний день в состав российского холдинга входят более 280 представительств на территории России, СНГ, стран Европы и Азии, а также 5 заводов по производству материалов, расположенные в России, Белоруссии, Казахстане и Германии.

Применение материалов системы «Пенетрон» не только предотвращает проникновение воды в тело бетона, но и защищает его от воздействия агрессивных сред (кислот, щелочей и т.д.), промышленных, сточных, грунтовых вод, а также повышает морозостойкость и прочность.

Система материалов «Пенетрон» объединяет в себе несколько составов, каждый из которых направлен на решение своих конкретных задач. Комбинируя материалы друг с другом, можно легко выполнить любую задачу в области гидроизоляции бетонных конструкций, как на стадии нового строительства, так и при выполнении ремонтных работ, что подтверждено множеством уже реализованных проектов. Так, например, в одном только 2018 г. с помощью материалов системы «Пенетрон» в Московской области были надежно защищены более 40 объектов гидротехнического строительства.

Кроме того, специально для сферы ВКХ разработан Стандарт Организации 6658209531-002-2015 «Гидроизоляция бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений», содержащий информацию о требованиях к гидроизоляции гидротехнических сооружений и практическое руководство по ее устройству.

Данный документ рассматривает вопросы гидроизоляции как на этапе бетонирования (рис. 1), так и во время эксплуатации сооружений (рис. 2).

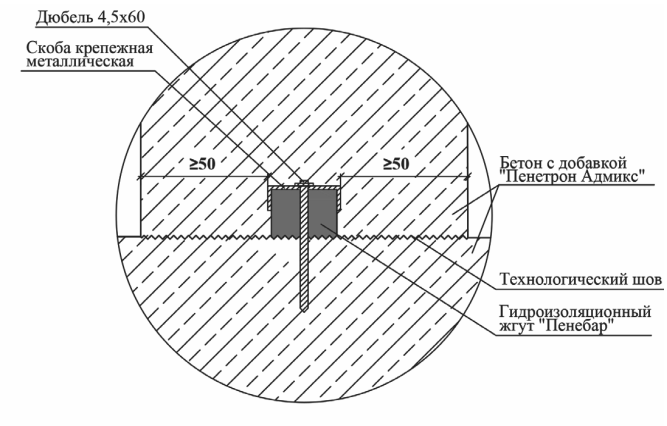


Рис. 1. Гидроизоляция швов бетонирования на этапе бетонирования

В 2018 году на стадии бетонирования была выполнена защита комплекса гидротехнических сооружений (ВЗУ, КНС, очистные сооружения) в индустриальном парке «Есипово» (Солнечногорский р-н). Для обеспечения водонепроницаемости бетонных конструкций применялась гидроизоляционная добавка «Пенетрон Адмикс», для гидроизоляции швов бетонирования – гидроактивный жгут «Пенебар».

При этом стоит отметить, что устройство гидроизоляции на этапе бетонирования с использованием материалов «Пенетрон Адмикс» и «Пенебар» приводит к значительному сокращению финансовых и трудовых затрат как при строительстве, так и при дальнейшей эксплуатации сооружения.

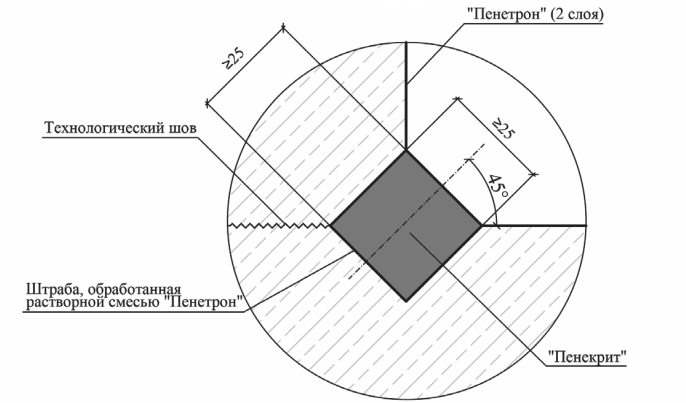


Рис. 2. Гидроизоляция швов бетонирования

Для ремонта и восстановления гидроизоляции используются материалы «Пенетрон» и «Пенекрит». «Пенетрон» обеспечивает абсолютную водонепроницаемость бетона конструкций, а с помощью материала «Пенекрит» выполняется ремонт и гидроизоляция швов, стыков, трещин, вводов коммуникаций и т.д. Данная технология применялась для устройства гидроизоляции биореакторов в г. Руза.

Технология применения материалов достаточно проста, не требует длительной подготовки поверхности и использования сложного дорогостоящего оборудования и при этом позволяет обеспечить долговечную защиту – на весь срок службы сооружения.

Помимо соответствия технических характеристик, гидроизоляционные материалы системы «Пенетрон» отвечают действующим нормам в области безопасности. Все материалы прошли испытания в федеральных надзорных органах и экспертизу в ведущих лабораториях России, стран СНГ и Европы, что подтверждено необходимыми сертификатами и заключениями. На сегодняшний день «Пенетрон» – это наиболее эффективная гидроизоляция, а возможность оценить ее превосходное качество доступна каждому.

Библиографический список

1. СТО 6658209531-002-2015. Гидроизоляция бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений. М.: асс. «Гидропроект», 2015.

2. Технологический регламент на выполнение работ по гидроизоляции и антикоррозионной защите монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: СРО «РСППГ», 2017.

3. «Гидроизоляция очистных сооружений» // журнал «Сухой закон», № 2-3 (93-94) 2014.

4. Сайт ООО «Пенетрон-Москва» [Электронный ресурс]. – М.: ООО «Пенетрон-Москва», - режим доступа: https://www.penetron-moscow.ru/, свободный.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРАКТИКЕ НАИЛУЧШЕЙ ДОСТУПНОЙ ТЕХНОЛОГИИ (НДТ) ДЛЯ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Р.Ш. Непаридзе, д.т.н., проф., Генеральный директор, ООО Институт «Гипрокоммунводоканал», г. Москва; **М.В. Уракин**, директор; **Н.Н. Беляев**, заместитель директора; **А.И. Соколов**, инженер-технолог, ООО «РВКН», г. Москва

Работа существующей станции биологической очистки сточных (БОС) вод ФБУЗ «Лечебно-реабилитационного центра Минэкономразвития России», введенной в эксплуатацию в 1973 году, производительностью 4,2 тыс.м^3/сут, к 2007 г. перестала удовлетворять возросшим требованиям к качеству сточных вод, сбрасываемых в р. Вороновка, правый приток р. Моча, со средним стоком 0,5 м^3/с., протяженностью 7 км. При этом, несмотря на свои небольшие размеры, Вороновка является рекой рыбохозяйственного значения.

Как показали анализы очищенный сточных вод, значительное превышение наблюдалось по следующим показателям:

- Взвешенные вещества – в 3 раза;
- БПК$_5$ – в 5 раз;
- аммоний-ион – в 3 раза;
- нитрит-ион – в 3 раза;
- железо – в 1,5 раза;
- фосфаты – в 16,8 раз;
- нефтепродукты – в 2,5 раза.

Очевидно, что улучшение показателей эксплуатируемых очистных сооружений могло быть достигнуто только за счет их технического оснащения современной системой доочистки. Поэтому руководством ФБУЗ «Лечебно-реабилитационного центра Минэкономразвития России» было принято принципиальное решение по проектированию и строительству станции доочистки. Этому решению способствовало также то обстоятельство, что ОСК этого центра находятся в экологически чистой зоне Московской области, на границе Мещерской низменности. Разумеется сохранению уникальных природных условий и охране водоемов от загрязнений здесь уделялось особое внимание со стороны природоохранных органов.

Эксплуатируемая станция биологической очистки сточных вод ФБУЗ «Лечебно-реабилитационного центра Минэкономразвития России» 1973 года постройки была рассчитана на результаты полной биологической очистки, т.е. до содержания БПК$_5$ и взвешенных веществ 10÷15мг/л. и снижением азота и фосфора на 40%.

Ниже приводится полный состав этой станции биологической очистки сточных вод, соответствующий классическим схемам, в большинстве своем применяемым 40÷50 лет назад:

1. Блок механической очистки:

– тангенциальные песколовки – 2 шт;

– первичные вертикальные отстойники − 3 шт.

2. Блок биологической очистки:

– аэротенки промежуточного типа − 3 шт;

– вторичные вертикальные отстойники − 3 шт.

3. Блок обеззараживания:

– контактные резервуары − 3 шт;

– блок приготовления и дозирования гипохлорита натрия − 1 шт.

4. Компрессорная станция − 1 шт.

5. Блок обработки осадка:

– илоперегниватели − 3 шт;

– иловые площадки − 1 шт.

При детальном натурном обследовании работы этой станции биологической очистки сточных вод были установленыглавные проблемы: неудовлетворительная работа аэротенков и недопустимо низкая надежность работы очистных сооружений при резком увеличении расхода поступающих стоков в период дождей и снеготаяния.

В первом и втором аэротенках применена распределительная аэрационная система из аэрационных пластиковых труб покрытых нетканным материалом. Данный вид аэрационной системы подвержен обрастанию микроорганизмами при остановке подачи на них воздуха в аварийных ситуациях. Также в первом аэротенке визуально наблюдается плохое перемешивание иловой смеси, вызванное биообрастанием аэраторов.

В третьем аэротенке в качестве аэраторов применены мелкопузырчатые колпачки. Перемешивание иловой смеси здесь было более удовлетворительное, однако содержание кислорода здесь оказалось самым низким.

Наладчиками ООО «РВКН» было предложено заказчику произвести до ввода сооружений доочистки замену аэраторов в аэротенках, а также изменить схему подачи осветленной воды из первичных отстойников, направив ее непосредственно в начало аэротенка с выделением в нем анаэробной зоны. Данная схема позволила бы продлить пребывание сточной жидкости в аэротенке с выделенной зоной денитрификации, что значительно улучшает биохимические показатели очистки.

Однако реконструкция аэротенков к началу проведения пусконаладочных работ была не выполнена, что значительно осложнило в последующем проведение пусконаладочных работ на сооружениях доочистки.

Станция доочистки биологически очищенных сточных вод по проекту, выполненному в 2007 г. ПК «Комфорт» г. Нижний Новгород, была смонтирована специалистами ООО «РВКН» за 5 месяцев в следующем составе:

1. Блок подачи стока на станцию доочистки:

– насосные агрегаты в контактных резервуарах – 3 шт.;

– частотные преобразователи управления насосами – 3 шт.;

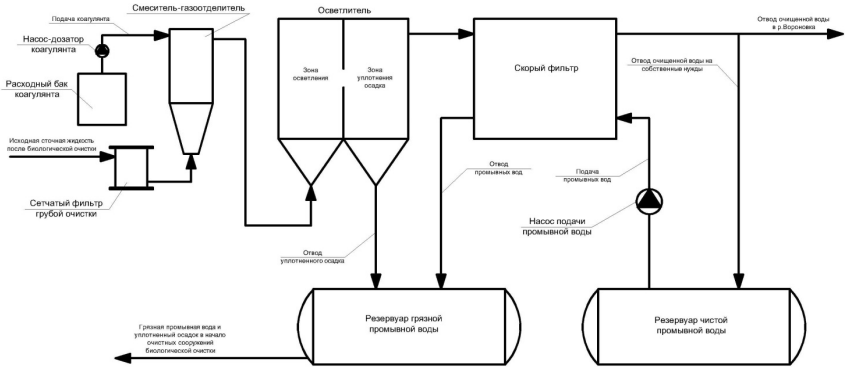
– поплавковые датчики уровня в контактных резервуарах – 3 шт.;

– система трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.

2. Блок осветлительно-фильтровальный:

– фильтр сетчатый – 1 шт.;

– смеситель-газоотделитель – 1 шт.;
– отстойники-осветлители – 6 шт.;
– биофильтры с песчаной засыпкой – 6 шт.;
– система трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.
3. Блок промывки биофильтров:
– насосы центробежные для промывки фильтров – 2 шт.;
– насосы самовсасывающие для наполнения РЧВ – 2 шт.;
– РЧВ объемом 60 м^3 – 1 шт.;
– резервуар промывных вод объемом 60 м^3 – 1 шт.;
– система трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.
4. Блок ввода реагентов:
– расходные емкости коагулянта объемом по 1 м^3 – 3 шт.;
– устройства размешивания реагентов – 3 шт.;
– насосы-дозаторы – 2 шт.;
– система трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.



Технологическая схема доочистки

Все технологическое и насосное оборудование доочистки сточных вод было размещено в отдельно стоящем быстровозводимом отапливаемом ангаре размером 24×36 метров.

Трехсуточное комплексное опробование станции доочистки, проводимое с 11 по 14 марта 2018 г., по утвержденной заказчиком программе не выявило недостатков в работе сооружений и оборудования.

К технологической наладке станция была готова в апреле 2018г. При этом перед пусконаладочной организацией стояли следующие серьезные задачи:

1. Организация пусконаладочных работ построенной станции доочистки неукомплектованной заказчиком эксплуатационным персоналом.

2. Решение проблемы поступления грязных, плохо очищенных сточных вод от БОС на доочистку.

3. Организации качественного контроля за поступающими на станцию реагентами.

4. Стабилизация процесса дефосфотации воды за счет подбора оптимальных доз коагулянта.

5. Оценка применения биопрепаратов для интенсификации биологических процессов.

Проводимые с апреля по август 2018 г. пусконаладочные работы за счет специально разработанных и практически используемых мероприятий позволили получить уникальные показатели полностью очищенных сточных вод, сбрасываемых в р. Вороновка, которые приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Показатель	**Вход на доочистку**	**Выход с доочистки**	**ПДК**
Взвешенные вещества, мг/л	2,0	0,4	10,75
Сухой остаток, мг/л	613,0	683	1000
$БПК_5$, мгO_2/л	1,5	1,2	2,1
Сульфаты, мг/л	72,44	72,5	100
Хлориды, мг/л	122,64	117,8	300
Железо общее, мг/л	0,23	0,08	0,1
Нефтепродукты, мг/л	0,22	0,03	0,05
Нитрит-ион, мг/л	12,0	0,07	0,08
Нитрат-ион, мг/л	41,75	37,8	40,0
Фосфат-ион, мг/л	1,52	0,18	0,2
Аммоний-ион, мг/л	0,09	0,38	0,5
НСПАВ, мг/л	0,19	0,16	0,5

Как видно из этой таблицы, выходящий сток полностью соответствует требованиям ПДК.

В ходе проведения пусконаладочных работ составлена инструкция по эксплуатации станции доочистки обслуживающим персоналом.

Для своевременного предотвращения возможных нарушений технологического режима очистки сточных вод для эксплуатирующего персонала разработан технический регламент.

Выводы

1. Разработана и предложена эффективная и гибкая технологическая схема для глубокой очистки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод при жестких экологических и санитарных условиях.

2. Удаление фосфатов и доочистка от растворенных и взвешенных загрязнений наиболее эффективно проводится в фильтре доочистки с использованием реагентов.

3. Несмотря на то, что данная технологическая схема доочистки была применена впервые, полученные положительные результаты показывают возможность ее практического применения в дальнейшем.

4. Дестабилизирующими факторами, которые могут привести к ухудшению показателей очистки сточных вод, сбрасываемых в р. Вороновка от этой станции, могут быть следующие:

- грубые нарушения условий приема сточных вод на данные очистные сооружения;
- неудовлетворительная работа аэротенков из-за вышедшей из строя системы аэрации.

5. Приемы биоинженерии: применение ферментов, специально подготовленных штаммов микроорганизмов, мутогенез для интенсификации процессов биологической очистки оказывается не перспективным применительно к очистке хозбытовых сточных вод из-за высокой стоимости и трудоемкости ввода.

6. Полученные результаты будут использованы специалистами ООО «РВКН» в дальнейшей своей практике пусконаладочных работ.

Библиографический список

1. Разумовский Э.С., Непаридзе Р.Ш., Очистка сточных вод малых населенных пунктов. Водоснабжение и сан.техника.2000. № 6.С.4-8.

2. Михеев Н.Н., Порядин А.Ф., Швецов В.Н., Беляев .Н.Н. и др. Речной бассейн и экологически безопасное водопользование. 2000. №6.С.26-28.

3. Непаридзе Р.Ш. Станция для глубокой очистки сточных вод, патент РФ, № 2048457 от 16.11.1995 г.

4. Непаридзе Р.Ш. Биореактор для очистки сточных вод, свидетельство на полезную модель, №1063 от 16. 11. 1995 г.

5. Непаридзе Р.Ш. Особенности глубокой очистки сточных вод для населенных мест, Вода, экология и технология, каталог Экватэк, 2008 г.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОПЫТ КАЗАХСТАНА В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

К.Т. Оспанов, проф., к.т.н.; **М.М. Мырзахметов**, проф., д.т.н., НАО «КазНИТУ им. К.И. Сатпаева», г. Алма-Ата, Казахстан

Состояние окружающей среды и ее компонентов все в большей степени влияет на экономическое развитие, здоровье и продолжительность жизни. Дальнейшее неконтролируемое возрастание антропогенной нагрузки на природные ресурсы может привести к глобальному нарушению природного равновесия, что повлечет за собой разрушение естественного баланса жизнедеятельности человечества [1].

Рационализация природопользования и эффективность природоохраны предполагают необходимость исследования проблем, оптимизации взаимодействия общества и природы, и путей их решения; эффективности использования природных ресурсов для производственных и непроизводственных целей; активизации применения методов предотвращения или ликвидации загрязнения и другого ущерба, наносимого природной среде.

В системе защиты окружающей среды от загрязнения очистка сточных вод является одним из основополагающих компонентов. Сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водоемы постоянно ухудшают их состояние.

Качество очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы должно поэтапно улучшаться. Для этого в настоящее время в данной области наметились новые тенденции и подходы, направленные на решение проблем, существование которых ранее не принималось во внимание.

Нами были обследованы современные состояния очистки сточных вод городов Нур-Султан и Алматы и были внедрены некоторых результатов наших исследований.

Сточная вода города Нур–Султан поступает в приемную камеру перед главной городской канализационной насосной станцией, после чего по каналам проходят через решетки для удаления купных отбросов. Далее стоки насосами подаются по трем напорным трубопроводам Д =1200 мм, разделение стоков производится через регулируемые водосливы, таким образом распределяется на сооружения I и II очереди пропорционально их производительности (136 000 $м^3$/сут. и 118 000 $м^3$/сут. соответственно).

Общая схема технологического процесса очистки сточных вод подаваемых на канализационные сооружения I и II очереди г. Нур-Султан представлена на рис. 1.

Доочистка сточных вод производится с устройством системы флотофильтров с применением реагентов согласно схеме, разработанной фирмой KWI.

Сточные воды после биологической очистки имеют показатели по параметрам БПК, ХПК, азотной группы соответствующие нормативам на сброс в водоем культурно-бытового водопользования (по показателю фос-

фаты достигается значение ПДК при использовании значительного объема реагента-коагулянта согласно проектному решению). Вторичные отстойники не всегда позволяют выйти на норматив сброса по параметру взвешенных веществ (ВВ), в связи с чем применяется флотация и фильтрация биологически очищенной сточной воды.

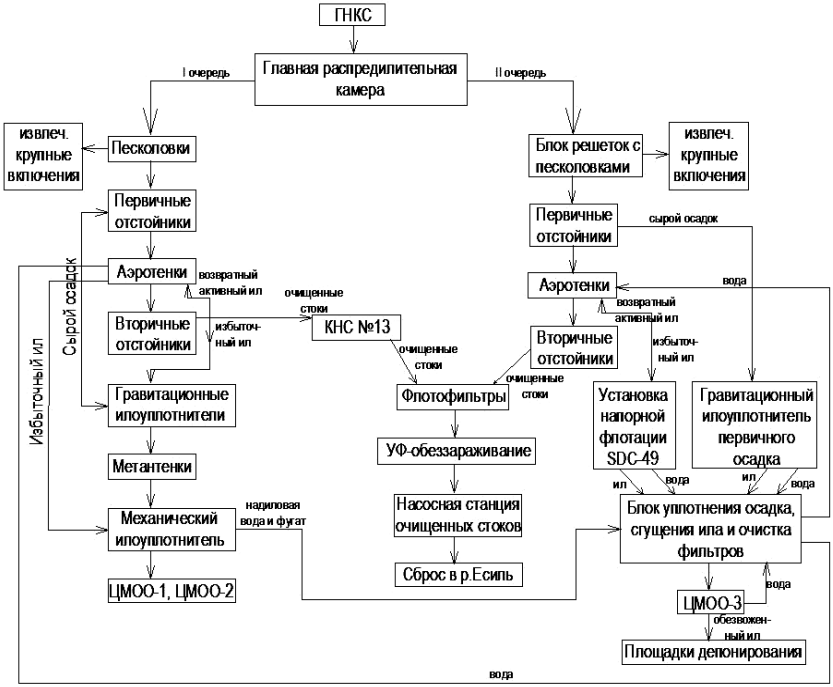


Рис.1. Общая схема технологического процесса очистки сточных вод, подаваемых на КОС I и II очереди

На предлагаемой ступени доочистки сточная вода проходит следующие стадии обработки:

Очищенная вода после вторичных отстойников в приёмно-распределительной камере перед флотофильтрами смешивается с очищенной водой после I очереди очистных сооружений и далее самотёком поступает на доочистку песчаные флотофильтры. Для удаления фосфатов дозируется коагулянт, при превышении взвешенных веществ и увеличении мутности применяется реагентная обработка флокулянтом.

Стадия флотации введена для того, чтобы принять большую нагрузку по взвешенным веществам и разгрузить стадию фильтрации. Флотация эффективно удаляет большую часть загрязнений. Фильтрация через песчаный слой снимает остаточные загрязнения; это заключительная стадия очистки, позволяющая достичь требуемых показателей очистки.

Для очистки сточных вод на КОС г. Нур-Султан применена система водоочистки на основе флото-фильтрационных установок компании «KWI» (Австрия), сочетающих в себе процесс флотационной очистки от основной массы взвешенных веществ и доочистку в слое песчаной загрузки в одной установке.

Обобщенные показатели качественного состава очищенной воды города Нур-Султан представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обобщенные показатели качественного состава очищенной воды города Нур-Султан

Определяемые показатели	Ед.изм.	I-квартал	II- квартал	III- квартал	IV- квартал
pH		7,11	7,09	6,9	6,9
Растворенный кислород	мгO_2/л	5,83	6,9	5,64	6,83
БПК$_5$	мгO_2/л	3,5	3,3	3,4	4,0
ХПК	мгO_2/л	34	31	33	35
Взвешенные вещества	мг/л	6,2	6,4	6,0	6,3
Хлориды	мг/л	336,0	336,0	282,0	288,0
Фосфаты	мг/л	0,89	2,34	2,82	3,16
Сухой остаток	мг/л	986,0	992,0	998,0	987,0
Азот аммонийный	мг/л	1,92	1,82	1,65	1,81
Нитраты	мг/л	36,02	39,57	42,43	43,94
Нитриты	мг/л	0,33	1,0	0,49	0,38
Железо	мг/л	0,26	0,24	0,28	0,27
Нефтепродукты	мг/л	0,08	0,1	0,07	0,1
ПАВ	мг/л	0,12	0,24	0,15	0,2
Сульфаты	мг/л	271	304	208	299

Полученные обобщенные показатели качественного состава очищенной воды города Нур-Султан свидетельствуют о том, что на станции аэраций г.Нур-Султан производится глубокая очистка сточных вод.

Стоки города Алматы, поступившие в общегородскую канализацию, подвергаются очистке на станции аэрации, в состав которой входят три цеха: механической очистки, биологической очистки и цех по отводу сточных вод.

Высотное расположение сооружений обеспечивает самотечный режим движения основных масс сточной воды, при этом используется естественный рельеф местности. Сооружения механической и биологической очистки соединены между собой шестью нитками Алматинского дюкера.

После механической очистки предусмотрена возможность сброса сточных вод по сбросному каналу в аварийную емкость объемом 1,5 млн.м^3 и на поля фильтрации, общей площадью 856 га, расположенные в 12 километрах севернее станции аэрации [2].

Биологически очищенные сточные воды по сбросному каналу отводятся в накопитель Сорбулак или в систему прудов-водохранилищ Правобережного Сорбулакского канала (ПСК), откуда часть стоков по аварийному сбросному каналу может сбрасываться в реку Или [2].

На станции осуществляется механическая и полная искусственная биологическая очистка сточных вод, с доочисткой в накопителях и биопрудах, а также с последующим обеззараживанием хлором при сбросе стоков в реку Или. Проектная (плановая) производительность сооружений 640 тыс.м^3 в сутки.

Обобщенные показатели химического состава поступающей, осветленной и очищенной воды станции аэраций г. Алматы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Обобщенные показатели химического состава сточных вод станции аэраций г. Алматы

Показатели	Поступающая вода	Осветленная вода	Очищенная вода
Температура, оС	17-23	17-23	17-24
pH	7,1-7,7	7,2-7,8	7,4-7,8
Взвешенные вещества, мг/л	326,0-946,0	98-322	10-20
Сухой остаток, мг/л	1200-1750	400-800	350-700
Азот аммонийный, мг/л	22,8-33,7	20,2-27,7	4,3 -8,7
Нитриты, мг/л	0,0-0,05	0,0-0,06	0,18-0,33
Нитраты, мг/л	0,13-0,57	0, 11-0,4	1,38-5,58
БПК$_5$, мгО$_2$/л	300-700	200-300	10-20
ХПК, мгО$_2$/л	1220-980	180-440	15-30
СПАВ, мг/л	0,4-0,9	0,2-0,7	0,02-0,09
Фосфаты, мг/л	8,9	7,2	3,1 -7,6
Нефтепродукты, мг/л	1,86-2,66	0,4-0,98	0,004-0,006
Хлориды, мг/л	68,6-79,4	60,3-74,1	58,6-64,5
Сульфаты, мг/л	67,6-73,5	64,2-67,6	59,8-62,5
Медь, мг/л	0,01-0,018	0,001-0,008	0,0006
Свинец, мг/л	0,001-0,005	0,00-0,002	0,0-0,001

Полученные результаты санитарно-химических анализов свидетельствуют о том, что на станции аэраций г. Алматы производится биологическая очистка сточных вод.

Анализ работы станции аэрации г. Алматы, что в отстойнике образуются так называемые «мертвые зоны» из-за непараллельности плоскостей борта отстойника и донной части, неровностей дна отстойника, различных строительных и монтажных отклонений между дном отстойника и сосуном.

В этих зонах происходит загнивание и последующее флотационное всплытие несобранного со дна ила и, как следствие, увеличение содержания взвешенных веществ в очищаемой воде. В придонной зоне отстойника средняя концентрация ила составляет 15-22 г/л и существенно понижается на расстоянии, превышающем 15 см, что соизмеримо с расстоянием от дна отстойника до впускной щели сосуна при соблюдении всех технических требований по монтажу илососа. Таким образом, значительное количество уплотненного ила не собирается сосуном и взмучивается при движении сосуна по окружности. При этом неизбежно разбавление ила за счет захвата приграничных слоев, вплоть до прорыва в сосуны воды, что приводит к сбору ила с высокой влажностью.

Для исключения вышеуказанных недостатков, нами разработан и внедрен на станции аэрации г.Алматы сосун для очистки дна радиального отстойника. Имеется патент на изобретение Республики Казахстан [3].

На рис. 2 изображены схемы сосуна для очистки дна радиального отстойника.

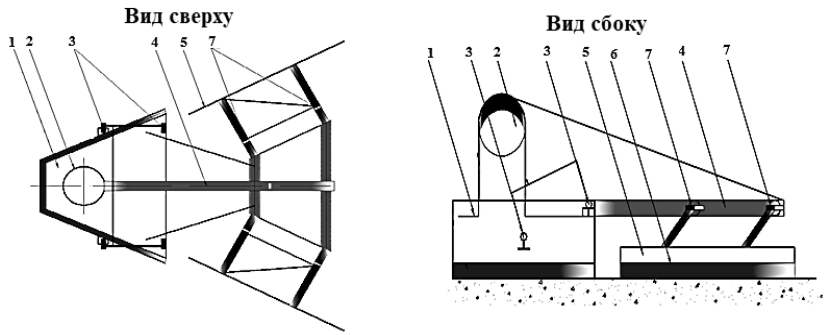


Рис. 2. Схемы сосуна для очистки дна радиального отстойника:
1 – неподвижная часть сосуна; 2 – трубопровод илососа для удаления осадка; 3 – шарниры подвижной части сосуна; 4 – крепления (рама) подгребающих скребков; 5 – подгребающий скребок; 6 – гибкая составляющая подгребающего скребка; 7 – шарниры подгребающего скребка

Предлагаемый сосун для механической очистки дна радиального отстойника изготавливается из металла и армированной резины. То есть неподвижная часть сосуна 1 изготовлена из листового металла толщиной 6мм, рама 4, на которую закрепляются подгребающие скребки смонтирова-

на из труб диаметром 100 мм, а подгребающие скребки 5 изготовлены из листового металла толщиной 3 мм. Для обеспечения жесткости в продольном направлении, скребки усилены металлическим уголком 50×50 мм. Снизу скребков, болтами М16, закреплена армированная резина толщиной 20 мм. Каждый из двух скребков шарнирно 3 закреплен на раме из труб рычагами из уголка 63×63 мм. Для придания жесткости рычаги дополнительно укреплены арматурой ø16 мм.

Устройство работает следующим образом: Во время нахождения сточных вод в радиальном отстойнике происходит их очистка за счет процессов выпадения взвешенных частиц на дно отстойника, таким образом, на дне радиального отстойника образуется слой ила. Образованный на дне ил удаляется путем всасывания через неподвижную часть сосуна в трубопровод илососа 2.

При этом использование предложенных подвижных скребков позволяет обеспечить эффективную и надежную работу данного сосуна, так как размеры и расположение подгребающих скребков обеспечивают им прохождение по всей очищаемой поверхности дна радиального отстойника. При этом гибкая составляющая подгребающего скребка 6 полностью контактирует с дном радиального отстойника, охватывая все неровности поверхности. Соединение подгребающих скребков шарнирами 3, 7 позволяет им поворачиваться относительно друг друга в вертикальной плоскости и наилучшим образом прилегать к неровностям дна, что также способствует повышению качества очистки.

Данный сосун для очистки дна радиального отстойника успешно работает на станции аэрации г. Алматы и обеспечивает удаление ила со всей площади радиального отстойника, улучшая состояние ила перекачиваемого в аэротенки. Фотографии сосуна для очистки дна радиального отстойника во время реконструкции станции аэрации города Алматы показаны на рис. 3.

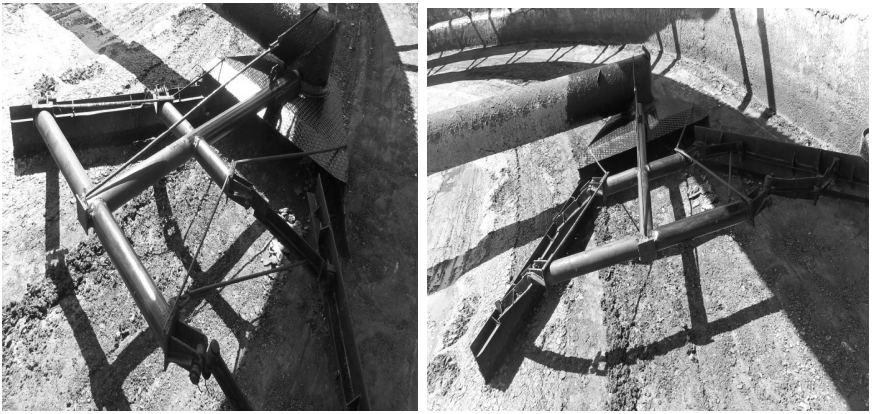


Рис. 3. Фотографии сосуна станции аэрации г. Алматы

А также обеспечивается экономический эффект, так как сосун можно ремонтировать на месте установки, что приводит к минимальным эксплуатационным затратам. На рис. 4 показан процесс замены гибкой составляющей подгребающего скребка, то есть армированной резины.

Рис. 4. Фотография замены гибкой составляющей подгребающего скребка

В целом данный сосун был внедрен на вторичный отстойник станции аэрации г.Алматы и успешно работает.

Библиографический список

1. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В. Водоотведение: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2007. 415 с.

2. Технологический регламент работы очистных сооружений станции Аэрации г. Алматы. 2005. – 128 с.

3. Патент № 2014/0748.1 от 30.05.2014 г. Устройство для механической очистки дна радиального отстойника // Оспанов К.Т., Демченко А.В., Тамабаев О.П.

ВКЛАД КАФЕДР «ВОДОСНАБЖЕНИЕ» И «КАНАЛИЗАЦИЯ» В РАЗВИТИИ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОВОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

И.И. Павлинова, д.т.н., профессор, АО «МосводоканалНИИпроект», г. Москва

Факультет «Водоснабжения и канализации» имеет богатую историю в развитии систем водоснабжения и водоотведения.

Сотрудниками кафедр написаны базовые учебники для всей отрасли систем водоснабжения и водоотведения. Учебники «Водоснабжение», написанные авторами Абрамовым Н.Н., Сомовым М.А. являются основополагающими в отрасли и до сих пор являются фундаментальными трудами [1-3].

Учебник авторов Прозорова И.В., Яковлева С.В. и Иванова Е.Н. «Рациональное использование водных ресурсов» впервые изданный в нашей стране, который определил основное направление в ресурсосбережении водных объектов России [4].

Шишкин З.Н. являлся первым автором учебника «Канализация». Кафедра продолжила развитие направления канализования и очистки сточных вод в России и создала новые дополненные издания этого учебника [5]. Авторами которого были Карелин Я.А., Яковлев С.В., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. и др.

Но отрасль водоснабжения и водоотведения требовала новых технических и технологических решений. Особенно востребованы вопросы реконструкции трубопроводных сетей, сооружений по водоподготовке и очистке сточных вод при выполнении действующих нормативов.

Профессор Орлов В.А. в написанных им учебниках и монографиях детально рассмотрел вопросы бестраншейной реконструкции трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения.

Проректор Гогина Е.С. предметно рассмотрела в монографии вопросы реконструкции сооружений по очистке сточных вод.

Но никакой учебник не поможет проектировщику, строителю или работнику водоканала проектировать строить или эксплуатировать системы водоснабжения и водоотведения. Поэтому сотрудники кафедр факультета ВиК активно принимали участие в разработки СНиПов, Сводов правил, разработки программ по рациональному водопользованию в Российской Федерации.

Одним из первых авторов СНиПа «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» был к.т.н. Макагонов В.С., а в создании СНиПа «Канализация. Наружные сети и сооружения» участвовали такие корифеи как Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. и др.

Сегодня нормативно–правовое поле в сфере водоснабжения и водоотведения практически полностью сформировано. Введенные в жизнь Федеральный закон №184 «О техническом регулировании» и новый «Градостроительный кодекс Российской Федерации» позволяют специалистам, работающим в сфере проектирования, строительства и эксплуатации инженерных систем водоснабжения и водоотведения, расширить свои возможности.

В настоящее время в России принципиально изменился подход к процессу создания новой нормативной базы и контролю качества продукции. Вначале Государство определяет «базовые» требования к продукции, основываясь на Федеральном законе «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (от 30.12.2009 N 384-ФЗ последняя редакция). Специалист, основываясь на своем опыте и квалификации, с учетом требований технического регламента и требований Заказчика, создает продукцию.

Такая свобода при принятии технического решения одновременно повышает ответственность специалиста за качество его реализации. В конфликтной ситуации, согласно действующему законодательству, специалист, утвердивший техническое решение, персонально отвечает всем своим имуществом за возможный ущерб.

Опыт формирования нормативных документов показывает, что без глубокого анализа, сбора статистических данных по уже эксплуатируемым объектам невозможно создать полноценный всеобъемлющий нормативный документ.

Если анализировать европейский опыт нормирования, то документы создаются по узким вопросам проектирования, эксплуатации и строительства. В наших же документах эти вопросы освещены в комплексе. Не возможно оценить правомочность решения России и ЕС. Если рассматриваемый вопрос нормирования затрагивает только одну составляющую процесса, то им может пользоваться только специалисты, каждодневно использующие этот документ в практике, но он не позволяет оценить систему в целом. Исходя из вышеизложенного, на мой взгляд, всеобъемлющий документ с большим объемом справочного материала позволит более полноценно оценить и решить проблему в целом.

АО «МосводоканалНИИпроект» уже несколько лет пытается создать и включить в нормирование правила эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения на федеральном уровне. У каждого водоканала существуют свои регламенты и правила по эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, но включают они все необходимые требования или нет, это становится известно при авариях. Поэтому базовое нормирование по эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения на федеральном уровне, по моему мнению, просто необходимо. Тоже самое можно сказать по обследованию систем водоснабжения и водоотведения. Утвержденный в 2017 г. СП 272.1325800.2016 «Системы водоотведения городские и поселковые. Правила обследования» базируется на европейских стандартах и охватывает узкий вопрос обследования канализационных коллекторов. Необходимо дальнейшее развитие этого вопроса и создание документа по обследованию всех элементов систем водоснабжения и водоотведения: насосные станции, водозаборы, очистные сооружения и т.д. Наш Институт готов к этой работе, имея значительный опыт работы совместно с АО «Мосводоканалом» по созданию нормативных документов.

Выводы

Проведенный анализ нормативно-правовой базы в сфере водоснабжения и водоотведения показал, что на федеральном уровне этот вопрос в целом решен, однако, на региональном уровне требует дальнейшей глубокой проработки. Все имеющиеся утвержденные ключевые документы позволяют грамотно с учетом фактора надежности проектировать, строить и эксплуатировать системы водоснабжения и водоотведения, но нередко необходимы доработки, а в некоторых случаях и переработки. Избежать подобных недоработок в нормативной базе возможно лишь при тщательном анализе существующих технических и технологических решений с привлечением широкого круга специалистов и при корректном внесении изменений в действующие документы.

Библиографический список

1. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.

2. Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения: Учебник. – М.: Стройиздат, 1988. – 399 с.

3. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.

4. Яковлев С.В., Губий И.Г., Павлинова И.И. Комплексное использование водных ресурсов. – М.: ОАО «Высшая школа», 2008. – 383 с.

5. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов: – М.: АСВ, 2004. – 704 с.

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

О.А. Платонова, к.х.н., АО «МосводоканалНИИпроект», г. Москва

Современные экологоориентированные технологии направлены на максимальное сокращение отрицательного техногенного воздействия на природную среду. Для повышения эффективности процесса очистки сточных вод в практику широко внедряются технологии с процессами нитриденитрификации.

Разработки АО «МосводоканалНИИпроект» направлены на стабилизацию процессов биологической очистки, сокращение объемов образующегося осадка, обеспечение нормативного качества стоков.

Исследованиями ОА «МосводоканалНИИпроект» установлено, что при увеличение возраста активного ила кривая зависимости дозы ила от возраста имеет вид синусоиды (рис. 1). Амплитуда колебаний дозы ила устанавливается в зависимости от величины окислительной мощности (ОМ) аэротенка, представляющей собой экологическую емкость системы антропоценоза аэротенка.

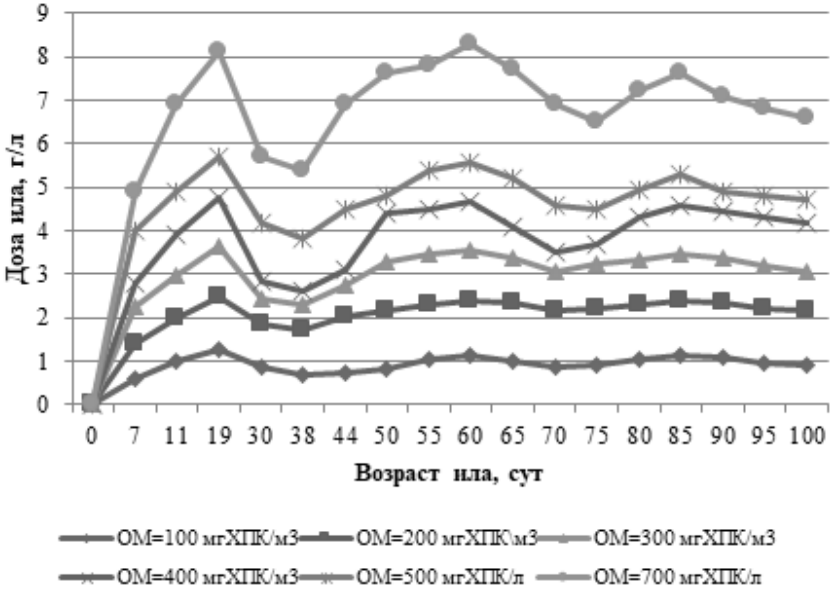


Рис. 1. Зависимость дозы ила от его возраста при разной окислительной мощности

ОМ определяет вместимость максимального количества загрязняющих веществ, поступающих в экосистему за единицу времени, которые могут быть разрушены, трансформированы и выведены за пределы экосистемы.

Верхние точки амплитуды колебания дозы ила при определенной ОМ соответствуют предельному количеству ресурсов (верхняя точка) для роста биомассы, а нижние точки – предельной минимальной эффективной численности микроорганизмов при которой возобновляется их рост, в условиях избытка ресурсов (субстрата).

Следует отметить, что нижняя точка амплитуды колебания дозы ила не является критической численностью популяции, нижним пределом, после которого популяция прекращает свое воспроизведение. Этот минимум концентрации биомассы можно охарактеризовать, как минимальную эффективную численность популяций, способную к воспроизводству новой биомассы.

Непременным условием устойчивой амплитуды колебаний является стабилизация возрастной структуры биоценоза, определяющей логистическую модель роста микроорганизмов. Условием повторяющихся логистических циклов колебания дозы ила при определенной емкости среды (ОМ) является диапазон нагрузки на активный ил по переработанным питательным веществам сточных вод (субстрату) в интервале от 120 до 240 мгХПК/л (рис. 2).

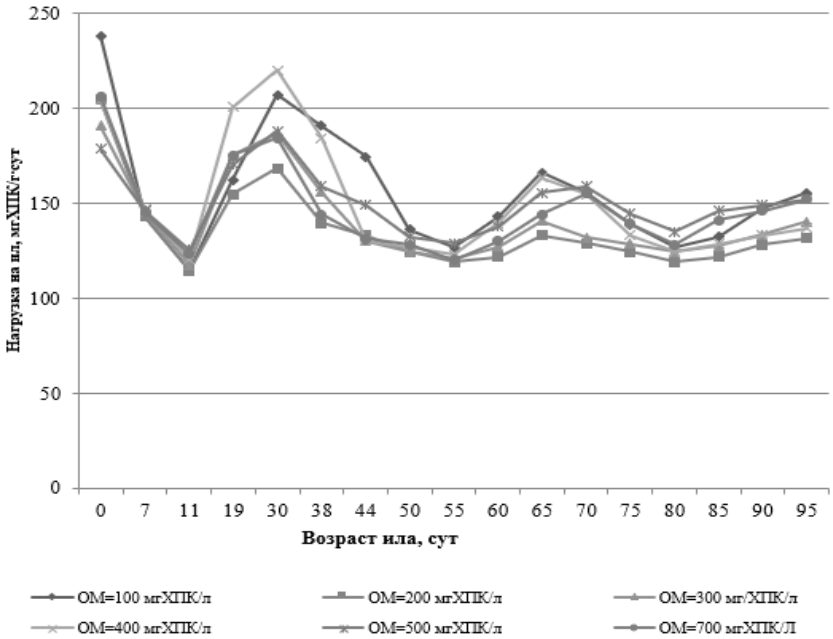


Рис. 2. Зависимость нагрузки на ил от возраста ила при различной ОМ

Можно предположить, что с дальнейшим увеличение возраста активного ила будет наблюдаться затухающий характер колебаний дозы ила. Это связано с выходом на плато удельного прироста биомассы. Стабилизация в

антропоценозе аэротенка возраста ила обеспечивает устойчивое равновесие экологической системы, которая переходит в устойчивые циклы с возможным увеличением длины циклов при возрастах больше 100 суток.

В условиях, когда эксплуатация аэротенков проводится за счет неравномерной суточной откачки избыточного ила для поддержания дозы ила в сооружениях, устанавливается квазистохастический режим роста микроорганизмов, результатом которого является неустойчивость показателей качества очищенной сточной воды.

ОМ в пределах 600-700 мгХПК/л можно считать предельной емкостью антропоценоза аэротенка. Эксплуатация аэротенков при больших величинах ОМ ведет к возрастанию дозы ила и соответственно к увеличению нагрузки по твердой фазе на вторичные отстойники, что может приводить к повышенному выносу взвешенных веществ из них. Не контролируемый вынос взвешенных веществ будет затруднять поддержание постоянного возраста ила в сооружениях биологической очистки. При превышении данной величины ОМ неизбежным будет перевод аэротенков в режим экспоненциального роста биомассы путем периодического сброса больших объемов избыточной биомассы чтобы снизить дозу ила и избежать повышенного выноса взвешенных веществ из отстойников.

При проектирование новых и реконструкция существующих ОСК основным технологическим параметром аэротенков является ОМ, которая определяет предельную емкость биомассы в сооружениях и условия эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод с постоянным возрастом активного ила или в режиме экспоненциального роста микроорганизмов.

Основным управляющим элементом в работе сооружений биологической очистки сточных вод является стабилизация возраста активного ила (АИ) с заданной удельной скоростью роста биоценоза АИ.

Подход был реализован при работе аэротенков в четырёх режимах:

- с возрастом ила от 60 до 90 суток,
- окислительной мощностью (ОМ) в диапазоне 300-600 мгХПК/дм^3.

Очистка сточных вод от биогенных элементов имеет устойчивую тенденцию к улучшению и стабилизации качественных показателей очищенной сточной воды, а также позволяет значительно сократить количество избыточной биомассы, выводимой из сооружений.

Избыточный активны ил характеризуется низким иловым индексом и высокой зольностью, что свидетельствует о хороших седиментационных свойствах иловой смеси.

Выводы.

1. ОМ является основным технологическим параметром при определении объема аэротенков, как показателя предельной емкости антропоценоза сооружений биологической очистки сточных вод.

2. Рекомендуемая максимальная ОМ при эксплуатации КОС с постоянным, фиксированным возрастом активного ила в диапазоне до 600 мгХПК/л.

3. Прогнозируемое годовое снижение затрат на обезвоживание и последующие мероприятия по размещению осадка очистных сооружений производительностью 10,0 тыс. $м^3$/сут., при поддержании возраста ила в сооружениях в пределах 100 суток, составит 8-10 млн. руб. в год в зависимости от состава сооружений.

На базе экспериментальных исследований, технологических разработок и технических решений АО «МосводоканалНИИпроект» создана Концепция проектирования новых и реконструкции существующих очистных сооружений сточных вод с целью обеспечения стабильного качества очистки сточных вод и уменьшения количества илового осадка.

Библиографический список

1. Платонова О. А., Шеломков А.С., Степанов М.А. Опыт эксплуатации аэротенков с большими возрастами активного ила // Вода: химия и экология. 2017. № 9. С. 64-71.

2. Захватаева Н.В., Платонова О.А., Шеломков А.С., Файзуллин А.А., Киекбаев Р.И., Гирфанов Р.М. Опыт эксплуатации очистных сооружений канализации г. Уфы // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 1. С. 25 – 29.

3. Г.Ю. Ризниченко «Математические модели в биофизике и экологии», Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 184 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Д.Ю. Поленов, к.т.н., доц., кафедра АИЭ, НИУ МГСУ, г. Москва

Для достижения максимальных значений показателей роста и урожайности растений, а значит, их продуктивности, необходимо учитывать различные группы факторов. Данные факторы можно разделить на три группы:

1. Факторы, которые можно регулировать. К ним относятся:
– объем водоснабжения;
– влажность почвы;
– аэрация почвы.
2. Факторы, которые можно регулировать с трудом. К ним относятся:
– влажность воздуха;
– кислотность почвы;
– температура окружающей среды;
– освещенность.
3. Факторы, которые можно максимально компенсировать с помощью регулирования первой и второй группы факторов:
– наличие и объем снежного покрова;
– сумма осадков;
– их распределение по месяцам.

Задача обеспечения максимальной продуктивности растений и по сей является день актуальной. Ее можно решить с помощью разработки соответствующей системы интеллектуального управления водоснабжением объектов растениеводства (далее – Система).

Разрабатываемая Система должна обладать следующими функциональными особенностями:

1. Быть адаптированной к особенностям среды.
2. Быть способной отслеживать текущие погодные условия.
3. Быть способной принимать и обрабатывать информацию прогноза погоды от Гидрометцентра.

Таким образом, работа Системы должна быть основана на принципе полива растений таким объемом воды, который им необходим.

Суть работы разрабатываемой Системы заключается в осуществлении включения/выключения полива разных участков (или с/х культур) в зависимости от показаний датчиков (влажности, температуры и пр.), установленных на этих участках (при этом, объем полива, температура воды определены заранее и соответствуют определенным значениям для каждой культуры). Тем самым, можно исключить ручной труд и сократить расход воды. Кроме этого, с помощью присутствующего в Системе искусственного интеллекта (ИИ), анализируются текущие погодные условия и прогноз погоды – по сопутствующим факторам можно определить: приближаются ли осадки? Если да, то Система не включит полив, хотя и подошло время.

Это также снизит потребление воды – повысится экономичность и эффективность полива – не будет превышения потребления воды той или иной культурой, что может привести к ее гибели.

Вся информация о состоянии Системы, датчиков, времени, количестве потребления воды и пр. будет собираться Системой, отправляться в глобальную сеть Интернет и храниться на сервере. Доступ к данной информации будет иметь пользователь Системой как при заходе на соответствующий сайт, так и с мобильного приложения. С помощью указанных средств пользователь сможет также осуществлять ручное управление Системой.

Алгоритм работы системы должен представлять собой следующий порядок действий:

1. Запись в память системы информации в части необходимого объема водоснабжения каждого растения.

2. Получение экспериментальной информации по результатам работы системы за отчетный период.

3. Получение информации прогноза погоды от Гидрометцентра.

4. Обработка полученных данных.

5. Принятие решения о водоснабжении отдельного участка полива.

Ориентировочный состав Системы: блок сбора и управления, водяной насос, датчики, электромагнитные клапаны, трубы, бак для хранения воды и т.д.

Блок сбора и управления должен осуществлять:

1) управление всеми составными частями системы (включением/выключением насоса для подачи воды, клапаны для определенных участков полива);

2) сбор информации с датчиков (температуры, влажности и пр.);

3) передачу по радиоканалу информации о работе системы в Глобальную сеть Интернет.

Блок управления должен состоять из модулей. Каждый модуль представляет собой печатную плату с элементами в металлической рамке.

Модули Блока управления выполняют следующие функции:

– модуль радиосвязи (связь по радиоканалу с сервером);

– модуль коммутации (управление клапанами с помощью реле);

– модуль интерфейсный (преобразование интерфейсов датчиков в RS485 для увеличения дальности связи с ними);

– модуль управления (управление, сбор, обработка и передача информации от системы на модуль радиосвязи);

– модуль измерения (управление, опрос и передача информации от подключенных к системе датчиков);

– модуль питания (преобразование первичного питания в необходимую сетку напряжений).

В качестве управляющего ядра электронной части блока сбора и управления предлагается отладочная плата на основе микроконтроллера (МК) STM32F103C8, семейства Cortex-M3, изображение которой приведено на рис. 1. Данная плата устанавливается в модуль управления.

Отличительными особенностями отладочной платы на основе МК STM32F103C8 являются малые габариты, 128 кБ Flash-памяти для хранения исполнительных программ, наличие АЦП, интерфейсов USART, SPI, I2C и т.д. Все это позволяет использовать отладочную плату в качестве составной части готового изделия.

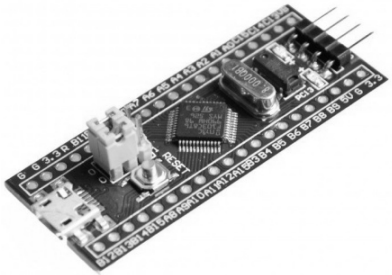


Рис. 1. Отладочная плата на основе МК STM32F103C8

В качестве главной части модуля радиосвязи предлагается отладочная плата с GSM-модулем на основе SIM800/SIM900, изображение которой приведено на рис. 2. Отличительными особенностями отладочной платы с GSM-модулем на основе SIM800/SIM900 являются малые габариты, доступная цена, возможность управления с помощью AT-команд, исполнение команд через SMS и т.д. Что также позволяет использовать отладочную плату в качестве составной части готового изделия.

Рис. 2. Отладочная плата с GSM-модулем на основе SIM800/SIM900

Ядром искусственного интеллекта разрабатываемой Системы будет считаться математический нейрон [1] – объект, представляющий собой математическую модель нейрона человеческого мозга. Он будет обладать схожими свойствами: содержать входы *i*, куда будут поступать входные сигналы x_{ij} и один выход y_j.

При этом каждый поступающий на *j*-й математический нейрон сигнал x_{ij} будет умножаться на некоторый корректирующий весовой коэффициент b_{ij} (1):

$$S_j = \sum_{i=1}^{i} b_{ij} x_{ij} \ , \qquad (1)$$

Выходной сигнал y_j *j*-го математического нейрона будет принимать одно из двух значений (2) и (3):

$$y_j = 1 \text{, если } S_j \geq \theta_j \text{,} \qquad (2)$$

$$y_j = 0 \text{, если } S_j < \theta_j \text{,} \qquad (3)$$

где θ_j – порог чувствительности *j*-математического нейрона.

Таким образом, если полученное суммарное значение S_j *j*-го математического нейрона системы водоснабжения не достигнет определенного значения порога чувствительности θ, то математический нейрон не будет возбужден – его выход будет равен нулю, и наоборот [2, с. 29].

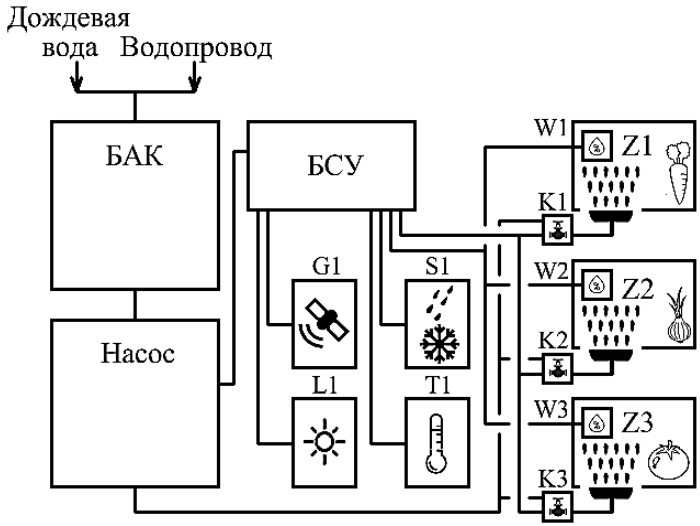


Рис. 3. Структурная схема Системы

Структурная схема Системы приведена на рис. 3. Дождевая/водопроводная вода поступает в бак, откуда с помощью водяного насоса по трубам доставляется в определенные зоны (*Z1 – Z3*) полива. В Систе-

му входят: датчик давления и температуры, который следит за текущими значениями атмосферного давления и температурой окружающей среды (*T1*); датчик освещенности участка, который показывает уровень освещенности растений (*L1*); датчик наличия осадков, который фиксирует наличие осадков в виде дождя/снега (*S1*); датчики влажности почвы, которые следят за текущими значениями влажности на участке корневища растения (*W1 – W3*) в каждой зоне. Поливом управляет Блок сбора и управления, принимающий информацию от указанных датчиков, включающий насос, открывающий соответствующие электромагнитные клапаны (*K1 – K3*).

Отличительные особенности Системы:

1. В программное обеспечение (ПО) Системы должна входить Программа расчета количества источников полива, их расположения, радиуса действия, объема устанавливаемой емкости для хранения воды от исходных данных потребителя. А именно: потребитель вводит значения площадей посадки каждой с/х культуры и общую площадь участка; Программа, в свою очередь, производит указанный выше расчет.

2. Входящий в ПО Системы ИИ должен анализировать погодные условия, прогноз погоды, показания датчиков и решает: включать ли полив, какой объем выливать на ту или иную культуру.

3. Модульная конструкция Блока управления, входящего в Систему, должна позволять добавлять/убирать модули.

Выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1) предложено решение задачи достижения максимального значения продуктивности объектов растениеводства с учетом различных факторов, влияющих на рост и урожайность растений. Предлагается ее решение с помощью внедрения искусственного интеллекта в систему водоснабжения объектов растениеводства;

2) разработана организация искусственного интеллекта системы водоснабжения объектов растениеводства на основе нейросетевых технологий;

3) разработан алгоритм работы системы управления водоснабжением на основе искусственного интеллекта, разработана топология водоснабжения объектов растениеводства с разделением всего участка полива на зоны.

Библиографический список

1. Hopfield J. J. Neurons with graded response have collective computational properties like thous of two-state neurons. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1984.-№ 81.

2. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л.Н. Ясницкий. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 176 с.

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА В ГОРОДСКОЙ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

М.А. Разаков, аспирант, каф. теплогазоснабжения и вентиляции, НИУ МГСУ, г. Москва

Городская канализационная насосная станция (ГКНС) является одной из основных составляющих системы водоотведения города. Обеспечение комфортного воздушного режима во всех блоках КНС влияет на самочувствие обслуживающего персонала станции [1]. Поэтому поддержание правильного микроклимата в данном сооружении влияет на безопасность жителей.

В основном, насосные станции большого объёма имеют типовой набор помещений. На рис. 1 приведен пример такой станции. Также на этом рисунке здание ГКНС условно разделено на уровни и зоны. Разделение здания на уровни введено из-за того, что часть здания находится под землей (Уровень 2), а часть на земле (Уровень 1). Глубина здания может составлять до 16 метров [2, 3], а суммарная высота может достигать 30 метров [4]. Разделение здания на секции сделано потому, что сооружение можно разбить на 3 функциональных блока: административный (Секция 1 - Уровень 1), грабельное отделение (Секция 1 - Уровень 2), машинный зал (Секция 2 - Уровни 1 и 2). Причем машинный зал может занимать до половины объёма станции [5].

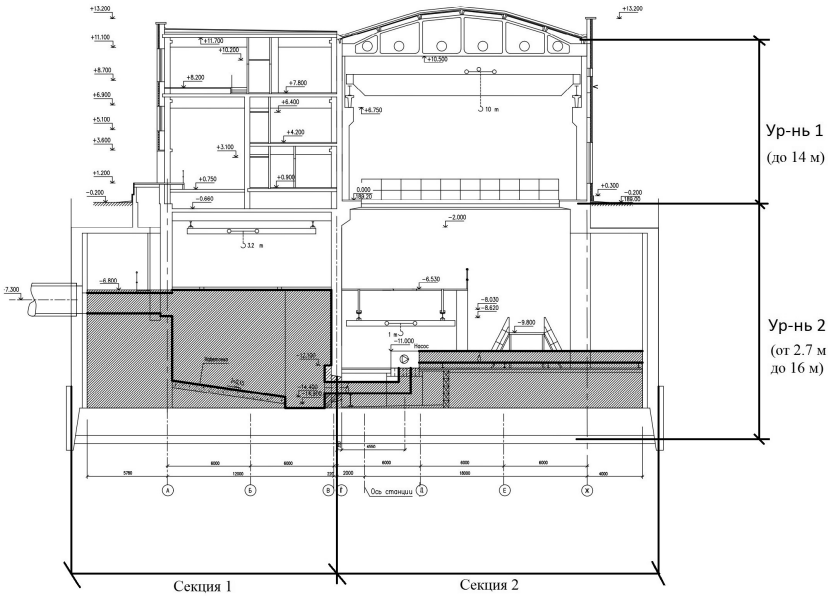


Рис. 1. Разрез ГКНС

Условно, система вентиляции станции состоит из трех отдельных приточно-вытяжных систем. В данном случае, термин приточно-вытяжная система означает, что в одном функциональном блоке существует только одна система приточной вентиляции и одна единственная система вытяжной вентиляции. Первая приточно-вытяжная система обслуживает грабельное отделение. Основным источником вредностей в данном помещении является газовая фаза сточных вод (различные химические соединения). Вторая система обслуживает машинный зал. Основными источниками вредностей являются тепловыделения от насосных установок и сточных вод. Химических загрязнений в нормальном режиме работы здесь нет. Третьей является приточно-вытяжная система административного блока. Это помещения, где находится обслуживающий персонал станции. Их можно отнести к офисным или жилым помещениям [3, 6].

Все системы приточной вентиляции, кроме грабельного отделения, могут быть спроектированы как с помощью принудительного так и с помощью естественного способа побуждения, т.е. быть механической или естественной системой вентиляции. Вытяжная вентиляция также может быть естественной или механической [7].

Возможны следующие сочетания организации систем приточно-вытяжной вентиляции ГКНС:

Машинный зал

Приток воздуха может осуществляться с помощью аэрации, а вытяжная вентиляция реализована посредством перетока воздуха из данного помещения в грабельное отделение с помощью вентилятора.

Другой способ это механический приток подогретого в калорифере воздуха в машинный зал. Вытяжная система вентиляции в данном случае реализуется с помощью вентиляторов, установленных на крыше данного же помещения.

Грабельное отделение

Приток воздуха может быть обеспечен с помощью перетока воздуха из машинного зала в грабельное отделение или с помощью отдельной приточной установки. Вытяжка воздуха из данного помещения всегда является принудительной, т.е. производится с помощью вентиляторов.

Административный блок

Как приток, так и вытяжка в данной части здания могут быть естественной и принудительной. Для вытяжной вентиляции обычно проектируются общие вытяжные шахты как подобно тому, как это делается в жилых домах [8, 9]. На оголовках шахт (на крыше) могут быть установлены вентиляторы или дефлекторы. Приток воздуха в помещения может быть реализован естественным способом с помощью открытых светопрозрачных

конструкций или же с помощью приточной установки. Более подробно с организацией системы вентиляции в ГКНС можно ознакомиться в Выпускной квалификационной работе Бакалавра Разакова М.А. [10].

Выводы: В данной работе освещены основные схемы организации воздухообмена в Городских канализационных насосных станциях большой производительности. В различных функциональных блоках подача приточного воздуха может быть организована как с помощью механического побуждения (Грабельное отделение и Машинный зал), так и естественным способом (Административный блок и Машинный зал). Вытяжные системы вентиляции блоков ГКНС практически всегда являются механическими за исключением административного блока. В нём возможна организация естественной вытяжки воздуха.

Библиографический список

1. А.Л. Рыжков. Гигиеническая оценка условий труда и заболеваемости рабочих канализационных насосных станций // Диссертация на соискание учёной степени кандидата медицинских наук. Санкт-Петербург, 2009 г. 179 с.

2. В.Я. Карелин, А.В. Минаев. Насосы и насосные станции // Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1986. - 320 с.: ил.

3. С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, А.И. Жуков, С.К. Колобанов. Канализация // Учебник для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. - М.: Стройиздат.1975. 632 с.

4. Б.Н. Репин, С.С. Запорожец, В.Н. Ереснов и др. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения // Справочник - М.: Высшая школа. 1995 - 431 с.: ил.

5. Общесоюзный каталог типовых проектов и типовых проектных решений санитарно-технических систем и сооружений. Том 1. Канализация // Сборник каталожных листов 2.902-86 (в четырех томах). Госстрой СССР. 1986 г.

6. Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. Водоотведение и очистка сточных вод // Учебник для вузов: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.

7. П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. Вентиляция // Учебное пособие. - М., Изд-во АСВ, 2008, - 624 с., 280 ил.

8. Д.В. Абрамкина. Экспериментальное исследование работы системы вентиляции с тепловым побуждением движения воздуха // Сборник докладов внутривузовской научно-технической конференции Технологии в инженерно-экологическом строительстве, механизации и жилищно-коммунальном комплексе, 2018 г., С. 308–313.

9. К.М. Агаханова. Расчет воздухообмена в жилом здании с индивидуальными вытяжными каналами // Сборник докладов внутривузовской научно-технической конференции Технологии в инженерно-экологическом строительстве, механизации и жилищно-коммунальном комплексе, 2018 г., С. 314 - 321;

10. М.А. Разаков. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха канализационной насосной станции в г.Зеленоград Московской области // ВКР бакалавра. - Москва, 2016 г.

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОМЫВОЧНЫХ ДЛЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ В ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ

И.А. Синянский, к.т.н., доц., каф. строительства, Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва; **Е.В. Орлов**, к.т.н., доц., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

Сегодня большое количества людей, проживающих в многоквартирных жилых домах, заводят и содержат у себя в квартире домашних животных. Домашние животные – собаки различных пород – требуют ежедневной прогулки на свежем воздухе не менее 2-3 раз в день.

После прогулки, особенно в период выпадения различных видов осадков (дождь, снег), лапы и нижняя часть тела домашних животных загрязняются. Перед хозяином встает вопрос о необходимости проведения санитарно-гигиенических процедур для своих питомцев.

Сегодня все санитарно-гигиенические процедуры (в данном случае мытье тела домашнего животного) проходит непосредственно в санитарно-технических кабинах квартир пользователей. Это создает определенные неудобства, связанные, прежде всего, с необходимостью в мытье приемников сточных вод – ванн после проведения санитарно-гигиенических процедур собак после прогулки. Такое решение приводит также к появлению царапин на эмали ванн. От этого особенно страдают акриловые ванны, быстро теряющие свой внешний вид из-за царапин от когтей собак.

Кроме того, собаки приносят на своих лапах большое количество минеральных загрязнений (песок, частички грунта) как в квартиру людей, так и непосредственно в лифт и входные группы жилых многоквартирных домов. Соответственно увеличивается частота проведения уборки персоналом управляющих компаний в местах общего пользования, которые достаточно быстро загрязняются. Увеличиваются затраты на эксплуатацию объекта, ухудшается качество проживания на территории жилого дома.

Таким образом, для решения данной проблемы предлагается проектировать и строить специальные помещения – помывочные для домашних животных. Они будут находиться во входных группах на первых этажах многоквартирных жилых домов.

Сегодня полностью отсутствуют какие-либо нормативные документы, касающиеся проектирования, строительства и эксплуатации предлагаемых для возведения помещений помывочных для домашних животных. Поэтому основной задачей становится разработка объемно-планировочных решений данных помещений с установкой необходимого инженерного оборудование (систем внутреннего холодного и горячего водопровода, канализации, отопления, вентиляции и их элементов), которое будет решать основные задачи по поддержанию высокого уровня санитарии и гигиены на территории жилых многоквартирных домов.

Стоит отметить, что необходимо закладывать необходимые объемы для помещений помывочных для домашних животных уже на стадии проектирования входных групп.

Сегодня имеется тенденция в проектировании входных групп, при которой создается удобное пространство для комфортного перемещения людей непосредственно от входа двери до лифтовой зоны и лестничных клеток.

Все современные входные группы проектируются проходными, в которых в подъезд можно попасть с различных сторон здания. При этом, предлагается выделять площадь для помывочных домашних животных не менее 10-12 м^2 на первых этажах входных групп. На такой площади можно комфортно разместить необходимое оборудование систем внутреннего холодного и горячего водоснабжения, водоотведения для удобства одновременного проведения мытья не менее двух домашних животных.

Для мытья животных возможно установка как специальных ванн, в которые будет размещаться животное, так и создание специальных поддонов, выполненных из бетона и отделанных керамической плиткой.

К каждому месту для мытья животных будет подводиться холодный и горячий водопровод. В качестве водоразборной арматуры предлагается использовать однорычажные смесители [1-3]. В комплекте будет присутствовать душевая насадка со шлангом для удобства проведения мытья животного. Также будет проектироваться внутренняя система водоотведения [4-8]. Она будет представлена трапом.

Кроме того, целесообразно в помещении проектировать умывальник со смесителем для мытья рук хозяином животного и унитаз.

Холодный водопровод помывочной будет подключаться к системе хозяйственно-питьевого водопровода жилого здания. Горячий водопровод и система канализации аналогично подключается к внутренним сетям многоквартирного жилого дома.

В углу помещения устанавливается поливочный кран для мытья пола помещения. Все стоки после мытья будут попадать в трап, который будет проектироваться в полу и соединяться с системой внутренней канализации здания.

Для стойких и плохо поддающихся очистке загрязнений целесообразно проектировать бесконтактные приборы для автоматической подачи жидкого мыла или шампуня, которые будут размещаться непосредственно в местах мойки животных.

В помещении должна поддерживаться необходимая температура, поэтому проектируется отопительный прибор и система вытяжной вентиляции.

После проведения санитарно-гигиенических процедур хозяином животного целесообразно использовать полотенца для вытирания тела животного. Для этого управляющая компания должна ежедневно создавать запас полотенец в помещении помывочной. Использованные загрязненные полотенца должны отправляться ежедневно в прачечную для стирки.

Помещение помывочной должно иметь два отдельных входа. Через один вход в помывочную заходит пользователь с животным после прогулки. Через второй вход пользователь выходит из помывочной после проведения санитарно-гигиенических процедур с домашним животным, таким образом, лапы животного не могут быть повторно загрязнены. При необходимости целесообразно одевать после мытья тела животного на его лапы специальные одноразовые полиэтиленовые пакетики, жестко закрепляемые на его лапах, которые затем буду сниматься после входа в квартиру.

Таким образом, разработка оптимальных объемно-планировочных решений помывочных для домашних животных, находящихся во входных группах жилых домов, с проектированием необходимого инженерного оборудования, позволит улучшить санитарную обстановку на территории, а также повысить качество и комфортность проживания жителей дома, значительно снизив затраты на уборку как входных групп, так и лестничных клеток и квартир.

Библиографический список

1. Кедров В.С., Исаев В.Н., Орлов В.А., Пальгунов П.П., Сомов М.А., Чухин В.А. Водоснабжение и водоотведение. М.: Стройиздат. 2002. 336 с.

2. Исаев В.Н., Нечитаева В.А., Кондратьев В.В. Структура водопотребления в жилых зданиях // Трубопроводы и экология. 2004. № 2. С. 26.

3. Федоровская Т.Г., Викулина В.Б., Нечитаева В.А., Маслова О.Я. Водоснабжение и водоотведение жилой застройки. М.: Издательство АСВ. 2013. 144 с.

4. Пугачев Е.А., Исаев В.Н. Экономика рационального водопользования. М.: МГСУ. 2011. 284 с.

5. Исаев В.Н., Давыдова А.А. Питьевое и хозяйственное водоснабжение // Вестник МГСУ. 2009. № 2. С. 148-150.

6. Исаев В.Н. Проблемы водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. 2010. № 4. С. 56-58.

7. Максименко Ю.Л., Кудряшова Г.Н. Охрана водных ресурсов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2015. – 256 с.

8. Павлинова И.И., Баженов В.И., Губий И.Г. Водоснабжение и водоотведение: Учебник для бакалавров. – М.: Издательство «Юрайт», 2012. – 472 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ КАРТОФЕЛЬНОГО СОКА БАРОМЕМБРАННЫМИ МЕТОДАМИ

Е.Н. Фарносова, к.т.н., доц.; **А.А. Рид,** аспирант; **А.С. Жебраткина**, ФГБОУ РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Проблема сброса сточных вод в природные источники актуальна в последние годы. Многие предприятия не используют системы очистки или применяют устаревшие и малоэффективные системы, которые быстро выходят из строя.

При переработке 1 т картофеля, в зависимости от применяемой технологии, получают от 0,7 до 3,2 $м^3$ картофельного сока [1].

Картофельный сок представляет собой сложную смесь, содержащую до 6 % сухого вещества (СВ), 20-25% которого составляют белки. Оставшееся сухое вещество представляет собой свободные аминокислоты, гликоалколоиды, сахара, липиды, органические кислоты, фенольные соединения, минералы и другие компоненты [2].

Изучение эффективности очистки производилось на картофельном соке, который предварительно был подвержен тепловой обработке при температуре 90-100 °С в интервале времени 5-10 минут.

Исходный картофельный сок поступал на стадию УФ, после которой происходило деление на 2 потока: пермеат подаваемый на дальнейшую очистку на стадию НФ и концентрат, возвращаемый в исходную емкость для увеличения степени концентрирования и содержащий основную массу СВ.

На стадии УФ применялись полисульфонные половолоконные мембранные модули отечественного производства ООО “Текон МТ” [3] характеризующиеся отсечкой по молекулярной массе 100 кДа. На стадии НФ использовались пиперазинамидные рулонные мембранные модули производства АО “РМ Нанотех” [4].

Было изучено влияние температуры и давления на основные рабочие параметры УФ мембран.

Опыты проводили при постоянном перепаде давления равном $\Delta P = 3$ бар, температур изменялась от 20 до 45 °С, так как при более высокой температуре возможна денатурация белка.

Как видно из рис. 1 и 2 с увеличением температуры значения удельной производительности возрастает как в начале эксперимента, так и после выхода на постоянный уровень. Это можно объяснить снижением вязкости исходного картофельного сока.

На рис. 3 представлена зависимость селективности от температуры. В диапазоне исследуемых температур наблюдается незначительное увеличение селективности.

Изучение влияния давления на селективность и удельную производительность УФ мембран осуществлялось при постоянной температуре. Перепад давления на стадии ультрафильтрации варьировался в диапазоне 1,5-4,5 бар.

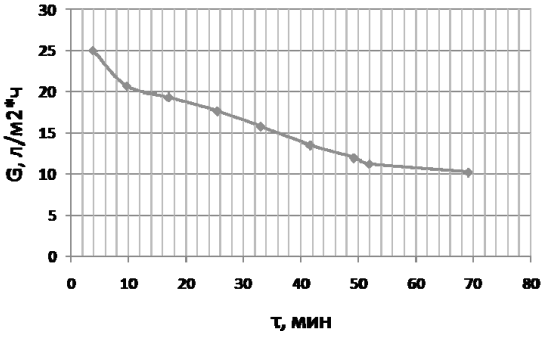


Рис. 1. Удельная производительность мембраны (50 кДа) во времени T = 20 °C, ΔP = 3 бар

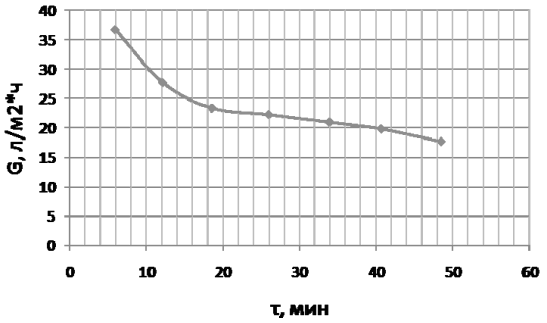


Рис. 2. Удельная производительность мембраны (50 кДа) во времени T=45 °C, ΔP = 3 бар

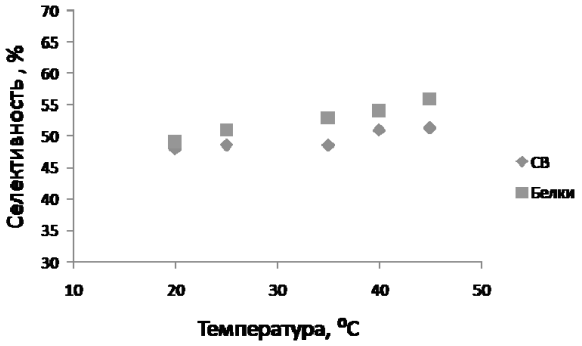


Рис. 3. Зависимость селективности мембраны (50 кДа) от температуры, ΔP = 3 бар

Как видно из рис. 4 и 5 с ростом давления наблюдается увеличение удельной производительности мембраны за счет увеличения движущей силы процесса переноса растворителя.

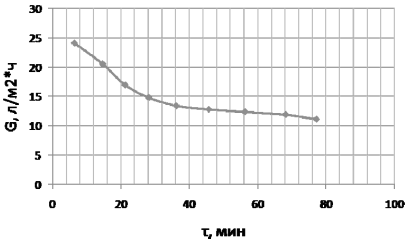


Рис. 4. Удельная производительность мембраны (50 кДа) во времени ΔP = 1,5 бар, T=30 °C

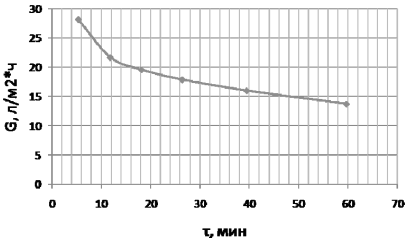


Рис. 5. Удельная производительность мембраны (50 кДа) во времени ΔP = 4,5 бар, T = 30 °C

На рис. 6 представлена зависимость селективности УФ мембраны от давления. Рост селективности можно объяснить уплотнением материала мембраны под действием давления.

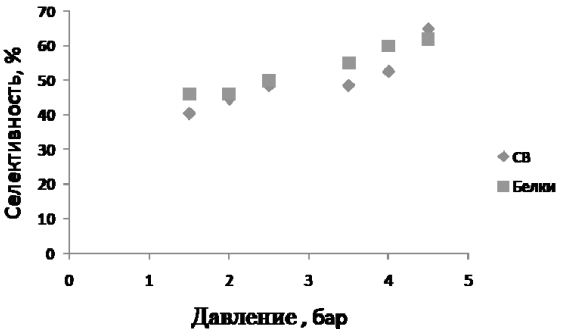


Рис. 6. Зависимость селективности мембраны (50 кДа) от давления, T = 30 °C

Основываясь на полученных данных можно сделать вывод, что двухступенчатая система очистки картофельного сока может обеспечить задержание сухого вещества до 95%. Выбор оптимальной температуры проведения очистки картофельного сока должен основываться на основании удельной производительности, так как увеличение селективности при росте температуры незначительное. Выбор оптимального перепада давления рабочего процесса очистки картофельного сока должен основываться на поставленной технико-экономической задаче.

Библиографический список

1. Побочные продукты крахмалопаточного производства - кормовые компоненты / В. Гольдштейн, Н. Лукин, О. Радин // Комбикорма. 2018. № 7-8. С. 54-56.

2. Van Koningsveld GA (2001) Physiochemical and Functional Properties of Potato Proteins, Wageningen University, The Netherlands, 147 pp.

3. Сайт ООО “Текон МТ” [Электронный ресурс] URL: https://ультрафильтр.рф/.

4. Сайт АО “РМ Нанотех” [Электронный ресурс] URL: https://www.membranium.com/ru/.

5. S. Lokra, K. O. Strætkvern. Industrial Proteins from Potato Juice. A Review // Food, Global Science Books. 2009. No. 1. Pp. 88–95.

6. Eriksson G, Sivik B (1976) Ultrafiltration of potato process water - influence of processing variables. Potato Research 19, Pp. 279-287.

УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

В.А. Семеновых, аспирант, каф. водоснабжения и водоотведения; **Ж.М. Говорова**, д.т.н., проф., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

В современных условиях наблюдается устойчивая тенденции увеличения доли малоэтажного жилищного строительства, возведения небольших жилых поселков и новых микрорайонов, состоящих из зданий с индивидуальным ТП и ВЗУ, и др., использующих для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения подземную воду нецентрализованных источников (индивидуальных скважин или группы водозаборных скважин). В связи с этим зачастую требуется обосновать и выбрать технологию очистки подземных вод с реализацией на небольших водоочистных установках.

Актуальной является и проблема обеспечения питьевой водой объектов железнодорожной отрасли, характеризующихся территориальной обособленностью и удаленностью от крупных потребителей, малым водопотреблением и крайней неравномерностью, ограниченной площадью и высотой для размещения водоочистного оборудования, отсутствием постоянного обслуживающего персонала, необходимостью автономной работы, невозможностью подключения к централизованной системе канализации и др. [1].

В связи с этим водоочистные установки должны одновременно обеспечивать очистку воды до требуемых нормативов, а также иметь малые габаритные размеры и низкое энергопотребление, компактное исполнение, исключать или минимизировать применение реагентов, предусматривать повторное использование промывной воды и обеспечивать надежность всех технологических элементов, входящих в установку [2].

Изучение физико-химического состава подземных вод, залегающих на территории РФ показало, что их основными компонентами являются соединения железа и марганца, соли жесткости, растворенные газы (углекислота, сероводород). Количество растворенных форм соединений железа и марганца в подземных водах находится в прямой зависимости от содержания в них кислорода, углекислоты и карбонатов. В ряде случаев в подземных водоисточниках наблюдается повышенная цветность и перманганатная окисляемость, присутствуют биогенные компоненты и специфические загрязнения.

Разнообразие подземных вод по физико-химическому составу предопределяет существование различных безреагентных и реагентных технологий и методов их очистки [3-7]. Предпочтительными являются безреагентные методы, основанные на предварительной аэрации с последующим фильтрованием через инертные загрузки, «сухой» фильтрации, ультрафильтрации и др., имеющие однако ограниченную область применения. Для очистки подземной воды сложного состава, характеризующейся наличием органоминеральных комплексов железа и органических соединений, высокими концентрациями марганца находят применение реагентные ме-

тоды, в том числе с использованием окислителей (озона, перманганата калия, гипохлорита натрия), каталитических загрузок и.т.д.

К перспективным методам, позволяющим расширить область применения безреагентных методов обезжелезивания и деманганации подземных вод и обладающим рядом преимуществ относятся биологические методы, основанные на способности железобактерий окислять растворенное в воде двухвалентное железо в трехвалентное. Окисление катализируется растворенным кислородом [7-9].

Особенностью бактерий (*Gallionella, Leptothrix, Crenothrix, Arthrobacter* и др.), распространенных в подземных водах (до 10^5 кл/мл) или привитых на зернах загрузки и участвующих в процессах биологического обезжелезивания, является то, что их окислительное действие на Fe^{2+} реализуется в определенном промежуточном интервале значений pH и Eh, между величинами, характерными для природных подземных вод и необходимыми для осуществления физико-химического обезжелезивания.

В зарубежной практике водоподготовки биологический метод на станциях обезжелезивания и деманганации Франции, Дании, Аргентины и Китая реализуется в одно- или двухступенчатых технологических схемах с биологическими фильтрами. Производительность установок и станций составляет от 1,25 до 36,0 тыс.$м^3$/сут [10-12].

На станциях обезжелезивания РФ и стран ближнего зарубежья находят применение технологические схемы очистки подземной воды с использованием биореакторов с различными системами насадок; фильтров с тяжелой и плавающей гранулированной и волокнистой фильтрующей загрузкой, самопромывающихся установок и др. [13-15]. Проведенные на одной из действующих станций обезжелезивания микроскопические исследования состава осадка выделенного из промывных вод биореактора со струйной вакуумной эжекцией и фильтра подтвердили наличие протекающих биологических процессов в слое фильтрующей загрузки и присутствие выделяемых железобактериями волоконец, чехлов, оболочек и т.д. Результаты исследований, выполненных с использованием сканирующего электронного микроскопа приведены в табл. 1 и на рис. 1, 2 [16].

Таблица 1

Состав осадка промывных вод

Сооружение	Состав осадка, %								
	C	**Fe**	**O**	**N**	**P**	**Si**	**Al**	**Ca**	**Mn**
БР	5,28	59,09	23,50	1,05	-	1,46	0,29	6,21	0,26
ФПЗ	7,53	34,91	44,96	1,95	3,26	1,94	0,20	4,46	0,20

БР – биореактор; ФПЗ – фильтр с плавающей загрузкой.

Среди установок очистки подземной воды, работающих в том числе и в режиме биологического удаления железа и марганца, наиболее часто

применяются водоочистные установки малой производительности типа «Деферрит^{TM}» [17] и «Кристалл» [18].

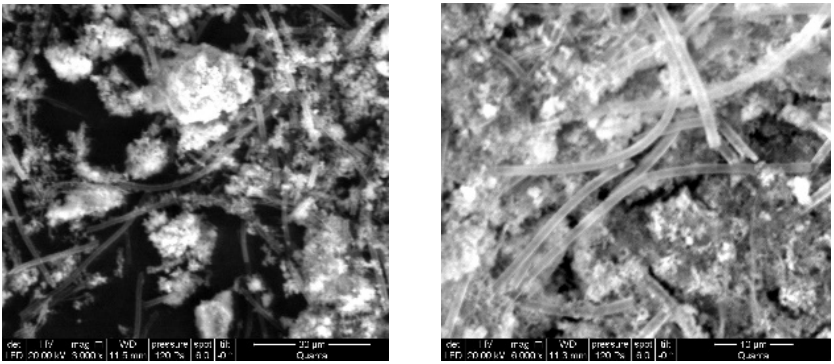


Рис. 1. Микрофотографии осадка (слева направо) с загрузки биореактора (30 мкм); фильтра с плавающей загрузки (10 мкм)

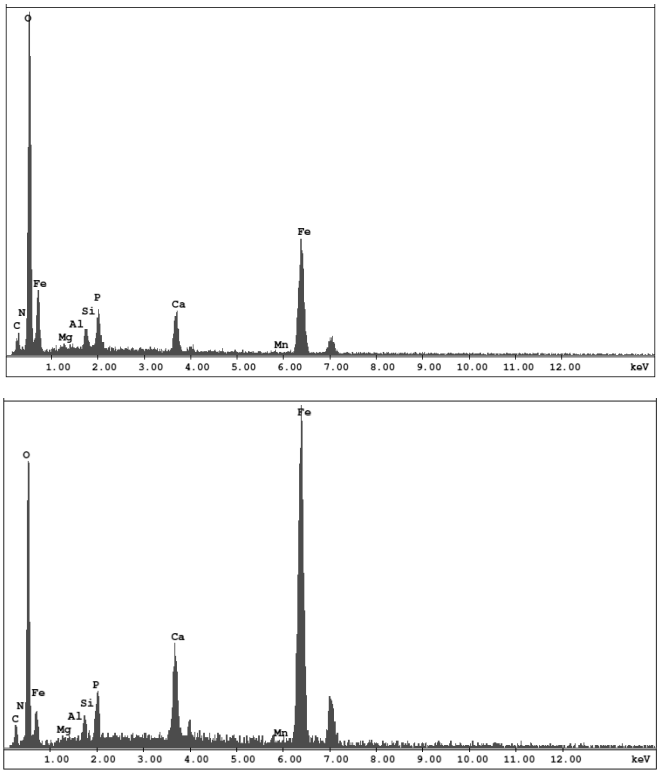


Рис. 2. Энергодисперсионный спектр компонентов осадка биореактора и фильтра (сверху вниз)

Характеристика установок представлена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика водоочистных установок

Установка	Производительность, $м^3/ч$		Технологическая схема (ТС) и состав оборудования	Область применения
«Деферрит»	2…1125		Двухступенчатая ТС. Дегазатор-аэратор, скорый фильтр с тяжелой загрузкой, насосы, блок обеззараживания	Fe_0 до 15 мг/$дм^3$ Mn_0 до 0,3 мг/$дм^3$
«Кристалл»	«Н»	3…100	Одноступенчатая ТС. Эжектор/компрессор, фильтр с тяжелой загрузкой, насосы	Удаление растворенных газов, снижение железа, марганца
	«Б»	50…3125	Двухступенчатая ТС. Биореактор, фильтр с плавающей загрузкой, насосы	Удаление газов, снижение железа, марганца, окисляемости, цветности, аммиака

«Н», «Б» - модификация установки.

В качестве аэрационных устройств в установках (табл. 2) применяется соответственно аэратор-дегазатор и воздушный эжектор (или компрессор), а установка «Кристалл» в безнапорном варианте снабжена дополнительной ступенью очистки - биореактором. Фильтры загружены кварцевым песком, промывка которого требует включения в технологическую схему емкости для хранения воды на промывку и промывных насосов. Кроме того, установка «Деферрит™» комплектуется дополнительным насосом подкачки.

Исключить недостатки присущие аналогам, повысить эффективность очистки и обеспечить специфические требования, рассмотренные выше позволит разработанная новая установка, модель которой показана на рис. 3 [19]. Отличительной особенностью установки является то, что процесс аэрации, дегазации и фильтрования осуществляется в одну ступень в едином корпусе. Установка содержит вертикальный цилиндрический корпус, разделенный горизонтальной решеткой на зону аэрации, расположенную в верхней части и снабженную регулируемым узлом отвода растворенных газов, и зону фильтрования - в нижней. Корпус установки снабжен камерой смешения.

Принцип работы установки заключается в следующем. Подземная вода через эжектор, установленный на трубопроводе подачи исходной воды и обеспечивающий подсос атмосферного воздуха, поступает в камеру смешения. Нижний конец подающего трубопровода снабжен насадкой, что обеспечивает тангенциальную подачу водо-воздушной смеси и закручива-

ние потока, а также веерный выход воды в зону аэрации, и как следствие, интенсивную аэрацию воды воздухом. Одновременно с процессом аэрации происходит процесс дегазации растворенных в воде газов (свободной углекислоты и сероводорода), которые выводятся из зоны аэрации через узел газоотвода. Конструктивно узел газоотвода выполнен таким образом, что позволяет регулировать уровень воды над разделительной решеткой, предотвращающей всплытие плавающей загрузки в зону аэрации.

Рис. 3. Модель установки для очистки подземной воды

Предварительно аэрированная вода из зоны аэрации нисходящим потоком поступает в зону фильтрования в слой плавающей гранулированной пенополистирольной загрузки обладающей развитой удельной поверхностью, на которой закрепляются и удерживаются железобактерии. При фильтровании воды с переменной постепенно убывающей скоростью в слое загрузки происходят процессы биологического обезжелезивания и очищенная вода отводится в сборную систему за пределы установки. Промывка фильтрующей загрузки осуществляется исходной водой. В частном случае исполнения установки для очистки подземной воды сложного физико-химического состава эжектор может соединяться с трубопроводом подачи озона.

В компактной установке за счет конструктивных особенностей одновременно достигается интенсификация процесса аэрации и реализуется быстрое окисление соединений железа, не требующее предварительного и продолжительного контакта воды с кислородом воздуха, что характерно для биологического обезжелезивания. Определение режимов и параметров работы установки, уточнение области применения и разработки методики расчета требуют дальнейшего проведения исследований в натурных условиях.

Библиографический список

1. Семеновых В.А., Говорова Ж.М. Состояние и проблемы водоснабжения на объектах железнодорожного транспорта. В сб.: докладов XII МНТК, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. [Электронный ресурс]: Электрон. дан. и прогр. (22,7 Мб). - Москва: Изд-во Нац. исследоват. Моск.гос. строит. ун-та, 2017. С.114-119.

2. Говорова Ж.М., Семеновых В.А. К выбору технологии очистки подземной воды // Сб. Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: XIX Международная научно-практическая конференция. Том I. - Тюмень: ТИУ, 2017. С. 259-263.

3. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. М., Стройиздат, 1987. 240 с.

4. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. М., Стройиздат, 1975. 176 с.

5. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод. – изд. 3-е, перераб. и доп.: Учебное пособие. М., Изд-во АСВ, 2010. 552 с.

6. Технология очистки природных вод: темат. сб. статей/ сост. В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева. М., 2006. 400 с.

7. Технический справочник по обработке воды DEGREMONT (2-е издание) в 2-х томах. – СПб.: Новый журнал, 2007. 1696 с.

8. Муше П., Герасимов Г.Н. Биологическая деферризация воды: обоснование и реализация // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. №11. Ч.2. С. 40-47; № 12. С.35-39.

9. Холодный Н.Г. Железобактерии. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1953. 225 с.

10. Dong Li, Jie Zhang, Hongtao Wang, Lixue Chen, Hao Wang // Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, Vol. 55, pp. 313-320; doi:10.2166/aqua.2006.014

11. Mouchet Pierre. From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France // Journal of American Water Works Association. Vol. 84, No. 4, 1992.

12. Miyajima T. Production of metallogenium-lake paticles by heterotrophic manganese-oxiding bacteria collected from a lake Text. / T. Miyajima // Achieves of Microbiology. 1992. - Vol. 158. – pp. 100-106.

13. Журба М.Г., Говорова Ж.М., Квартенко А.Н. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 9. С. 17-23.

14. Говорова Ж.М., Говоров О.Б. Исследование и опыт внедрения технологии обезжелезивания и умягчения подземной воды в Московской области// Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 9. С.6-15.

15. Аскерния А.А., Корабельников Л.В. Моисеев А.В. Особенности выбора методов одноступенчатого обезжелезивания и деманганации подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 1. С. 22-27.

16. Семеновых В.А., Каплун Р.В. Очистка подземных вод в условиях действующих станций обезжелезивания. Сб.докл. внутривузовской научно-практическая конференция «Технологии в инженерно-экологическом строительстве, механизации и жилищно-коммунальном комплексе». – М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2018. С. 100-104.

17. Сайт группы компаний «Экохолдинг» [Электронный ресурс]. – М.: ГК «ЭКОХОЛДИНГ», – Режим доступа: http://www.ecoholding.ru/, свободный.

18. Сайт группы компаний УП «Полимеркоснтрукция» [Электронный ресурс]. – Витебск: УП «Полимерконструкция», – Режим доступа: https://polymercon.com, свободный.

19. Патент РФ на изобретение № 2641132. Установка для очистки подземных вод» / Говоров О.Б., Семеновых В.А., Говорова Ж.М. Бюл. № 2 от 16.01.2018 г.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДО НОРМАТИВОВ НДТ

О.В. Янцен, старший преподаватель, каф. водоснабжения и водоотведения; **А.П. Сторожев,** магистрант; **В.А. Герасимов,** магистрант, НИУ МГСУ, г. Москва

Очистка сточных вод – одна из главных задач, поставленная для сохранения экологии нашей страны. Пик проектирования и строительства канализационных очистных сооружений (КОС) пришелся на прошлое столетие, и с каждым годом проектные решения все больше и больше модернизируется. В наше время, требования к очистке поступающих сточных вод становятся все строже, что требует конкретных изменений в технологии очистки, например, добавления стадии доочистки от соединений азота и фосфора, а также обработки и утилизации образующегося осадка с КОС [1]. В следствии этого, большая часть существующих КОС, построенных более 50 лет назад, не удовлетворяет данным нормативам.

На сегодняшний день действует Федеральный закон от 29.07.2017 №225-ФЗ [2], в котором прописаны нормы и требования ко сбросу очищенных сточных вод в водоем. Как пишет Залетова Н.А., Морозова Н.В. и Булычев И.О.: «Первые строительные нормы и правила (СНиП II-Г.6-62) по проектированию систем канализации вышли в 1962 году. Начиная с этого времени, идет широкое проектирование сооружений городской канализации. Проектирование, в основном, базируется на типовом проектировании» [3]. Из данного контекста можно сделать вывод, что, начиная со второй половины 20 века, основная часть очистных сооружений строилась по типовым проектам, которые достигали определенного качества очистки сточных вод, не соответствующего Федеральному закону от 29.07.2017 №225-ФЗ [2]. Вследствие данного факта, основная часть очистных сооружений, запроектированных и построенных больше полувека назад, не удовлетворяет требованиям по очистке сточных вод, согласно нормативам НДТ. Очищение сточных вод до показателей водоемов рыбохозяйственного назначения в принципе не осуществлялось.

Как показывает опыт, очистные сооружения малой производительности, расположенные в небольших городах или поселках, с населением менее 50000 человек, в течении эксплуатации не были реконструированы.

За 50 лет непрерывной работы, очистные сооружения, как правило, сильно изнашиваются. Большая часть сооружений может находится в нерабочем состоянии, а остальная в предаварийном. Тем самым нарушается весь процесс очищения сточной воды, а уже вследствие этого ухудшается водная экология [4].

Известно, что в малонаселенных городах чаще всего на стадии биологической очистки использовались биофильтры. Биофильтры не позволяют обеспечить глубокую биологическую очистку сточных вод от соединений фосфора, что говорит о необходимости изменения технологических решений.

В настоящий момент в России, в небольших городах и в сельской местности, сложилась плачевная ситуация с уровнем квалификации персонала, привлеченного к эксплуатации КОС. Ситуация такова: чем меньше по производительности КОС, тем более вопиющее несоответствие профессионализма персонала занимаемым должностям [5]. Это является большой проблемой, так как даже те КОС, которые способны очищать сточную воду до требуемых, на сегодняшний день, показателей, без должного обслуживания будут работать неисправно и придут в негодность.

Исходя из этого, требуется произвести реконструкцию очистных сооружений, наладить весь технологический процесс, автоматизировать весь процесс очистки и довести показатели очищенных сточных вод до нормативов НДТ.

1. Технологические показатели работы существующих сооружений

На сегодняшний день, показатели на выходе малых очистных сооружений, построенных более 50 лет назад, значительно превышают ПДК на сброс, вследствие изношенности сооружений и устаревшего оборудования, не отвечающего современным требованиям [6]. В связи с этим, для создания проекта по реконструкции необходимо проводить анализ существующих сооружений и действующей технологической схемы на станции очистки сточных вод.

Поступающий на КОС сток проходит следующие стадии очистки: механическую очистку (решетки, песколовки), осветление (первичные отстойники), биологическую очистку (биофильтры, вторичные отстойники), обеззараживание (контактные резервуары, хлораторная). Образовавшиеся в ходе обработки стока осадки подвергаются стабилизации и складируются на иловых площадках.

Была выполнена проработка трех вариантов проектных решений реконструкции КОС малой производительности. Выбор технического решения, наиболее эффективного с экономической точки зрения, был проведен с учетом следующих показателей:

– Демонтаж изношенного оборудования, сетей, строений;
– Монтаж новых сетей;
– Строительство новых капитальных объектов;
– Монтаж нового оборудования в т.ч. закупка;

2. Решение по реконструкции КОС

Были исследованы некоторые существующие очистные сооружения малых городов, с невысокой численностью населения. В результате были предложены и проанализированы следующие варианты по реконструкции КОС.

Вариант №1 – Реконструкция существующих сооружений в полном объеме. Учитывая техническое состояние сооружений по очистке стоков, используемых в данное время, потребуется восстановление железобетонных конструкций. Наряду с восстановлением строительной части сооружений потребуется полная замена устаревшего технологического оборудования. В существующих малых очистных сооружениях для снижения концентраций органических веществ и биогенных элементов (азота и фосфора) применяются биофильтры. Технология очистки стоков на биофильтрах не позволяют проводить очистку от фосфатов до требований ПДК (ИТС НТД 10-2015 [7]). Из этого следует вывод, что вариант реконструкции с восстановлением биологической очистки на биофильтрах в настоящее время неприменим и является самым дорогостоящим.

Вариант № 2 – Рассматривается вариант восстановления существующих сооружений с исключением биофильтров. Удаление органических веществ и биогенных элементов будет осуществляться в отдельно стоящем блоке аэротенков с технологией нитриденитрификации. Ввиду значительной стоимости восстановления существующих сооружений общая стоимость работ по реконструкции не является оптимальной. Эксплуатация данных сооружений, в дальнейшем не даст того экономического эффекта, который потенциально заложен в реализацию варианта № 3.

Вариант № 3 – Строительство нового, полностью автоматизированного и компактного комплекса очистных сооружений, взамен существующих. Новые КОС будут скомпонованы в едином блоке. Все емкостные сооружения предполагается оборудовать съемными пластиковыми перекрытиями, с отводом воздуха на очистку, что позволит работать очистным сооружениям нулевой эмиссией и для проведения эффективной биологической очистки поддерживать требуемую температуру стоков.

Данный вариант является наиболее экономически оптимальным, так как демонтаж существующих сооружений практически не требуется. Очистные сооружения будут обеспечивать требуемую степень очистки по всем показателям. Предложенное технологическое решение позволит работать на очистных сооружениях стандартно и с любым уровнем эксплуатирующего персонала.

3. Описание технологической схемы

По варианту № 3 была создана технологическая схема КОС, представленная на рис. 1.

Производительность городских очистных сооружений принята 10 000 м³/сут. Очистка и обеззараживание сточных вод производится до показателей, позволяющих производить их сброс в водоприемник рыбохозяйственного назначения первой категории.

Принятые средние концентрации загрязнений в стоках, поступающих на очистку и требуемые показатели очищенных сточных вод по нормам НДТ [8], представлены в табл. 1.

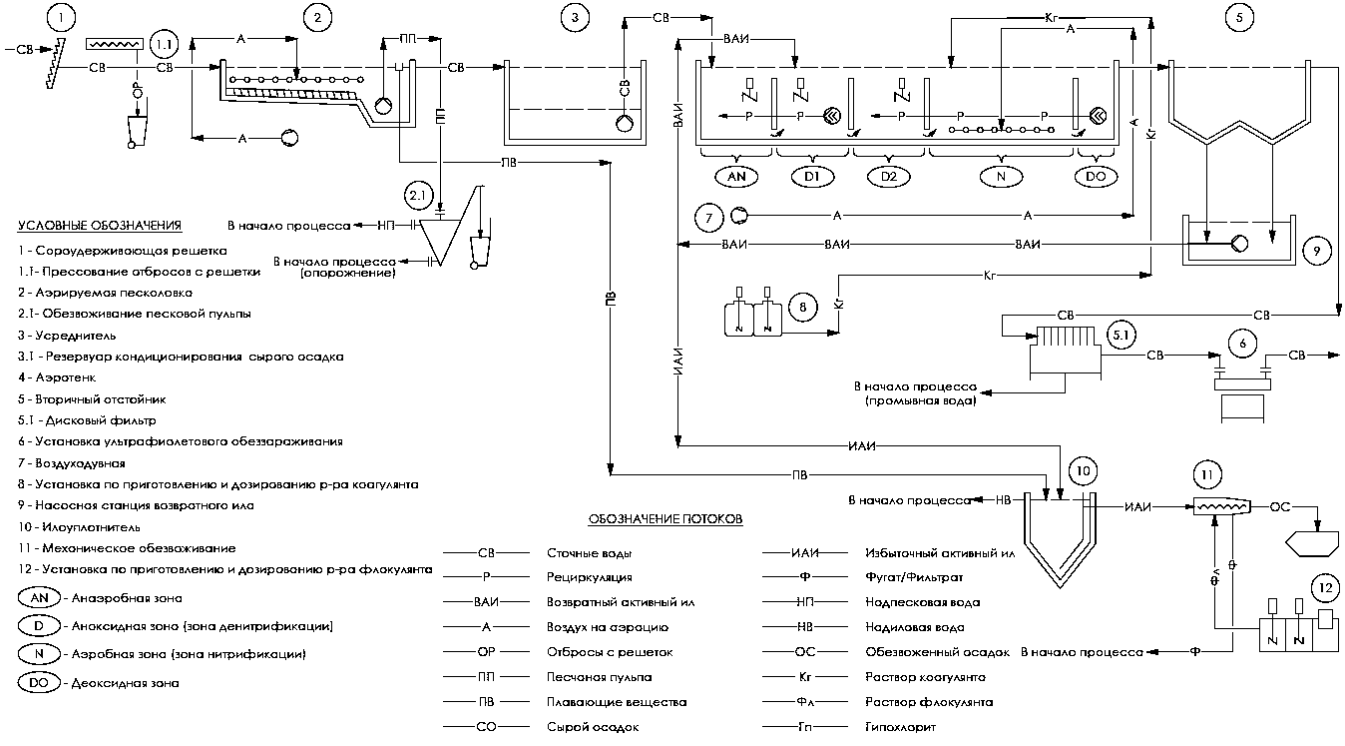


Рис. 1. Технологическая схема реконструкции КОС вариант №3

Таблица 1

Показатели сточной воды

Показатели сточных вод	Средние показатели поступающих сточных вод на КОС	Норматив НДТ
Взв. вещества, мг/л	260	3
БПК$_5$, мгO_2/л	240	2
Азот общий, мг/л	52	-
Аммоний-ион (по азоту), мг/л	42	0,4
Фосфор общий (по фосфору) , мг/л	10	-
Фосфат-ион (по фосфору), мг/л	6	0,2
PH	7-7,5	6,5-8,5
Температура стоков, С°	12	Не более 20

Механическая очистка: для извлечения отбросов устанавливается многоступенчатые гидравлические решетки. Ширина прозора фильтрующего полотна решетки – 3 мм. Система очистки от отбросов, уловленных решеткой, происходит в автоматическом режиме, цикл очистки запускается по сигналу датчика уровня во входном канале. Выгрузка отбросов в контейнер осуществляется с помощью горизонтального шнекового конвейера отходов с установленным на нем прессом. После прохождения решеток сток поступает в аэрируемые песколовки, в которых происходит удаление минеральных загрязнений и плавающих веществ. Песок оседает в донной части песколовки и по мере накопления, с помощью транспортера, сгребается в приямок. В верхней части песколовки также предусмотрена зона улавливания свободно плавающих веществ: жиров, масел, нефтепродуктов и др.

Количество устанавливаемых песколовок - 2 шт. Уловленные минеральные загрязнения удаляются песковыми насосами. Уловленный песок подается на промыватель песка, где происходит его отмывка от органических загрязнений и обезвоживание до влажности 60%. Очищенные от грубых примесей и песка стоки самотеком поступают в усреднитель.

Усреднитель: предназначен для выравнивания колебаний расхода сточных вод и представляет собой двухсекционную закрытую железобетонную емкость с системой вентиляции. Для предотвращения оседания тяжелых примесей и взвешенных веществ каждая секция усреднителя оборудована мешалкой. Из усреднителя сточная вода самотеком поступает на биологическую очистку в аэротенки.

Биологическая очистка от органических и биогенных веществ, илоотделение:

Биологическая очистка, соответствующая современным требованиям, проходит в аэротенках с последовательно расположенными анаэробной, аноксидными и аэробной зонами [9]. Количество независимо работающих аэротенков – четыре.

С целью интенсификации процесса биологического удаления фосфора используется анаэробная зона перед зонами денитрификации (аноксидная зона) и нитрификации (аэробная зона) [10]. Применение анаэробной зоны обеспечивает цикличное чередование анаэробных (бескислородных) условий с аэробными (с присутствием кислорода растворенного или химического связанного). Определенная часть микроорганизмов активного ила, при таком чередовании, приобретают устойчивую способность запасать избыточное количество фосфатов в виде более сложных соединений в аноксидных и аэробных зонах и вытеснять их в анаэробных зонах при расщеплении запасенных соединений для потребления органических веществ. За счет того, что количество поглощенных фосфатов больше, чем вытесненных, происходит биологическое удаление избыточного биологического фосфора в большем количестве, чем это необходимого для построения клеток биомассы. Запасенный фосфор выводится из системы с избыточным активным илом.

В анаэробную зону каждого аэротенка подается механически очищенный, усредененный сток и циркуляционный поток из конца первой аноксидной зоны. Циркуляционный поток – аноксидный рецикл – подается погружным насосом.

Для удаления азота используются аноксидные зоны. В этих зонах проходит процесс денитрификации – восстановления нитратного азота до газообразного под действием гетеротрофных микроорганизмов активного ила. Микроорганизмы используют высвободившийся кислород после восстановления нитратов для окисления органических веществ.

В начало первой аноксидной зоны погружным насосом подается иловая смесь из вторичного отстойника – рециркуляция возвратного активного ила. Данный насос установлен в специально выделенной емкости, смежной с вторичным отстойником – насосной станции возвратного ила. В начало второй аноксидной зоны подается поток нитратного рецикла из конца аэробной зоны. Для снижения концентрации растворенного кислорода в нитратном рецикле в конце аэробной зоны выделена деоксидная зона и установлен осевой насос. Для поддержания биомассы во взвешенном состоянии в деоксидной зоне каждого аэротенка установлены погружные мешалки.

Для окисления аммонийного азота и органических веществ используется аэробная зона. В этой зоне происходит окисление органических веществ гетеротрофными и автотрофными микроорганизмами активного, использующих кислород воздуха. Аммонийный азот автотрофными бактериями окисляется до нитритов, а затем нитриты до нитратов. Процесс окисления аммонийного азота до нитратов называется – нитрификацией.

В аэробной зоне активный ил поддерживается во взвешенном состоянии за счет перемешивания воздухом. В Аноксидной и анаэробной зонах используются мешалки.

В проекте по реконструкции КОС применены аэротенки, работающие по схеме Modified University of Cape Town (MUCT). Преимуществами данной схемы очистки от биологических загрязнений и биогенных элементов является то, что удаление нитратов из возвратного ила происходит только в первой зоне денитрификации, а денитрификация основного количества нитратов, поступающего с нитратным рециклом – в специально выделенной для этих целей второй зоне денитрификации. Возврат иловой смеси в анаэробную зону при этом происходит с выхода первой зоны денитрификации. Таким образом, при увеличении кратности нитратной рециркуляции и увеличении содержания нитратов на выходе второй зоны денитрификации, содержание нитратов в анаэробной зоне не увеличивается, т.к. аноксидный рецикл осуществляется теперь с выхода первой аноксидной зоны, до точки подачи обогащенной нитратами иловой смеси (нитратной рециркуляции). При этом за счет увеличения эффективности очистки от азота содержание нитратов в возвратном иле падает, что в свою очередь лишь снижает нагрузку по нитратам на первую аноксидную, а значит и анаэробную зону.

Из аэротенка иловая смесь поступает во вторичные отстойники.

Вторичный отстойник представляет собой емкостное сооружение с днищем в виде пирамидальных заглублений, в нижней части которого осаждается активный ил.

Биологически очищенный сток поступает в распределительный лоток в начале отстойника, в конце отстойника с помощью сборного лотка происходит отвод осветленной воды. Для каждого аэротенка предусмотрен свой независимо работающий отстойник. Осевший ил поступает в насосную станцию возвратного ила, откуда подается в начало анаэробной зоны. Часть активного ила – избыточный активный ил – поступает на сооружения по обработке осадка.

Осветленная вода из вторичных отстойников подается для доочистки на дисковые фильтры.

Механическая доочистка от взвешенных веществ и фосфора: для доочистки сточных вод в проекте предусмотрена установка дисковых фильтров. Стоки в дисковый фильтр подаются в безнапорном режиме, и далее по полому валу внутрь фильтровальных дисков. Через сетку дисков стоки поступают наружу в резервуар установки. Взвешенные вещества осаждаются на внутренней поверхности дисков под действием силы тяжести, очищенный фильтрат отводится из резервуара с торца установки. По мере загрязнения сетки включается автоматическая промывка. Отвод промывной воды из установки осуществляется в автоматическом режиме самотеком. Для промывки используется очищенный фильтрат, подаваемый на форсунки насосом, установленным на фильтре. Во время промывки фильтров процесс фильтрации не прерывается. Промывная вода направляется в начало технологического процесса.

Реагентное удаление фосфора: для удаления фосфора предусматривается дозирования коагулянта в зоны с системой аэрации (аэробные зоны

аэротенков). При контакте фосфатов с коагулянтом образуются нерастворимые соединения, которые выводятся с избыточным активным илом.

Раствор коагулянта готовиться в растворных баках с установленными в них высокооборотными миксерами. Из растворных баков насосами-дозаторами раствор коагулянта подается к точкам дозирования. Предусматривается установка 2 независимо работающих линий, каждая из которых представляет собой комплектную установку по приготовлению и дозированию коагулянта, 1 рабочая, 1 резервная.

Обеззараживание очищенных сточных вод: после стадии доочистки сточная вода обеззараживается ультрафиолетовым излучением на бактерицидных установках, и далее направляется на сброс в водный объект.

Обработка осадка: с целью снижения объема вывозимого осадка уплотненный избыточный активный ил шнековыми насосами, подается на установки механического обезвоживания – декантер.

Для улучшения влагоотдающих свойств осадка предусматривается добавления в него раствора флокулянта. Обезвоженный осадок выгружается в контейнер. Фугат направляется в начало технологического процесса.

4. Выводы

Рассмотрев различные варианты реконструкции КОС малой производительности, был выбран наиболее экономичный и удобный в эксплуатации вариант, который также удовлетворял требования по сбросу очищенных сточных вод. При данном варианте - технологическая схема очистки обеспечивает обработку заданного качества сточных вод, что позволяет:

1) обеспечить извлечение из сточных вод грубодисперсных примесей;

2) обеспечить глубокую биологическую очистку с удалением биогенных элементов (азота и фосфора);

3) максимально снизить объем вывозимых отходов, осадков, образующихся при очистке сточных вод и поверхностного стока, т.к. используются современные методы обработки осадков;

4) Осуществить сброс без нанесения ущерба окружающей среде.

Библиографический список

1. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Повышение экоэффективности технологии очистки сточных вод. Сервис в России и за рубежом, 2014, 1(48), 153-162.

2. Федеральный закон "О внесении изменений в Федеральный закон "О водоснабжении и водоотведении" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 29.07.2017 N 225-ФЗ.

3. Залетова Н.А., Морозова Н.В., Булычев И.О. Изменение во времени приоритетов в технологиях очистки городских сточных вод. Системные технологии. 2018. №27, 89-93.

4. Зверева С.М., Бартова Л.В. Развитие технологии очистки сточных вод малых населенных пунктов. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. 8(2), 64-74.

5. Пукемо М.М. Проблемы обслуживания очистных сооружений и способы их решения. ВОДА magazine: Водоснабжение Водоотведение Теплоснабжение «Проблемы и решения». 2016. №6 (106), 32-35.

6. Саломеев В.П. Реконструкция и модернизация очистных сооружений водоотведения в Московской области. Известия Московского государственного технического университета МАМИ, Т.2. 2013. №4, 205-211.

7. ИТС 10-2015 Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов.

8. Даниилович Д.А. НДТ очистки сточных вод поселений: концепция информационно-технического справочника. Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2015. №2, 12-17.

9. Соловьева Е.А. Технология очистки сточных вод и обработки осадков при глубоком удалении азота и фосфора из сточных вод. Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. №1, 93-99.

10. Залетова Н.А., Воронов Ю.В. Новые технологии для решения современных задач очистки сточных вод. Вестник МГСУ. 2012. №2, 109-111.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ЖИРА В СТОЧНЫХ ВОДАХ

А.К. Стрелков, проф., д.т.н.; **С.Ю. Теплых**, доц., к.т.н.; **А.О. Быстранова**, аспирант, АСА СамГТУ, г. Самара

На предприятиях масложировой промышленности сточные воды образуются вследствие промывания сырых масел и жиров в следствии чего, загрязнены значительными количествами органических и минеральных веществ, находящимися в виде суспензий, эмульсий, коллоидных систем и молекулярных растворов.

Сточные воды промышленных предприятий содержат большое количество органических загрязнений: углеводородные масла, растительные жиры, поверхностно активные вещества и др.

В зависимости от технологической схемы применяемой для переработки масло-жирового сырья в сточных водах могут присутствовать вещества различных видов: глицериды и жирные кислоты, а также сопутствующие им вещества (белки, углеводы, гликолипиды, фосфотиды, свободные жирные кислоты, неомыляемые липиды и др. веществ). [1,2].

На масложировых комбинатах производят множественные технологические операции, вследствие чего образуются различные виды загрязнений, так, сточные воды маслоэкстракционного производства включают в себя жировые вещества, а также, бензин, шрот, фосфотиды, мыло, щелочь и др. сопутствующие вещества.

На заводах по производству масложировой продукции, сточные воды образуются от очистки прессового и экстракционного масла на сепараторах. Пары бензина, выходящие из шламовыпарителя, с водой направляются в конденсатор, а затем с большим содержанием бензина от шнековых испарителей в водоотделитель, затем сточные воды поступают в рекуператор, после этого сбрасываются в дворовую бензиноловушку [3].

Помимо технологической процесса, источником образования сточных вод служит следующие процессы: мойка оборудования на производстве, стирка салфеток фильтр-прессов, мойка лабораторной посуды.

Для выполнения нормативно допустимого сброса в водоем, обязательна предварительная очистка, которая заключается в выделении и удалении жира до норм ПДК.

Составной частью санитарно-технических систем каждого предприятия является инженерные сооружений для сбора и отведения территории предприятия загрязнённых обработанных вод, включающий очистку сточных вод и извлечение из них ценных веществ и примесей, а также обеззараживание и обезвреживание [4].

Технология процесса экстракции должна обеспечивать отсутствие бензина в сточной воде. В противном случае это приведет к значительному удорожанию оборудования очистки.

Поскольку сточные воды предприятий масло-перерабатывающей промышленности представляют собой дисперсные системы из эмульсированных органических веществ, для их очистки необходимо создать условия, нарушающие устойчивость этих систем. Применение лишь одного способа для наращения устойчивости системы недостаточно, на практике чаще всего применяют комбинированные способы очистки.

Методы определения жира

Жиры в сточных водах могут находиться в трех агрегатных состояниях твердом, жидком и коллоидном. В зависимости от условий образования и состава сточных вод жиры могут быть в виде жировой фазы, образующей на поверхности жидкости пленку, диспергированных частиц в воде (эмульсия) и находиться в растворенном состоянии. Наиболее часто в сточных водах наблюдается существование одновременно всех трех состояний жира, что значительно затрудняет определение его концентрации.

В литературе описаны некоторые методы определения жира в сточных водах, которые основаны на экстракции жира органическими растворителями.

Наиболее широко распространен гравометрический метод с применением аппарата Соклета, где в качестве растворителя используют диэтиловый или петролейный эфир. Гравиметрический анализ основан на точном измерении массы определяемого вещества или его составных частей, полученных в результате аналитической реакции и выделенных в химически чистом состоянии или в виде соответствующих соединений.

Также измерение массовой концентрации жиров в природных и очищенных сточных водах выполняют ик-спектрофотометрическим методом. Измерение массовой концентрации жиров основано на зависимости интенсивности поглащения С-Н связей в инфракрасной области спектра от массовой концентрации жиров в растворе четыреххлористого углерода

В данном исследовании приведены результаты определения содержания жиров на реальных сточных водах с помощью гравометрического и ик-спектрофотометрическим метода.

Экспериментальное исследование

В качестве объекта исследования выступает маслоэкстракционный завод ЗАО «Самараагропромпереработка», г. Безенчук.

Как показали результаты контроля, производственные воды маслоэкстракционных заводов Сточные воды предприятий масложировой промышленности мутные, серого цвета с хлопьевидной взвесью. Стоки предприятий по рафинированию растительных жиров для производства пищевых масел состоят в основном из эмульсий загрязненных жиров, стабилизированного мыла, полученного из жиров и жирных кислот [5].

Для достоверности эксперимента был приготовлен модельный раствор, в качестве основного компонента было использовано подсолнечное масло. В водопроводную воду, предварительно доведенную до температуры 40-60 °С, вносили загрязнения в виде масла и согласно определенным химическим показателям рассчитывалась доза вводимого загрязнения. Затем модельный раствор охлаждали до температуры 20-22 °С.

Концентрацию жира была определена гравометрический метод (ПНД Ф 14.1:2.122-97) и ик-спектрофотометрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.189-02), результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Концентрация жиров на разных этапах очистки

Этапы очистки	**Гравометрический метод (мг/дм^3)**	**Ик-спектрофотометрическим метод (мг/дм^3)**
на входе	384,2	379,3
с усреднителя	256,8	251,7
после флотатора Redox	19,7	13,5
после аэротенка	0,6	Менее 0,5
на выходе	Менее 0,5	0
модельный раствор (концентрация жира 100 мг/дм^3)*	393	398

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее точно концентрация жиров определена с помощью ик-спектрофотометрического метода, так как при определении жира этим методом погрешность составила 2%.

Изучение по литературным источникам вопроса очистки сточных вод предприятий молочной промышленности показало, что наиболее широко распространенным методом локальной очистки является метод с применением различных реагентов. Одним из наиболее распространенных методов очистки производственных сточных вод является их очистка при использовании коагулянтов.

Дальнейший этап научных исследований будет заключаться в серии экспериментов: по выбору оптимальной схемы реагентной обработки, подборе оптимальных марок коагулянтов и определении удельных расходов (доз) реагентов.

Выводы:

1. Сточные воды любого предприятия масложировой промышленности характеризуются высокой концентрацией органических веществ и биогенных элементов: на выпуске высокожирной продукции, составляет 200-400 мг/л, в сточных водах других видов производства обычно не превышает 100 мг/л.

2. Наиболее точно концентрация жиров определена с помощью ик-спектрофотометрического метода, так как погрешность измерения составляет 2%.

Библиографический список

1. Мачигин, В.С., Очистка сточных вод предприятий масло-жировой промышленности / В.С. Мачигин, Л.П. Щербаков // Масло-жировая промышленность. 1992. № 1. С. 30-34.

2. Теплых, С.Ю. Очистка масло- и жирсодержащих сточных вод: дисс. канд. техн. наук: 05.23.04 / Теплых Светлана Юрьевна. – Самара, 2000. С. 154.

3. Пушкарев В.В., Южанинов А.Г., Мэн С.К. Очистка масло-содержащих сточных вод. М., 1980. С. 197.

4. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / Н.А. Клименко, М., 2010. С. 461.

5. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды. М.: АСВ, 2017. С. 491.

ИЗУЧЕНИЕ МЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Г.Г. Каграманов, д.т.н., проф., зав. каф. мембранной технологии; **Е.Н. Фарносова,** к.т.н., доц.; **А.В. Титов,** магистрант, ФГБОУ РХТУ им Д.И. Менделеева, г. Москва

Драгоценные металлы и их соединения обладают уникальными физико-химическими свойствами. С каждым годом спрос на них увеличивается, что можно проследить на примере золотодобычи в мире, представленной на рис. 1 [1].

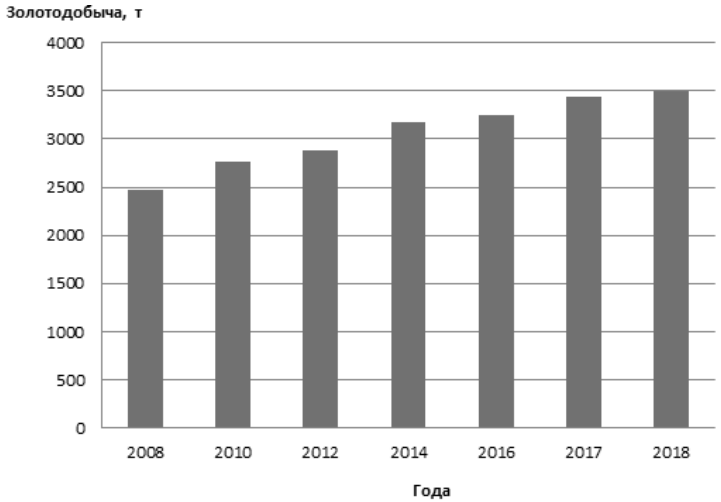


Рис. 1. Динамика золотодобычи в мире

В процессе переработки и аффинажа драгоценных металлов образуются сточные воды, характеризующиеся высоким солесодержанием (до 300 г/л) сложностью состава (тяжелые металлы, драгоценные металлы, величина pH варьируется в диапазоне 0,5-13).

Для тяжелых металлов характерны такие явления, как постепенное накопление в тканях и органах организмов, канцерогенность, мутагенность и тератогенность.

Для аффинажного производства по договору №1522/19; 01-Д-1.1-1368/2019 были проведены патентные исследования и обзор научно-технической литературы, в которых отображены методы очистки вод от тяжелых металлов. В ходе патентных исследований было проанализировано более 1200 источников.

Основными методами удаления тяжелых металлов из вод являются: реагентный метод, экстракция, сорбция, ионный обмен, мембранные методы. Относительная частота их описания в патентах представлена на рис. 2.

Рис. 2. Основные методы обезвреживания сточных вод

Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки, а также оптимальные области применения.

Мембранные методы перспективны в области очистки сточных вод от тяжелых металлов, так как они обладают следующими достоинствами:

- Относительно невысокие энергозатраты;
- Простота аппаратурного исполнения;
- Компактность установки;
- Возможность полной автоматизации системы;
- Высокая эффективность и др.

К основными баромембранным процессам относятся: ультрафильтрация (УФ), нанофильтрация (НФ) и обратный осмос (ОО).

УФ – баромембранный процесс разделения, в котором мембрана задерживает высокомолекулярные частицы.

Существует несколько методов УФ извлечения ионов тяжелых металлов, объединить которые можно под названием «реагентноусиленная» УФ.

- Мицеллярно-усиленная УФ - агрегация ионов осуществляется поверхностно-активными веществами (ПАВ).
- Комбинирование комплексообразования и УФ (образование комплексных соединений с ионами ТМ), в том числе полимер-усиленная УФ;
- УФ агрегатов, образованных ионами металлов, сорбированных на поверхности нерастворимых золей ;
- Комбинирование коагуляции и УФ (создание дисперсной системы с неорганическими коллоидами, например, нерастворимыми гидроксидами многозарядных металлов, с добавлением коагулянтов и флокулянтов), в том числе полиэлектролит-усиленная УФ.

Отметим наиболее интересные работы.

В статье [2] производилась очистка модельного раствора от ионов меди, никеля и хрома на ультафильтрационной мембране из полиэфирсуль-

фона, в качестве связывающего агента применялась карбоксилметилцеллюлоза. Селективность по ионам меди составила – 97,6%, по ионам никеля – 99,1%, по ионам хрома – 99,5%.

В работе [3] для одновременного удаления ионов Co^{2+} и Ni^{2+} модельного раствора использовали УФ мембрану из полиэфирсульфона и натриевую соль лаурилсульфокислоты в качестве поверхностно-активного вещества. Селективность разделения составила 99%.

Обратный осмос. Механизм разделения представляется капиллярно – фильтрационной моделью селективной проницаемости. Эта модель была предложена Сурираджаном и затем усовершенствована в работах Дытнерского Ю.И. и его сотрудников [4].

Нанофильтрация. В основе разделения лежат два механизма: каппилярно-фильтрационный и зарядовый.

Происхождение заряда на поверхности и внутри пор мембраны может быть самым разным; некоторые мембраны имеют природный заряд (карбонильные, гидроксильные и т.п. группы), другие – получают этот заряд адсорбцией ионов из проходящего раствора. В последнем случае заряд зависит от концентрации и валентности как аниона, так и катиона.

В работе [5] проводилась одновременная очистка от ионов кадмия, никеля, меди, цинка и кобальта с использованием нанофильтрации и обратного осмоса. Селективность обратного осмоса по всем катионам достигает 99% и выше. Селективность нанофильтрации по ионам никеля и кобальта достигает 86%, по стальным катионам около 67%.

В статье [6] исследовали очистку сточных вод от ионов меди и кадмия с использованием обратного осмоса и нанофильтрации. Селективность обратноосмотической мембраны по ионам меди составила 97%, по ионам кадмия – 98,5%; нанофильтрационной мембраны – 96% и 97% соответственно.

В работе [7] были теоретически и экспериментально исследованы мембраны для обратного осмоса и нанофильтрации для удаления тяжелых металлов из сточных вод. Селективности представлены на рис.3.

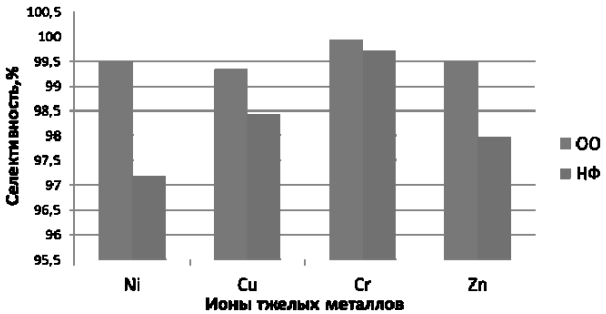


Рис.3. Сравнение селективности по ионам никеля, меди, хрома и цинка для НФ и ОО

На основе литературного обзора и патентных исследований можно сказать, что мембранные методы являются высокоэффективными. Однако для очистки вод аффинажного производства необходима комбинация из реагентных методов, ультрафильтрации, обратного осмоса и ионного обмена.

Библиографический список

1. World Gold Council [Электронный ресурс].- https://www.gold.org/goldhub/data/historical-mine-production

2. M.A. Barakat. Removal of Cu(II), Ni(II), and Cr(III) ions from wastewater using complexation – ultrafiltration technique // IWTC.-12.2008.-pp. 395-402.

3. Vishal D. Karate, K.V. Marat he, Simultaneous removal of nickel and cobalt from aqueous stream by cross flow micellar enhanced ultrafiltration // Journal of Hazardous Materials.-2008.- vol. 157 pp. 464–471

4. Дытнерский Ю.И., Кочаров Р.Г., До Ван Дай. Исследование процесса разделения водных растворов неорганических солей обратным осмосом// Тез. докл. I Всесоюзн. конф. по мембранным методам разделения смесей. МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1973. с. 24.

5. Kagramanov, G. G., Farnosova, E. N. Effect of solution composition on selectivity of reverse osmosis and nanofiltration membranes // Petroleum Chemistry.-2012.-vol 52.-pp. 625–630.

6. Qdais, H. A., & Moussa, H. Removal of heavy metals from wastewater by membrane processes: a comparative study // Desalination.-2004.-vol. 164.-pp. 105–110.

7. Ahmed Faiq Al-Alawy, Miqat Hasat Salif. Theoretical and Experimental Study of Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes for Removal of Heavy Metals from Wastewater // International Journal of Science and Research.-12.2017.-vol. 6.-pp. 778-788.

ДЕЛИТИРОВАНИЕ ПОДМЕРЗЛОТНЫХ ВОД ЯКУТИИ ДЛЯ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

С.В. Федорова, м.н.с. ИМЗ СО РАН, аспирант НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск; **А.Н. Крыжановский**, проф., к.т.н.; **И.А. Косолапова**, доц., к.т.н., НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск

Неравномерное распределение населения по обширной территории Республики Саха (Якутия) наряду с суровыми климатическими условиями диктует особые требования к организации водоснабжения. Проблема обеспечения населения питьевой водой может быть частично решена за счет вовлечения подземных вод в локальные системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Среди основных типов подземных вод криолитозоны наиболее широко распространены подмерзлотные воды. Их стабильный химический состав, бактериологическая стерильность и естественная защищенность от поверхностного загрязнения определяют высокую перспективность использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Кроме того, использование регионально распространенных подмерзлотных вод позволит максимально приблизить источники водоснабжения к конкретным водопотребителям, что значительно сократит расходы на организацию и эксплуатацию систем водоснабжения.

Несмотря на значительные запасы этих вод, их использование в питьевых целях весьма ограниченно в связи с повышенным содержанием отдельных элементов, в том числе лития. В то время как, доля лития в подмерзлотных водах незначительна, его содержание в десятки раз превышает предельно допустимые концентрации, установленные для хозяйственно-питьевых вод [1]. Так, концентрация лития в пресных под-мерзлотных водах Центральной Якутии достигает 25-30 ПДК [2].

В природе литий находится только в виде соединений, встречается в виде силикатов, фторидов и фосфатов, а также в виде хлоридов в растворах различного происхождения. Концентрируется главным образом в кислых изверженных и осадочных породах, содержание лития в них составляет в среднем 65 г/т [3]. В главных типах осадочных пород его концентрация увеличивается от карбонатных (17,4 г/т) и песчаных (29 г/т) пород к глинам (54,7 г/т) и глинистым сланцам (65 г/т), достигая максимума в глиноземистых породах (183 г/т) [4]. Главными минералами-носителями лития в различных горных породах являются слюды, которые в процессах гипергенного изменения переходят в глинистые минералы, в результате чего литий получает возможность входить в структуру новообразованных минералов [5]. В минералах глин он присутствует главным образом в виде изоморфной примеси, некоторая его часть адсорбируется на поверхности глинистых частиц и получает возможность мигрировать в подземные воды в виде катиона Li^+. Таким образом, источниками лития в подмерзлотных водах могут служить слюды и глины, причем выщелачивание лития из них усиливается при наличии в воде повышенных содержаний хлоридов.

Литий оказывает токсическое действие по типу угнетения функции почек и нарушений сердечно-сосудистой и центральной нервной систем [6, 7]. Основными местами накопления его в организме человека являются щитовидная железа и костная ткань [8]. В клинической медицине препараты лития применяются для лечения тяжелых психических заболеваний. Однако, несмотря на доказанную их эффективность, использование в медицинской практике весьма ограничено в связи с множеством побочных эффектов [9].

Сложность выбора технологической схемы водоподготовки обусловлена отсутствием апробированных способов очистки природных вод хозяйственно-питьевого назначения от соединений лития. Существующие способы его извлечения из природных рассолов и технологических растворов относятся к области гидрометаллургии и неорганической химии и не подходят для систем хозяйственно-питьевого назначения.

На базе лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН проведены лабораторные экспериментальные исследования, в процессе которых была оценена возможность применения реагентного, сорбционного, обратноосмотического и ионообменного методов очистки воды для удаления лития из подмерзлотных вод.

Гидрохимическая аналитика проб воды выполнялась методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-104Т» по стандартной методике [10].

Степень извлечения лития S (%) из подмерзлотных вод в каждый конкретный момент времени t находили по формуле:

$$S = \frac{\left(C_0 - C_i\right)}{C_0} \cdot 100\%$$

где C_0 – исходная концентрация ионов лития, мг/л; C_i – концентрация ионов лития в момент времени *t*, мг/л.

В качестве реагентов использовались оксихлорид- и полиоксихлорид алюминия, в качестве сорбента – термически модифицированный брусит в молотом виде. При их добавлении в образцы натурной подмерзлотной воды в различных дозах концентрация лития оставалась практически неизменной.

Изучение эффективности обратноосмотического метода для удаления лития из подмерзлотных вод проведено в рамках договорных работ на действующей водоподготовительной системе, состоящей из двух обратноосмотических установок [11]. Изначально установки работали в параллельном режиме (одноступенчатая схема), при этом остаточное содержание лития в очищенной воде превышало установленные нормативы. После реконструкции системы водоподготовки в последовательный режим (двух-

ступенчатая схема) были получены допустимые для питьевого водоснабжения концентрации, однако количество пермеата при этом составило около 50% от объема исходной воды (рис. 1).

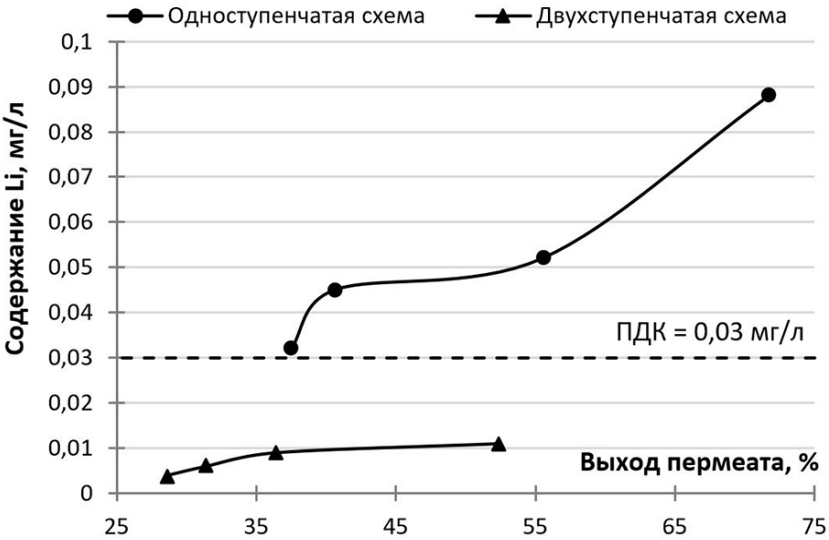


Рис. 1. График зависимости остаточной концентрации лития от выхода пермеата при параллельном и последовательном режимах работы обратноосмотических установок

В качестве альтернативы обратному осмосу рассмотрена возможность применения метода ионного обмена. В ходе проведения первичных лабораторных экспериментов установлено, что этот метод обладает максимальной эффективностью по отношению к ионам лития. В качестве ионита использовалась коммерчески доступная сильнокислотная Na-катионитная смола Dowex марки HCR-S/S (Na), содержащая активные сульфогруппы. Экспериментальные исследования проводились в статических условиях при постоянной температуре на монокомпонентных модельных растворах и натурных подмерзлотных водах. Модельные растворы готовились путем разведения государственного стандартного образца ионов лития в дистиллированной воде. Кривые степени извлечения лития получали при изменении массы смолы (рис. 2). При продолжительности контакта в течение суток степень извлечения лития достигла 90% для натурных подмерзлотных вод и 99% для модельных растворов. Процесс ионного обмена в модельных растворах протекает эффективнее чем в натурных подмерзлотных водах, что объясняется отсутствием влияния солевого состава.

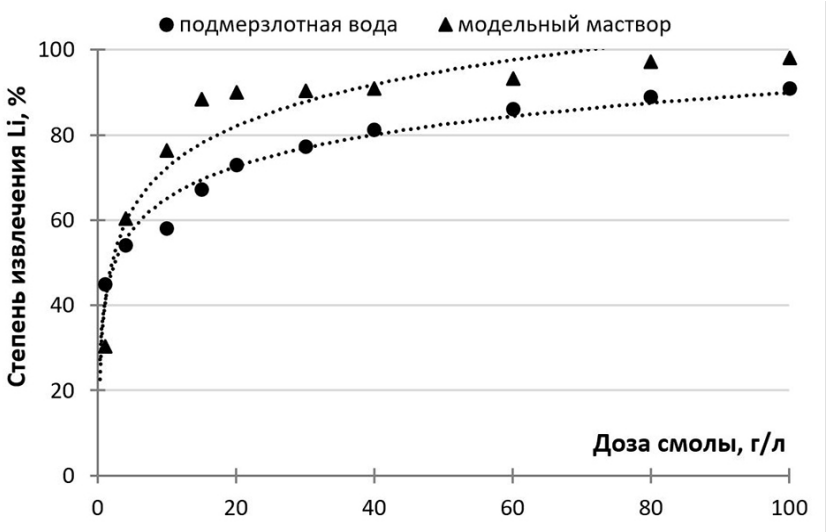


Рис. 2. Зависимость степени извлечения лития от дозы ионообменной смолы

Кинетику сорбции ионов лития исследовали в статических условиях при непрерывном перемешивании раствора (рис. 3). Анализ кинетической кривой показывает, что состояние ионообменного равновесия устанавливается в течение 15-20 минут контакта фаз, но наиболее интенсивный обмен происходит в первые 5 минут контакта.

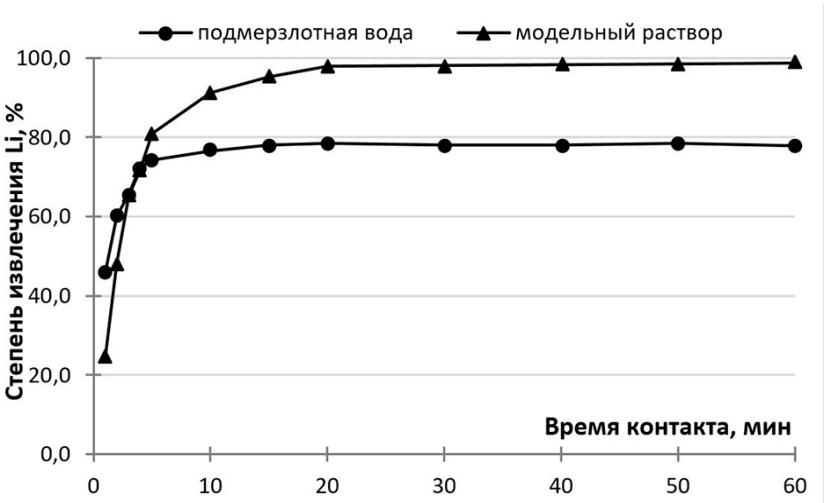


Рис. 3. Зависимость степени извлечения лития от времени контакта фаз

На основе полученных данных авторами проведена опытно-промышленная апробация ионообменного метода с целью делитирования подмерзлотных вод Якутского артезианского бассейна для питьевого водоснабжения [12]. Апробация проводилась на скважине Института мерзлотоведения СО РАН, которая каптирует нижнеюрский водоносный горизонт, залегающий под толщей многолетнемерзлых пород мощностью 320 м. Водовмещающие породы представлены разнозернистыми песчаниками с прослоями алевролитов и глин. По данным многолетнего гидрохимического опробования вода из скважины хлоридно-гидрокарбонатная натриевая с минерализацией 780-1000 мг/л (ПДК 1000 мг/л), содержание лития 0,12-0,21 мг/л (ПДК 0,03 мг/л).

На скважине был смонтирован стандартный напорный фильтр диаметром 325 мм и высотой 1700 мм, объем катионита составил 70 л. На основе экспериментальных данных, полученных в циклах фильтрации подмерзлотных вод из скважины через ионообменный фильтр, построен график, показывающий зависимость степени извлечения лития от объема обработанной воды (рис. 4). Данная зависимость описывается полиномом третьей степени с коэффициентом достоверности аппроксимации равным 0,95. Эффективность очистки подмерзлотных вод от ионов лития при опытно-промышленной апробации составила около 99% на начальном этапе. Далее происходит снижение ионообменной емкости смолы, которая полностью восстанавливается путем ее регенерации раствором NaCl.

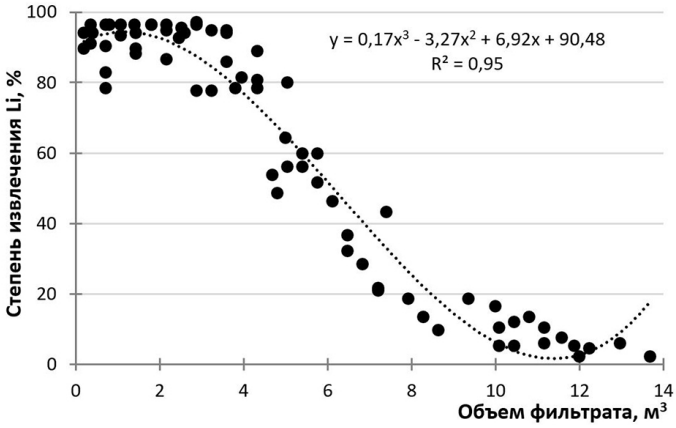


Рис. 4. Степень извлечения лития из подмерзлотных вод на протяжении фильтроцикла

С целью интенсификации процесса делитирования подмерзлотных вод были предприняты попытки изучить влияние внешних факторов на продолжительность фильтроцикла. Экспериментальные исследования проводились при изменении скорости фильтрования и температуры исходной

воды. Было установлено, что увеличение температуры исходной воды с 4°С до 15°С, также, как и снижение скорости фильтрования с 15 до 8 м/ч при применении Na-катионитной ионообменной смолы позволяет увеличить продолжительность фильтроцикла не более чем на 10%.

Таким образом, при выборе подмерзлотных вод в качестве альтернативного, а иногда и единственного, источника водоснабжения необходимо не только изучение гидрогеологических и гидрохимических условий их формирования, но и проведение работ по доведению их качества до нормативных требований. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности метода ионного обмена для очистки подмерзлотных вод от ионов лития и могут быть использованы при организации систем хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов и производственных объектов Якутии.

Библиографический список

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 149 с.

2. Федорова С.В., Павлова Н.А. Литий в подземных водах южной части Якутского артезианского бассейна // Мат-лы IX ВПНК «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-востока России». – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. Т.2. – С.225-228.

3. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. / А. П. Виноградов. – 2-е изд., доп. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 240 с.

4. Солодов, Н.А. Геохимия лития, рубидия и цезия / Н.А. Солодов, Д.С. Балашов, А.А. Крамененкий. – М.: Недра, 1980. – 233 с.

5. Гавриленко, В.В. Основы геохимии редких литофильных металлов / В.В. Гавриленко, В.В. Сахоненок. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1986. – 172 с.

6. Бингам, Ф.Т. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов: Пер. с англ. / Ф.Т. Бингам, М. Коста, Э. Эйхенбергер // Под ред. Х. Зигеля, А. Зигель. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

7. Химические элементы в организме человека: справочные материалы / под общей редакцией Л.В. Морозовой. – Архангельск: Поморский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2001. – 45 с.

8. Скальный, А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. / А.В. Скальный – М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 216 с.

9. Психиатрия: национальное руководство / под ред. Т.Б. Дмитриевой, В.Н. Краснова, Н.Г. Незнанова, В.Я. Семке, А.С. Титанова; отв. ред. Ю.А. Александровский. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 1000 с.

10. ГОСТ 31869-2012 «Вода. Методы определения содержания катионов с использованием капиллярного электрофореза». – М.: Стандартинформ, 2014.

11. Федорова С.В., Крыжановский А.Н. Оценка эффективности удаления лития из подмерзлотных вод г. Якутска методом обратного осмоса // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2018. – С. 158-162.

12. Федорова С.В., Крыжановский А.Н. Опытно-промышленная апробация ионообменного метода для очистки подмерзлотных вод от лития // Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2019. – С.194-199.

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ДОХОДНОСТЬ И РИСК ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

В.Н. Фисенко, к.т.н., директор по исследованиям, «Ru Well Systems», с. Печерск

Требуемая доходность на собственный капитал является сегодня важнейшим параметром для принятия решений об инвестировании как в реальные, так и в финансовые активы. Она должна отражать доходность, которая устроит инвестора с учетом риска вложения средств в акционерный капитал компании или инвестиционный проект в конкретной отрасли экономики.

В рыночных экономиках публичные компании привлекают дополнительные финансовые ресурсы посредством выпуска ценных бумаг (акций, облигаций) для осуществления инвестиционных программ модернизации и развития, гарантируя некоторую требуемую для акционеров доходность.

Проблема количественной оценки инвестиционного риска и исследования рыночной взаимосвязи риска и доходности отраслевых ценных бумаг, с риском и доходностью рынка в целом, решается моделью оценки финансовых активов [1] Шарпа – Линтнера – Моссина (CAPM), с точки зрения инвестора на рынках капитала. Важными достоинствами этой модели являются ее математическая обоснованность и объективность. CAPM служит теоретической основой для ряда различных финансовых технологий по управлению доходностью и риском, применяемых при долгосрочном и среднесрочном инвестировании в акции, т.к. CAPM рассматривает доходность акции в зависимости от поведения рынка в целом.

Под рыночным риском понимается неопределенность будущих изменений рыночных факторов. Согласно CAPM выделяются систематический и несистематический риски. Систематический риск обусловлен общими рыночными и экономическими изменениями, воздействующими на все инвестиционные инструменты и не являющимися уникальными для конкретного актива. Несистематический риск связан с конкретной компанией-эмитентом.

Систематический риск уменьшить нельзя, но воздействие рынка на доходность финансовых активов можно измерить. В качестве меры систематического риска в CAPM используется показатель β-(бета), характеризующий чувствительность финансового актива к изменениям рыночной доходности. Зная показатель актива β, можно количественно оценить величину риска, связанного с ценовыми изменениями всего рынка в целом. Чем больше значение β акции, тем сильнее растет её цена при общем росте рынка. Но и наоборот - акции компании с большими β сильнее падают при падении рынка в целом.

С математической точки зрения стоимостью капитала является процентная ставка, используемая для пересчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости. В экономическом смысле стоимость капитала представляет собой альтернативную доходность, которую можно

получить на фондовом рынке от инвестирования в бумаги, подобные по риску и сроку погашения рассматриваемому объекту инвестирования. Расчетная формула CAPM:

$$COE = R_{free} + \beta\left(R_m - R_{free}\right) + R_c$$

(COE) - стоимость капитала; R_{free} - безрисковая процентная ставка; R_m - (***Market Risk*** - *англ.*) - ставка доходности за рыночный риск; ***β*** - бета, чувствительность финансового актива к изменениям рыночной доходности; R_c - (***Country Risk*** *–англ.*) процентная ставка за риск инвестиций в конкретной стране.

Как правило, расчеты ведутся на основании статистических биржевых данных [2] для конкретного сектора (в нашем случае ***Utility (Water)***) развитой рыночной экономики (разработчики [1] считают таковой экономику США - *Прим. Автора*) и к полученной величине стоимости капитала COE_{US} добавляется процентная ставка за страновой риск -, в итоге получается ожидаемая инвестором минимальная (нормативная) доходность для рынка третьей страны (в нашем случае России) - COE_{RU} .

В качестве безрисковой ставки дохода обычно используется ставка дохода по долгосрочным государственным долговым обязательствам (облигациям или векселям) с аналогичным исследуемому проекту горизонтом инвестирования. Например, в США обычно используется процентная ставка десятилетних казначейских облигаций – табл. 1 и рис. 1

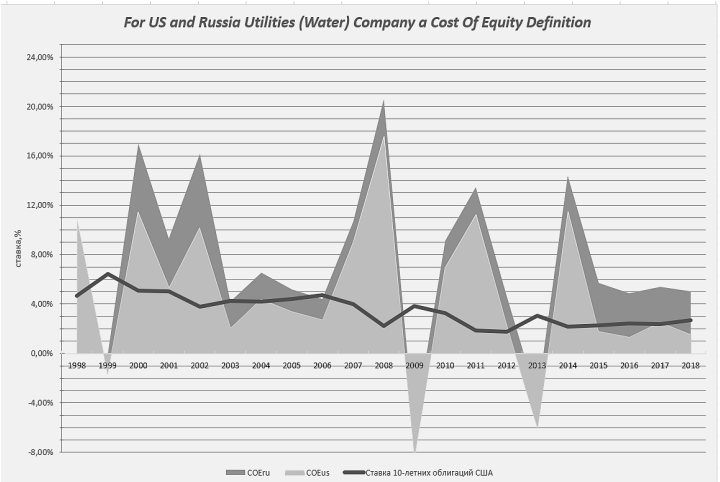


Рис. 1. Расчетная для инвестора доходность капитала компаний- операторов услуг водоснабжения в США и РФ

Таблица 1

Показатели компаний – операторов услуг в сфере водоснабжения в США

Год	Количество компаний Utility (Water)	Средняя бета-β	Отношение долга к собственному капиталу	Эффективная ставка налога	Ставка доходности за рыночный риск	Ставка 10-летних облигаций США
1998	17	0,61	70,55%	36,56%	14,92%	4,65%
1999	17	0,55	76,73%	33,27%	-8,25%	6,44%
2000	13	0,55	83,18%		16,66%	5,11%
2001	16	0,49	67,65%	35,16%	5,57%	5,05%
2002	17	0,56	114,69%	30,45%	15,12%	3,81%
2003	16	0,57	66,22%	30,97%	0,38%	4,25%
2004	17	0,60	59,84%	30,67%	4,49%	4,22%
2005	16	0,64	48,80%	31,17%	2,87%	4,39%
2006	16	0,73	48,86%	29,78%	1,96%	4,70%
2007	15	0,80	50,95%	32,88%	10,21%	4,02%
2008	15	0,86	82,80%	33,82%	20,10%	2,21%
2009	15	0,82	87,95%	31,16%	-11,12%	3,84%
2010	11	0,70	80,30%	35,44%	8,46%	3,29%
2011	11	0,66	81,42%	35,22%	16,04%	1,88%
2012	11	0,49	73,18%	31,45%	2,97%	1,76%
2013	20	0,75	57,90%	14,52%	-9,10%	3,04%
2014	19	1,09	50,17%	15,10%	10,75%	2,17%
2015	18	0,47	49,00%	14,60%	1,28%	2,27%
2016	22	0,65	43,47%	11,97%	0,69%	2,45%
2017	23	0,27	38.14%	15.09%	2,80%	2,41%
2018	19	0.42	43.00%	9.49%	-0,02%	2,68%

Расчетная для инвестора доходность капитала компаний- операторов услуг водоснабжения в РФ выше чем в США, как минимум на величину странового риска (рис. 2), поэтому неудивительна пассивность потенциальных инвесторов в этом секторе экономики РФ (имеющем отрицательную рентабельность по данным отчета РАВВ в 2019 г. - *Прим. Автора*), так как особенностью экономического развития в последние 20 лет является усиление влияния процессов глобализации на экономическое развитие отдельных стран и регионов. Значение национальных финансовых рынков, как основных источников обеспечения финансовых потребностей отечественных компаний падает, а роль глобальных финансовых рынков как основного источника инвестиционного капитала непрерывно возрастает [3], но в неэффективные активы рациональные инвесторы вкладывать деньги не собираются.

Особенностью компаний коммунального сектора является то, что они обслуживают внутренний спрос в своих странах, поэтому для оценки эффективности управления этим сектором важны показатели соотношения долга (***Market D/E Ratio*** –англ.), т.е. заемных средств и обязательств к

стоимости самой компании и эффективной ставки налога (***Tax rate***–англ.), оценивающей общее налоговое обременение на доходы компании в данной стране, после того, как были уплачены все причитающиеся налоги.

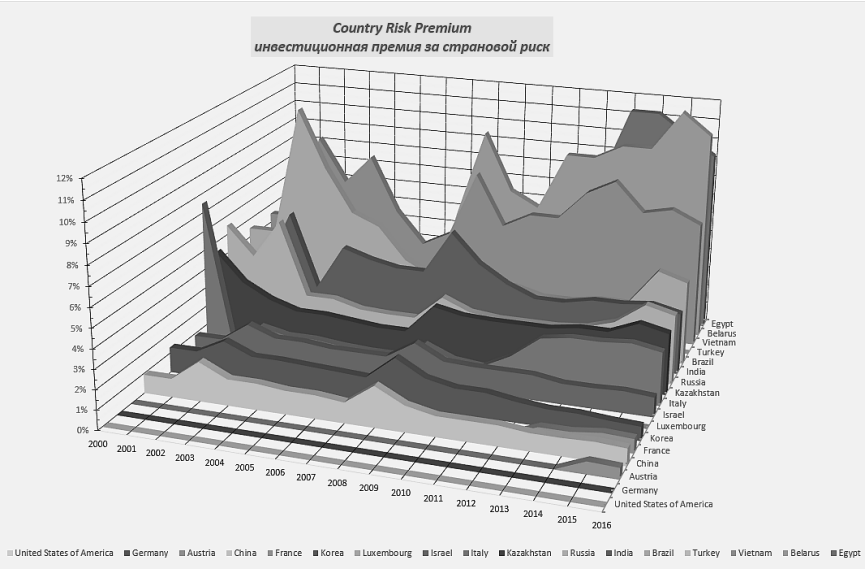


Рис. 2. R_c (***Country Risk*** *–англ.*) процентная ставка за риск инвестиций в некоторые страны.

Снижение соотношения долга к собственному капиталу в США (табл. 1), характеризующего степень, в которой компания финансирует свою деятельность за счет заемных средств или средств, находящихся в полной собственности, стимулировалось общим снижением налоговой нагрузки, с целью оздоровления инвестиционной привлекательности коммунального сектора экономики. Заметим, что аналогичная динамика наблюдалась после списания долгов и приватизации компаний в коммунальном водном секторе Великобритании [4].

Так соотношение ***Market D/E Ratio для*** водного сектора в США (табл. 1) превышало в 2002г в 2,48 раза среднерыночный уровень, и, снизилось в 2018 г. до 2/3 от среднерыночного уровня. В Китае (табл. 3) также поддерживают показатель ***Market D/E Ratio*** как 2/3 от среднерыночного уровня. Для водного сектора в ЕС (табл. 2) наблюдалось обратное - повышение долговой нагрузки с 0,53 в 2011г до 1,39 в 2019 к среднерыночному уровню несмотря на очевидное снижение налоговой нагрузки, что свидетельствует о наличии нерешенных проблем в водном секторе ЕС, включая и качество оперативного управления в отрасли.

Таблица 2

Показатели компаний – операторов услуг в сфере водоснабжения в ЕС

Год	Количество компаний **Utility (Water)**	Средняя бета-**β**	Отношение долга к собственному капиталу	Эффективная ставка налога
2000	12	0,60	137,38%	39,13%
2011	15	0,46	118,27%	11,83%
2012	16	0,64	113,20%	8,96%
2013	15	0,61	110,10%	11,40%
2014	15	0,71	94,30%	15,85%
2015	13	0,90	98,62%	22,97%
2016	13	0,85	107,47%	15,63%
2017	11	0,77	109,64%	19,06%
2018	11	0,78	135,25%	19,90%

Таблица 3

Показатели компаний – операторов услуг в сфере водоснабжения в Китае

Год	Количество компаний **Utility (Water)**	Средняя бета-**β**	Отношение долга к собственному капиталу	Эффективная ставка налога
2018	32	1,45	64,51%	19,20%

По данным Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения 48% водоканалов являются ГУП и МУП. Все 100% из них имеют кредиторскую задолженность более 145 миллиардов рублей убытков, что составляет 77% от выручки. Погасить эти долги возможностей у большинства предприятий нет, так как в отрасли отрицательная рентабельность у порядка 70% организаций, а недополученных доходов набралось на сумму почти 8 миллиардов. Причиной называется – экономически необоснованный тариф.

В связи с этим, трудно объяснима усиленная популяризация руководством строительной отрасли, при реализации концессионных соглашений в водном секторе, так называемых кредитных «коробочных» банковских продуктов, которые усугубляют и без того сложное финансовое состояние предприятий и вполне очевидно, что долги обанкротившихся концессионеров достанутся в итоге местным бюджетам, являющимся третьей стороной таких соглашений.

Международная практика работы акционированных предприятий коммунального водного сектора в индустриально развитых странах (табл. 1,2) показывает, что финансовые активы предприятий этого сектора экономики имеют рыночную доходность ниже среднерыночного уровня (**β<1**), поэтому в планируемом к утверждению проекте Приказа Федеральной антимонопольной службы "Об утверждении минимальной нормы доходности для расчета тарифов в сфере водоснабжения и водоотведения с применени-

ем метода доходности инвестированного капитала на долгосрочный период регулирования с началом долгосрочного периода регулирования в 2020 году" (подготовлен ФАС России 27.09.2019), выглядят мало обоснованными минимальные нормы доходности для расчета тарифов в сфере водоснабжения и водоотведения с применением метода доходности инвестированного капитала на долгосрочный период регулирования с 2020 г.

В первом году долгосрочного периода регулирования норма доходности составит 4,1%, во втором - 8,2%; в третьем - 11,2%. Норма доходности капитала, созданного после перехода к регулированию тарифов с применением метода доходности, составит 11,2%.

В более ранней версии приказа с началом долгосрочного периода регулирования в 2019 году, рассматривались варианты: в первом году долгосрочного периода регулирования — 3,92%; во втором году — 7,84%; в третьем году — 10,84%.

В соответствии с информацией, представленной Министерством экономического развития Российской Федерации, средняя доходность долгосрочных государственных облигаций со сроком погашения 10 лет в 2017 году составила **7,84 %.** По отчетным данным РАВВ – средняя рентабельность предприятий **«-2,5%».**

Логика поведения рационального инвестора подсказывает, что при вхождении в концессионное соглашение в водном секторе или в проект частно-государственного партнерства, государство должно компенсировать инвестору потери за риск участия в таких проектах до уровня ГКО, т.е. не менее как 7,84% + |- 2,5%| = 10,34%, а не планировать, что инвестор покажет доходность бизнеса более высокую чем долгосрочные ценные бумаги государства, обращающиеся на внешнем рынке. Апеллировать к возможности существенного увеличения тарифа на услуги в сфере водоснабжения и водоотведения маловероятно, т.к. исполнительная власть сдерживает рост тарифов, выполняя социальные обязательства перед населением.

В то же время недостаточно эффективно используются имеющиеся и выделяемые по госпрограммам финансовые ресурсы: как показывает анализ обобщенных данных практики эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения в РФ [5] за постсоветский период [6,7,10] значительно возросли удельные затраты энергии на подачу, обработку и отведение одного кубического метра воды потребителю.

Слабое использование научно-обоснованных рекомендаций [5,7,8] по совершенствованию нормативно-организационного обеспечения в строительной отрасли, с планируемым одновременным «секвестром» советского нормативного обеспечения, приводит к тому, что оперативное управление техническим перевооружением насосным энергетическим оборудованием в отрасли осуществляется ведомственно несогласованно [6], хаотично и бессистемно [9], что создает как дополнительные риски последующей эксплуатации [9] так и выполнения государственных программ [5] энергоэффективности в дальнейшем, в том числе в соответствие с принятыми (постановление от 21 сентября 2019 года №1228) Правительством РФ между-

народными обязательствами о принятии Парижского соглашения по климату (По оценкам международных экспертов ООН строительная отрасль создает до 30% всех негативных для поддержания климатического равновесия выбросов углекислого газа в атмосферу и до 40% отходов подлежащих утилизации - *Прим. Автора*), что требует совершенствования нормативно-организационного обеспечения, расчетных методик и изменения подходов к проектированию в строительной отрасли.

Библиографический список

1. Sharpe W. "Capital Asset Prices - A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk"//Journal of Finance, September 1964, pp. 425-442. Режим доступа: https://web.stanford.edu/~wfsharpe/, свободный.

2. Damodaran Online: Home Page for Aswath Damodaran - NYU Stern School of Business [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/, свободный.

3. Юдаева К., Ясин Е. — Стратегия-2050: справится ли Россия с вызовами глобализации? // «Вопросы экономики», № 5, 2008, ISSN 0042-8736, Режим доступа: https://doi.org/10.32609/0042-8736-2008-5-4-21.

4. Lobina E., Hall D., UK Water privatisation – a briefing// PSIRU, University of Greenwich. 2001- p30.

5. Фисенко В.Н., Расширение перечня показателей энергетической эффективности объектов промышленных и коммунальных систем с насосами для оценки потенциала сокращения выбросов парниковых газов//Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2019. №7. С. 42-56.

6. Фисенко В.Н., Об оценке энергоэффективности насосных систем по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) и параметрам жизненного цикла методики LCC//Международная научно-техническая конференция «ECOPUMP-RUS'2018 «Энергоэффективность и инновации в насосостроении» - 25 октября 2018г., Москва, Изд. МВЦ "Крокус-Экспо"-2018, С. 61-73.

7. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. - М., Энергоатомиздат,2006. 360с.

8. Фисенко В.Н., Критерии эффективной работы насосов в промышленных и коммунальных системах водоснабжения и водоотведения//В сборнике: ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019, С. 201-208.

9. Фисенко В.Н., Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения //Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 6. С. 52-63.

10. Фисенко В.Н., Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод// Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22–33.

ИЗ ИСТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО ВОДОПРОВОДА

В.И. Щербаков, д.т.н., проф. каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет" (ВГТУ), г. Воронеж

Будучи гласным городской думы, ещё Лукьян Артемьевич Кряжев зная проблемы города с обеспечением граждан водой и отсутствием средств в бюджете, решил построить водопровод на собственные деньги. Но не успел, а завещал 150 тысяч рублей серебром сыну Степану на постройку водопровода для жителей Воронежа [1].

В 1866 году на конкурсной основе почетный гражданин С.Л. Кряжев избирается на пост городского головы и одновременно председателя городской думы. Должность городского головы требовала человека деятельного, уважаемого, честного и предприимчевого. В обязанности городского головы входило расходование средств на содержание учебных заведений, на общественное хозяйство и пособия неимущим, управление имуществом, контроль и пополнение бюджета города.

Исполняя волю батюшки Степан Лукьянович с энтузиазмом взялся за дело. Проанализировав предложения отечественных предпринимателей и компаний, он самолично поехал в Лондон, закупил оборудование и трубы, выписал двух специалистов водопроводного дела. Когда водоподъемная машина, трубы, водоразборные колонки и пожарные гидранты прибыли в Воронеж, вместе с английскими мастерами, в апреле 1869 года приступили к строительству водопровода [2]. С.Л. Кряжев лично руководил работами по прокладке труб, строительству водонапорной башни. Проект водонапорной башни и все наземные сооружения водопровода разработал воронежский губернский архитектор Александр Антонович Кюи (рис. 1). Кирпич на башню и колодцы доставлялся из Маклока по железной дороге с собственного кирпичного завода С.Л. Кряжева.

И вот спустя шесть месяцев строительство водопровода было закончено и забила вверх первая струя в водоразборном бассейне у башни. Местные известия так описывали это событие «Освящение водопровода, устроеннаго в Воронеже местным гражданским головою потомственным почетным гражданином Стефаном Лукьяновичем Кряжевым совершено 18-сего октября. В час по полудню прибыли в башню, где устроен главный резервуар для воды, местные преосвященные: Серафим епископ Воронежский и Феодосий епископ Острогожский, а вслед за ними и начальник губернии. В одном из отделений этой башни приготовлен был сосуд с водою, освящением которой началось священодействие».

После прочтения молитв и песен архирейского хора «Его Превосходительство Серафим, епископ Воронежский, открыл кран, из которого полилась чистая вода. Стечение народа было весьма большое. День этот надолго останется памятным для жителей Воронежа, так как они с настоящего дня всегда будут иметь в большом обилии для своих нужд воду хорошего каче-

ства. Память же строителя водопровода перейдет в грядущие поколения города Воронежа, как *великого благотворителя*, ибо он пожертвовал его в пользу города.

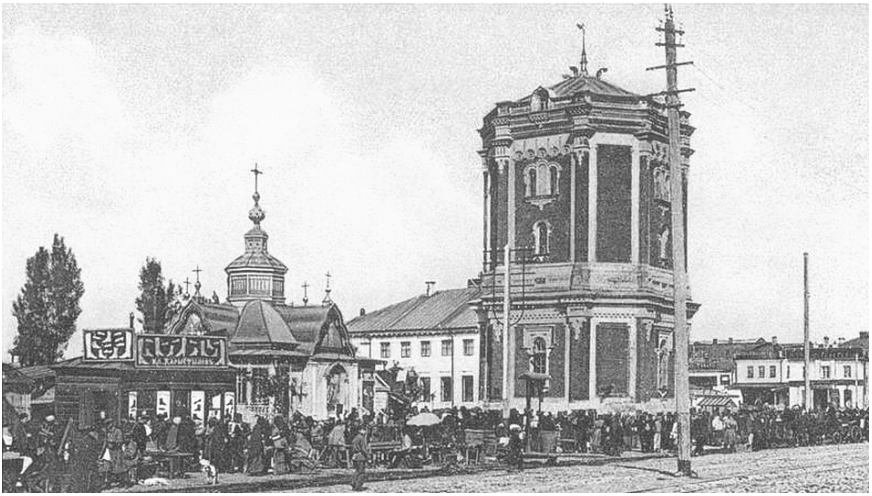


Рис. 1. Кряжевский водонапорный бак. Архитектор А.А. Кюи

В отношении своём в городскую думу, по которому он передает водопровод городу и просит её принять от него все постройки в городское имущество, С.Л. Кряжев заявил своё желание, чтобы водопровод его, если возможно, был назван «водопровод Лукьяна Артемьевича Кряжова» в память покойного его, родителя, чтобы из прибылей, которые город будет получать от водопровода, 10% ежегодно отчисляемы были на образование без различия звания и пола детей бедных граждан г. Воронежа.

Торжество открытия водопровода закончилось роскошным завтраком у строителя водопровода. При чём от лица граждан принесена была благодарность в речи купца В.И. Веретенникова; а преосвященный Серафим, в своём приветствии виновнику празднества высказал ту утешительную мысль, что «если за чашу студеной воды обещана награда тому, кто напоит и одного жаждущего, то вы имеете то утешение, что будете поить тысячи человек» [3].

На самом деле на одной стене башни была установлена памятная доска Лукьяну Артемьевичу, а среди жителей башню называли «Кряжов бак». Для устройства водопровода городу было передано двухэтажное здание на правом берегу реки, бывшие Кряжевские казармы. Вода из реки по деревянному желобу самотеком поступала в кирпичный резервуар, откуда водоподъемной машиной подавалась в водонапорную башню.

К 1875 году длина водопровода увеличилась до 7 тыс. саженей. Был надстроен второй бак на водонапорной башне, ёмкость обоих баков соста-

вила 26 тыс. ведер. В разных кварталах города было построено 13 водоразборных будок или «бассейнов», как называли их в то время городские жители.

Вода из первых городских водопроводов была доступна лишь небольшой части населения. Остальное население пользовались водой из общественных фонтанов и бассейнов, услугами водовозов и водоносов, колодезной или речной водой.

Строительство городских водопроводов требовало значительных затрат на приобретение оборудования и труб, возведения зданий и сооружений для забора воды из источников, её хранения и очистки, подачи потребителям. Всё это требовало достаточно значительных средств, которых в городских управах, как правило, не было. Поэтому городские власти брали деньги в банках, выпускали облигации, отдавали право на строительство и владение водопроводом богатым гражданам и компаниям. Для возврата затраченных средств городские управы назначали не только стоимость воды, но и нормы её потребления. Например, в Воронеже норма на одного человека устанавливалась 271 ведро в год, на корову – 804, а на лошадь – 1358 ведер (1 ведро 12,3 л).

Для учета и контроля за потреблением водопроводной воды, во многих городах использовались талоны и марки на воду, металлические жетоны. Жетонами на бесплатное получение воды из городских будок и общественных бассейнов пользовались, по решению городской думы, больные и неимущие граждане, приюты и богодельни, бесплатные столовые. Не оплачивали воду из водопровода и бассейнов: пожарные при тушении пожаров, население во время эпидемий, городское хозяйство для промывки фильтров и труб, городских фонтанов, мытья улиц, полива цветников и газонов, при строительстве церквей. Известны жетон на 2 ведра без платы Воронежского городского водопровода и оплачиваемые заранее жетоны (рис. 2).

Рис. 2. Жетоны на воду из Воронежского водопровода

В 1913 году из воронежского водопровода бесплатно было отпущено 8 млн. ведер воды в городские учреждения на сумму 9156 руб. и в благотворительные на сумму 2342 руб. Кроме того, 41 млн. ведер воды ушло на полив улиц, тушение пожаров, бесплатный отпуск воды из кранов и утечки. Это более трети от всей поданной водопроводом воды в город.

Пожарные обозы для тушения пожара обычно кроме речной воды, пользовались и водой из гидрантов городского водопровода. Пожарные гидранты располагались на водопроводных сетях преимущественно на перекрестках улиц, не далее 60 сажень (128 м) друг от друга. При этом водопроводная сеть должна была обеспечивать подачу 150 ведер воды в минуту из 2 или 3 соседних гидрантов. Во время пожаров всем водовозам надлежало подвозить воду, получая от города плату по 15 коп. за бочку (рис. 3).

Рис. 3. Воронежские водовозы и водоносы

К водовозному промыслу предъявлялись определенные требования. К занятию подвозом воды допускались мужчины не моложе 17 лет, сдавшие свой паспорт в Городскую Управу на весь срок работы, с указанием места проживания. Водовоз должен иметь здоровую лошадь, сбрую, дроги и сани с бочкой ёмкостью не менее 15 ведер. На дуге прибивался металлический ярлык с номером, дающим право заниматься подвозом воды в течение года.

На покрашенных масленой краской бочках для водопроводной воды указывалась их ёмкость, а на особых бочках, покрашенных в красный цвет для речной воды, на задней стороне надпись «вода из реки». Отверстие для залива воды плотно перекрывались деревянными крышками. За неисполнение этих правил, как и правил езды по улицам, виновные привлекались к ответственности. За доставку воды на дом водовозы получали плату по договоренности с нанимателем причем в зимнее время плата увеличивалась [4].

В 30-е годы прошлого века при реконструкции Староконной площади водонапорная башня и бассейн были снесены. Были предложения вернуть имя Кряжова воронежскому водопроводу, но ограничились установкой памятных досок на бывшем его доме и здании РВК «Водоканал Воронеж». По решению городской думы впервые именем потомственного купца почетного гражданина города С.Л. Кряжова названа современная улица в Воронеже.

Библиографический список

1. Елецких В.Л., Щербаков В.И. Вода и люди. История и день сегодняшний. Творческое объединение «Альбом». Воронеж. 2004. – 247 с.

2. Попов П.А. Купеческая фамилия Кряжовых в Воронеже // Из истории Воронежского края: Сб. статей. Вып. 7. 1998. С. 87-104.

3. Щербаков В.И. Городской водопровод. Воронеж: Тип. ВГУ, 2000. – 240 с.

4. Елецких В.Л., Щербаков В.И. Как в наши дни пришел водопровод. Монография. Творческое объединение «Альбом». Воронеж. 2017. – 80 с.

УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАМ-ЛИГНИНА БАЙКАЛЬСКОГО ЦБК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕПАРАТА ДЕЗОЛАК

В.И. Щербаков, д.т.н., проф. кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения; **О.Б. Рудаков**, д.х.н., проф., зав. каф. химии и химической технологии материалов; **О.Б. Кукина,** к.х.н., доцент каф. химии и химической технологии материалов, ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет" (ВГТУ), г. Воронеж

В сентябре 2019 года В.В. Путин поручил Федеральному правительству совместно с «ВЭБ РФ» провести выбор и реализацию лучших мировых технологических решений по утилизации и обезвреживанию отходов, полученных в результате деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината в целях ликвидации накопленного вреда окружающей среде.

На шламонакопителях Байкальского ЦБК накопилось более 6,2 млн. т отходов производства, из них более 2 млн. м^3 в виде шлама-лигнина, которые складированы в хранилищах на берегу Байкала [1, 2]. Основная часть отходов состоит из шлама-лигнина, золы и шлака, от сжигания угля и шлама (рис. 1).

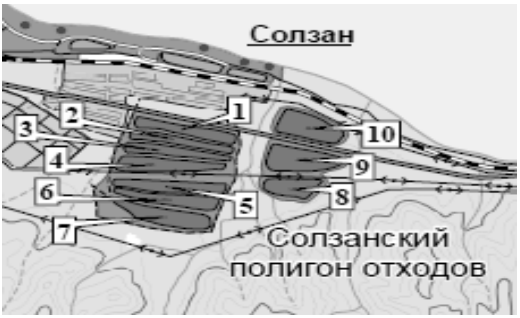


Рис. 1. Схема размещения отходов производства Байкальского ЦБК [6] на Солзанском полигоне

Загрязняющие вещества из мест складирования отходов поступали и поступают в подземные воды, а затем в озеро. В случае разрушения хранилищ отходов существует угроза катастрофического загрязнения Байкала. Только на Солзанском полигоне отходов расположено 10 карт-хранилищ с отходами Байкальского целлюлозно-бумажного комбината.

Для исследования были взяты 2 партии шлам-лигнина из карт-накопителей №2 и №3 с Солзанского полигона отходов. Партия из карты №3 от партии из карты №2 отличалась большим количеством влаги. Химический состав шлам-лигнинов из этих карт не определяли. Для обработки шлам-лигнина использовали препарат Дезолак, представляющий собой порошкообразную негашеную известь с овицидной добавкой, производства «ПридонХимстройизвесть» г. Россошь (табл. 1).

Таблица 1

Показатели негашеной извести

Наименование показателей	Диапазон
Активные CaO + MgO	87-88%
Овицидная добавка	0,5%
Время гашения	5-9 мин
Температура гашения	80-90 ºС
Количество непогасившихся зерен, не более	5%
Остаток на сите № 02, не более	0,05-0,5%
Остаток на сите № 008, не более	3,0-6,0%

Способ обработки шлам-лигнина препаратом Дезолак основан на внесении порошка CaO с механическим перемешиванием до гомогенной консистенции и последующим выдерживанием полученной смеси в кристаллизаторе [3,4]. В процессе взаимодействия извести с шлам-лигнином образуется монолит, в структуре которого удерживаются вредные органические и неорганические вещества.

Предлагаемый способ предусматривает применение сравнительно простых и недорогих технологий. Требуется определение оптимального соотношений вносимого в шлам-лигнин реагента и времени, необходимого для реализации способа.

При взаимодействии CaO с шлам-лигнином в присутствии H_2O и CO_2 на конечном продукте образуется гидрофобная корка из карбоната кальция:

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2 + 61{,}5\text{кДж};$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O.$$

Так как реакция взаимодействия CaO с водой является экзотермической и идет с выделением тепла, влага из обработанного лигнина частично связывается, а частично испаряется. Кроме того, повышенная температура смеси угнетает микроорганизмы и тем самым дополнительно обезвреживает шлам – лигнин.

Содержание сопутствующих веществ в шлам-лигнине составляет от 30 до 40%. Неприятный запах шлам-лигнина обусловлен наличием серосодержащих соединений, образующихся при переработке древесины и в результате биохимических процессов, приводящих к образованию сероводорода и меркаптанов. В самом лигнине имеются фенольные гидроксилы, карбоксильные и другие группы, которые способны реагировать с CaO. Ниже приведены наиболее вероятные реакции:

$$CaO + H_2S = CaS + H_2O;$$

$$CaO + H_2SO_4 = CaSO_4 + H_2O;$$

$$CaO + CO_2 = CaCO_3;$$

$$CaO + SO_2 = CaSO_3;$$

$$CaO + SO_3 = CaSO_4;$$

$$CaO + 2R\text{-}COOH = (R\text{-}COO)_2Ca + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + SO_2 = CaSO_3 + H_2O;$$

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_3 = CaSO_4 + 2H_2O;$$

$$Ca(OH)_2 + 2H_2S = Ca(HS)_2 + 2H_2O;$$

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2H_2O;$$

$$Ca(OH)_2 + 2C_6H_5SO_3H = (C_6H_5SO_3)_2Ca + 2H_2O;$$

$$Ca(OH)_2 + 2R\text{-}COOH = (R\text{-}COO)_2Ca + 2H_2O;$$

$$Ca(OH)_2 + 2C_6H_5OH = (C_6H_5O)_2Ca + 2H_2O.$$

$$Ca(OH)_2 + 2RSH = (RS)_2Ca + 2H_2O$$

Эти реакции связывают летучие компоненты исходного продукта, а также связывают его реакционноспособные функциональные группы, входящие в высокомолекулярные структуры шлам-лигнина. В результате этого скорость выделения содержащихся в лигнине загрязняющих веществ (органики и тяжелых металлов) в окружающую среду снижается в сотни раз по сравнению с исходным шламом, летучие соединения серы переводятся в нелетучую фазу, малорастворимую в воде [5,6].

При смешивании образцов шлам-лигнина с разным количеством негашеной извести наблюдали до какой температуры возможен разогрев смеси. Максимальный разогрев до 66 ^{o}C наблюдали через 10 мин при внесении в шлам-лигнин 20% CaO.

Еще один параметр, который контролировали при обработке шлам-лигнина – изменение pH образцов (рис. 2). Для обеих партий при внесении 20% CaO величина pH продукта достигала 12,7.

Влажность продукта к 10 суткам после обработки 10-20% CaO падала до 17-20%. Консистенция продукта становилась комковатой, пригодной для дальнейшей транспортировки и использования в виде сыпучих материалов (рис. 3).

При визуальном наблюдении за консистенцией и окраской смесей шлам-лигнина с CaO зафиксировано возрастание вязкости и последующее комкование через 8-10 дней. Шлам-лигнина в более жидком состоянии тре-

бует перед обработкой предварительного подсушивания в естественных условиях или с применением сушильного оборудования, а в зимнее время вымораживания, как рекомендовано в [7,8]. При добавке CaO к шлам-лигнину наблюдается осветление массы, особенно выраженное при увеличении доли CaO до 20% за счет образования гашеной извести в смеси.

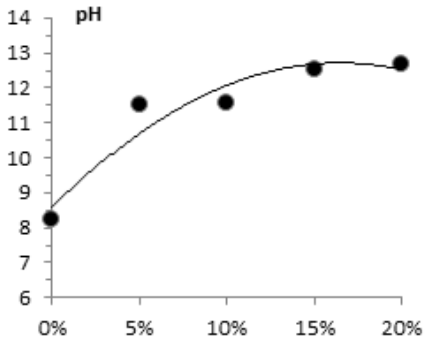


Рис. 2. Зависимость pH от соотношения количества CaO к шлам-лигнину (партия из карты №2)

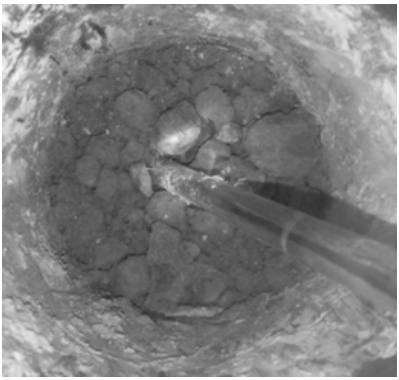


Рис. 3. Образец после внесения 15% CaO, партия из карты №3

Выводы

В процессе химического взаимодействия шлам-лигнина с 15-20 % окиси кальция, образуется твердый материал, пригодный к его гумификации и минерализации. Необходимое время обработки шлам-лигнина негашеной известью составляет 8-12 дней и зависит от количества серосодержащих и других компонентов, присутствующих в лигниновой массе. Технология утилизации шлам-лигнина негашеной известью осуществляется путем ме-

ханического перемешивания, при этом негашеная известь не только нейтрализует неприятные запахи, но и придает готовому продукту консистенцию сыпучего порошка, удобного в использовании. Предлагаемый способ дезодорации шлам-лигнина является эффективным и достаточно экономичным.

Библиографический список

1. Богданов А.В., Русецкая Г.Д., Миронов А.П., Иванова М.А. Комплексная переработка отходов производств целлюлозно-бумажной промышленности. – Иркутск, ИрГТУ, 2000. – 227 с.

2. Бикбау М.Я. О проблеме ликвидации накопленных отходов в результате деятельности Байкальского ЦБК. Сохранение самого большого пресноводного озера в мире. Проблема и возможности ее решения. https://docviewer.yandex.ru/view/40302599/ (дата обращения 30.12.2018).

3. Рудаков О.Б., Щербаков В.И., Кукина О.Б., Рудаков Я.О., Стрункина К.Н. Взаимодействие шлам-лигнина из карт-накопителей Байкальского целюлозно-бумажного комбината с гашеной известью как способ его утилизации // Научный журнал. Химия, физика, и механика материалов. 2019. № 1(20). С. 92-118.

4. Методические указания 2.1.2.1829-04 «Санитарно-гигиеническая оценка полимерных и полимерсодержащих строительных материалов и конструкций, предназначенных для применения в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий.

5. Майоров В.А. Запахи и их восприятие, воздействие, устранение. – М.: Мир, 2006. – 366 с.

6. Рудаков О.Б., Бабкина Е.В., Давыдова Е.Г. Одориметрический контроль безопасности полимерсодержащих строительных материалов // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2017. №1(14). С. 78-85.

7. Щербаков В.И., Помогаева В.В. Исследование процесса обеззараживания осадка сточных вод и его почвенного размещения // Материалы IV Крымской межд. науч.-пр. конф. 2017. С. 83-85.

8. Щербаков В.И., Рудаков О.Б., Кукина О.Б. Дезодорация шлам-лигнина Байкальского окисью кальция // Межд. науч. техн. конф. Техновод. 2019.