

С. Ю. ТЕПЛЫХ
Е. Е. КОТОВСКАЯ

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВОЗВРАТОМ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ

SUBSTANTIATION OF THE TECHNOLOGY OF TREATMENT
OF FLUSHING WATER OF WATER TREATMENT FACILITIES
WITH SUBSEQUENT RETURN TO THE TECHNOLOGICAL CYCLE

В работе перечислены существующие технологические схемы очистки промывных вод водопроводных очистных сооружений. Показаны результаты многофакторного центрально-композиционного планирования эксперимента с полученными уравнениями корреляционно-регрессионного анализа второго порядка, описывающими зависимости остаточного содержания взвешенных веществ от исходного содержания, продолжительности отстаивания, дозы коагулянта при применении различных реагентов. Составлена рекомендуемая технологическая схема очистки промывных вод с технологическим расчетом основного сооружения.

Ключевые слова: технологические осадки водопроводных очистных сооружений, промывные воды, скорые фильтры, контактные осветлители, горизонтальные и вертикальные отстойники, коагулянты, взвешенные вещества, технологические схемы обработки осадков водопроводных очистных сооружений

Введение

Второй ступенью очистки поверхностных вод на водопроводных очистных сооружениях (ВОС) является фильтрование на двухслойных или однослойных скорых фильтрах. В процессе фильтрования через зернистую загрузку обрабатываемой воды для систем централизованного питьевого водоснабжения происходит окончательное удаление взвешенных веществ, при этом мутность очищенной воды в фильтрате не должна превышать 1,5 мг/л. Для регенерации фильтрующей загрузки применяется обратная промывка, требующая большого количества воды и сжатого воздуха (при водовоздушной промывке), и, как следствие, эксплуатационное предприятие несет повышенные затраты водных и энергетических ресурсов, относящиеся к технологическим потерям. Одним из путей повышения эффективности работы централизованных систем водоснабжения является повторное использование промывных вод. На

The paper lists the existing technological schemes for the purification of flushing water of water treatment facilities; shows the results of a multifactorial central composite planning experiment with the obtained second-order correlation and regression analysis equations describing the dependence of the residual content of suspended solids on the initial content, sedimentation duration, coagulant dose when using various reagents; the recommended technological scheme for the purification of flushing water with technological calculation of the main structure.

Keywords: technological precipitation of water treatment facilities, flushing water, rapid filters, contact clarifiers, horizontal and vertical settling tanks, coagulants, suspended solids, technological schemes for the treatment of precipitation of water treatment facilities

многих ВОС не выполняются требования технологического регламента по повторному использованию промывных вод, которые впоследствии сбрасываются в водные объекты, что приводит к значительным безвозвратным потерям [1–3]. Возврат в технологический цикл воды, объем которой составляет от 4–10 % суточной производительности ВОС, позволит обеспечить большее количество абонентов и создать резерв воды в вододефицитный период [2].

Цели и задачи

Цель работы – получение технологических параметров процесса очистки промывных вод для внедрения в технологию обработки с последующим возвратом в технологический цикл.

Основные задачи исследования

Для достижения заявленной цели были сформулированы и реализованы следующие задачи:

- сбор и систематизация существующих технологических схем очистки промывных вод скорых фильтров ВОС для последующего вовлечения в технологический цикл водоочистки;
- определение перечня коагулянтов для проведения экспериментальных исследований по пробному коагулированию для предварительного определения вида и дозы коагулянта для дальнейшей обработки промывных вод;
- выполнение многофакторного эксперимента с последующим получением уравнений регрессии и их дальнейшей математической оценки;
- анализ полученных результатов с разработкой последующих решений по возврату промывных вод после обработки в голову сооружений.

В проектной практике водоподготовки наибольшее распространение получила схема обработки промывных вод и осадка станций водоподготовки, изложенная в СНиП 2.04.02-84 (пп. 6.199, 6.200 и приложение 9), в соответствии с которым в технологическую схему обработки промывных вод и осадка следует включать: резервуары, отстойники, ступителители, накопители или площадки замораживания и подсушивания осадка. В то же время на действующих водопроводных очистных сооружениях Республики Крым обработка промывных вод и последующая утилизация осадка не производится, вода после промывки фильтров поступает в резервуары, а затем сбрасывается в водный объект или же в пруд-накопитель (рис. 1), что демонстрирует нерациональное отношение к водным ресурсам в регионе, испытывающем их периодический дефицит. В работе [2] приведен расчет, показывающий, что безвозвратные потери суммарно по всем ВОС Республики Крым составля-



Рис. 1. Пруд-накопитель для воды после промывки фильтров и продувки отстойников ВОС «Приятное свидание» [2]

ют 48818,66 м³/сут, что сопоставимо с суточным водопотреблением Большой Алушты.

Все многообразие существующих типовых схем обработки промывных вод и утилизации осадка можно разделить на три основные:

- первая схема (рис. 2) предусматривает направление промывной воды после контактных осветлителей в песколовки и отстойники, затем осветленную воду перекачивают в смесители ВОС, накопленный песок и осадок направляют на песковую площадку или на площадку подсушивания, а затем на полигон отходов;
- по второй схеме (рис. 3) промывную воду после осветлителей со слоем взвешенного осадка и скорых фильтров, осадок из сооружения первой ступени направляют в ступителители, затем на площадки подсушивания и на полигон отходов. Осветленную воду из ступителителя перекачивают в смеситель или в пруды-накопители. Грязная промывная вода после резервуара-усреднителя поступает в смеситель ВОС;
- по третьей схеме (рис. 4) осадок после горизонтальных отстойников первоначально сгущают, а затем проводят обезвоживание, отделенную воду сбрасывают в водоем или подают на повторное использование. Промывную воду после зернистых фильтров сбрасывают в резервуары-усреднители, затем направляют в смесители ВОС для дальнейшей очистки в основной технологической схеме.

К недостаткам перечисленных типовых технологических схем следует отнести проблематичность возврата плохо очищенных промывных вод в основную технологию подготовки питьевых вод по причине их токсичности [4, 5], что приводит к огромным потерям воды. Проектируемые сооружения обработки отходов громоздки, с большой строительной стоимостью, а эксплуатационные затраты на них почти равны затратам на подготовку питьевой воды. Поэтому в практике водоканалов технологические стоки ВОС направляют в естественные или искусственные накопители-отстойники (см. рис. 1), иногда после соответствующего гигиеничного обоснования их перекачивают в смесители для повторного использования.

Работа рекомендуемых к проектированию технологических схем оборота промывной воды на практике обуславливается специфическими особенностями исходной воды и методами ее обработки (залповые поступления в смесители ВОС загрязнений). При одноступенчатой схеме очистки подача неочищенной промывной воды в голову сооружений значительно ухудшает технологические показатели очистки исходной воды.



Рис. 2. Технологическая схема обработки грязных промывных вод контактных осветлителей



Рис. 3. Технологическая схема обработки и повторного использования осадков из осветлителей со слоем взвешенного осадка и грязных промывных вод скорых фильтров

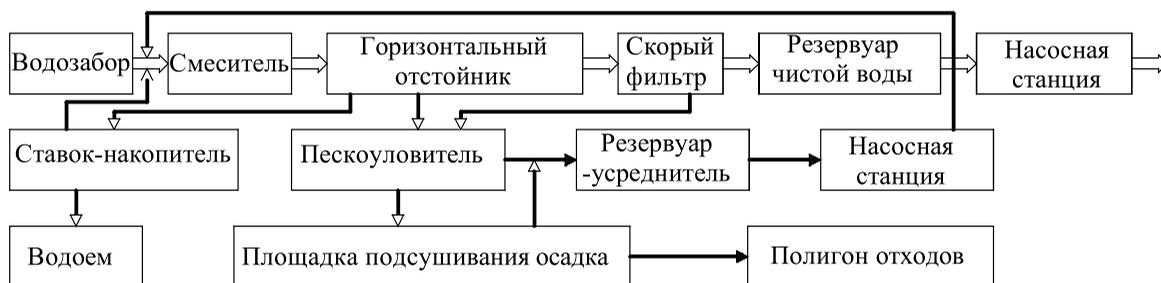


Рис. 4. Технологическая схема обработки и повторного использования осадков

Можно выделить несколько основных способов обезвоживания осадков ВОС:

- механическое обезвоживание осадков с реагентами на камерных и ленточных фильтр-прессах, центрифугах и других аппаратах;
- обработка осадка природных вод совместно с осадками сточных вод на станциях очистки городских сточных вод;
- обработка осадка с одновременной регенерацией коагулянта;
- естественное замораживание и оттаивание осадка на площадках замораживания в соответствии с климатическими условиями и др. [5].

Осадок отстойников ВОС получается мелкодисперсным (65–70 % частиц с диаметром меньше 0,05 мм) и с высокой влажностью (более 98 %), он также характеризуется относительно хорошей водоотдачей ($280\text{--}590 \cdot 10^{-10}$ см/г). При гравитационном уплотнении влажность исходного осадка снижается до 96–97,9 %.

Предварительное уплотнение осадков является необходимым приемом, так как исходный осадок, особенно маломутных цветных вод, имеет высокую влажность [6]. Для интенсификации уплотнения возможно медленное перемешивание и обработка флокулянтами. Для кондиционирования осадков наиболее целесообразно использовать сочетание извести с флокулянтами, преимущественно анионного типа [1].

Наиболее широкое распространение получило механическое обезвоживание с предварительным кондиционированием и стущением с помощью различных реагентов: известь, коагулянты, флокулянты анионного, неионогенного и катионного типов. Известь при введении в осадок выполняет двойную функцию: как химический реагент, частично растворяющий гелеобразный гидроксид алюминия, и как присадочный материал, снижающий величину показателя сжимаемости. Такая совокупность действий при-

водит к улучшению свойств осадка, кроме того, известь оказывает обеззараживающее действие.

В качестве *объекта исследования* была принята технология обработки осадков промывных вод водопроводной очистной станции с целью отделения воды, которую можно вернуть в технологический цикл, и уплотнения осадков для дальнейшей переработки. В качестве средств для выполнения основных задач исследования был выбран физический эксперимент, натурные наблюдения, корреляционно-регрессионный анализ. На рис. 5 представлена кинетика загрязнений в промывных водах скорых фильтров ВОС «Петровские скалы», показывающая, что более 80 % вымытых из фильтра взвешенных веществ удаляется с промывной водой за первые 3 мин, а далее происходит так называемая «домывка» фильтра. На состав загрязнений в промывной воде влияет концен-

трация и вид примесей воды в источнике, на котором работает ВОС [6, 7], а также технологическая схема работы очистных сооружений. В табл. 1 представлен состав загрязнений в промывной воде ВОС «Петровские скалы».

В работе выполнены экспериментальные исследования по пробному коагулированию для выбора дозы и вида реагента при прочих равных условиях. С этой целью была применена методика ротатабельного центрально-композиционного планирования эксперимента в химической отрасли с целью получения корреляционно-регрессионного уравнения второго порядка, связывающего значимые факторы реагентного осаждения взвешенных веществ в грязных промывных водах [8, 9].

Для экспериментальных исследований отбирали грязную промывную воду, усредняли до концентраций 170, 190, 240, 290 мг/л и при

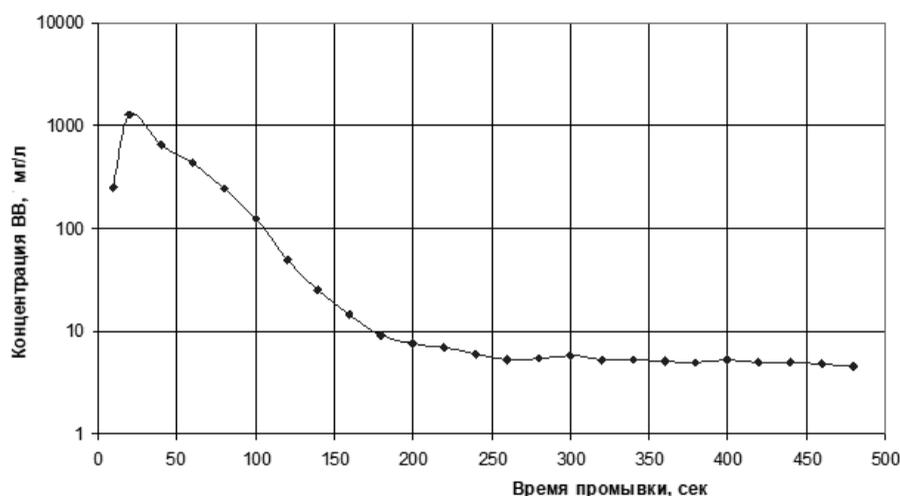


Рис. 5. Кинетика загрязненности в отобранных порциях – пробах промывных вод в течение периода промывки

Таблица 1

Химические показатели промывных вод фильтров

Показатель	Ед. изм.	Значения
Взвешенные вещества	мг/л	47–820
NH_4^+	мг/л	0,07–0,1
NO_2	мг/л	0,012–0,04
NO_3	мг/л	1–13
БПК_5	$\text{мгO}_2/\text{л}$	1,9–25
ПО	$\text{мгO}_2/\text{л}$	7,6–18,8
$\text{Fe}_{\text{общ}}$	мг/л	0,08–0,22
Al^{3+}	мг/л	0,06–7,12
Цветность	град ПКШ	20–55

введении различных доз различных коагулянтов (хлорное железо, сернокислый алюминий, Полвак-40, Магнафлок ЛТ27, полиакриламид) при различном времени отстаивания (15; 30; 45; 60 мин) наблюдали за эффектом осветления.

По результатам однофакторного эксперимента было выполнено планирование трехфакторного эксперимента при применении четырех реагентов (сернокислый алюминий, хлорное железо, Полвак-40 и Магнафлок ЛТ 27) по методу ротатбельного центрально-композиционного планирования [8, 9].

При обработке экспериментальных данных, полученных в ходе планирования трехфакторного эксперимента, получено регрессионное уравнение второго порядка, связывающее такие факторы, как исходное содержание взвешенных веществ, доза коагулянта, время отстаивания, функцией отклика является остаточное содержание взвешенных веществ в обработанной воде. Проверка коэффициентов регрессии выполнялась по критерию Стьюдента на значимость, а адекватность (способность хорошо описывать поверхность отклика) полученной модели определялась при помощи критерия Фишера.

Полученное уравнение регрессии позволяет при фиксации одного из параметров, например исходного содержания взвешенных веществ, получить трехмерный график с тремя переменными, в котором варьируется на исследуемом диапазоне доза реагента и время отстаивания, а откликом является остаточное содержание взвешенных веществ. Затем, выявив наилучшие показатели, можно, зафиксировав другой показатель, например время отстаивания, получить изменения по входящему содержанию взвешенных веществ и по дозе реагента.

При помощи регрессионных уравнений можно определить эффективность очистки при введении различных коагулянтов при прочих равных условиях, и в данном случае наилучшую эффективность показал сернокислый алюминий (рис. 6, 7).

$$C_{ВВО} = f(C_{ВВИ}, D_k, t) = 133,642 - 0,935 \cdot C_{ВВИ} + 3,215 \cdot D_k + 3,167 \cdot t - 0,031 \cdot C_{ВВИ} \cdot D_k - 0,029 \cdot C_{ВВИ} \cdot t - 0,139 \cdot D_k \cdot t + 0,048 \cdot C_{ВВИ}^2 + 0,031 \cdot D_k^2 + 0,022 \cdot t^2 + 0,00754 \cdot C_{ВВИ} \cdot D_k \cdot t, \quad (1)$$

где $C_{ВВО}$ – остаточная концентрация взвешенных веществ в отстоянной промывной воде, мг/л;
 $C_{ВВИ}$ – исходная концентрация взвешенных веществ в отработанной промывной воде, мг/л;
 D_k – доза реагента, мг/л;
 t – время отстаивания, мин.

Корреляционно-регрессионный анализ при ротатбельном центрально-композиционном планировании при коагулировании реагентом хлорное железо (рис. 8, 9):

$$C_{ВВО} = f(C_{ВВИ}, D_k, t) = -12,267 + 0,509 \cdot C_{ВВИ} - 0,241 \cdot D_k - 0,371 \cdot t - 0,00106 \cdot C_{ВВИ}^2, \quad (2)$$

где $C_{ВВО}$ – остаточная концентрация взвешенных веществ в отстоянной промывной воде, мг/л;
 $C_{ВВИ}$ – исходная концентрация взвешенных веществ в отработанной промывной воде, мг/л;
 D_k – доза реагента, мг/л;
 t – время отстаивания, мин.

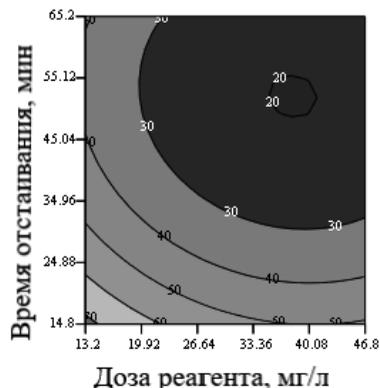
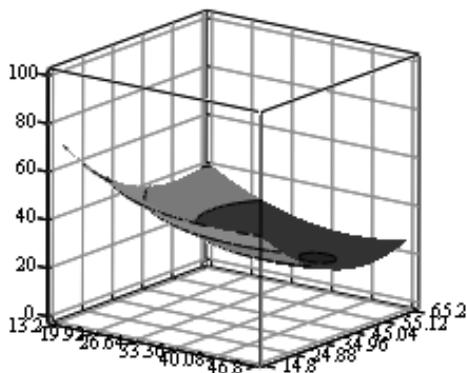


Рис. 6. Поверхность отклика функции снижения концентрации взвешенных веществ при исходной концентрации $C_{ВВИ} = 190$ мг/л при применении коагулянта – сернокислый алюминий

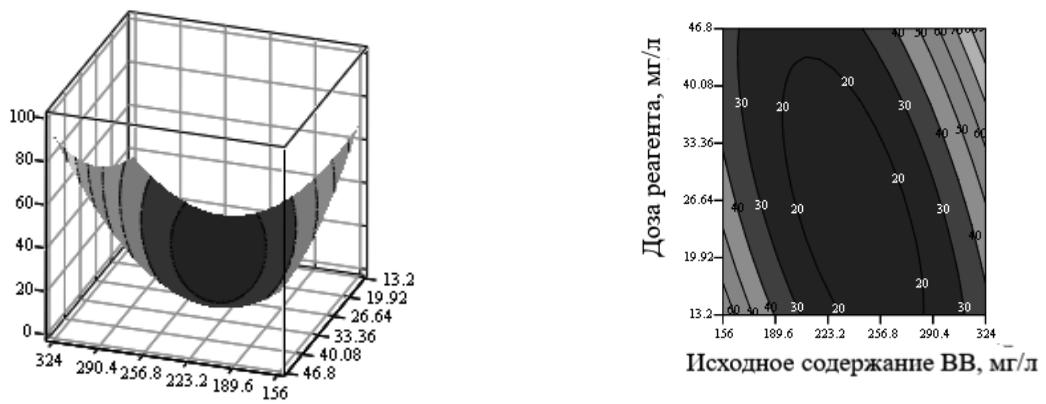


Рис. 7. Поверхность отклика функции снижения концентрации взвешенных веществ при времени отстаивания $t = 60$ мин при применении коагулянта – серноокислый алюминий

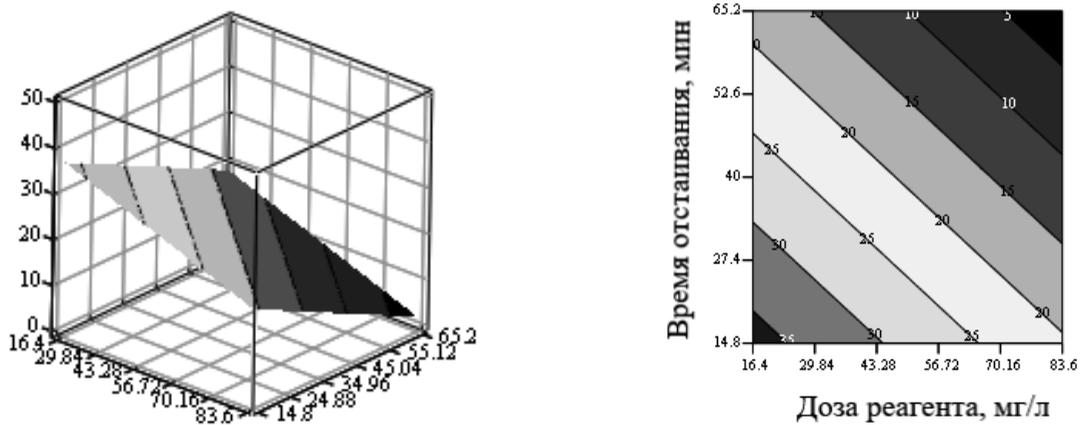


Рис. 8. Поверхность отклика функции снижения концентрации взвешенных веществ при исходной концентрации $C_{ВВИ} = 190$ мг/л при применении коагулянта – хлорное железо

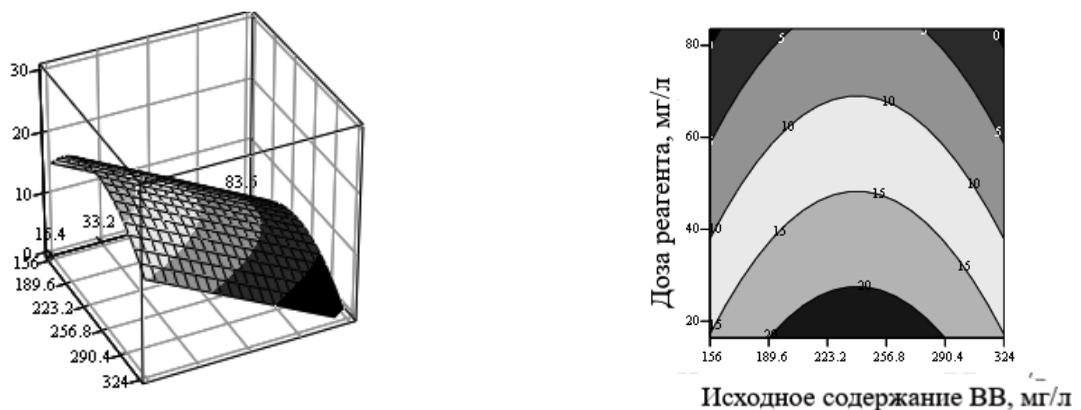


Рис. 9. Поверхность отклика функции снижения концентрации взвешенных веществ при времени отстаивания $t = 60$ мин при применении коагулянта – хлорное железо

По результатам исследования была предложена схема очистки грязных промывных вод, которая предусматривает поступление грязных промывных вод на пескоуловитель, далее в резервуар-усреднитель, а затем на сооружение отстаивания. В трубопровод перед отстаиванием вводится реагент серноокислый алюминий, а затем вода равномерно перекачивается в голову сооружений (рис. 10). Для предложенной схемы выполнен расчет вертикаль-

ного отстойника с нисходяще-восходящим движением потока воды (табл. 2) [13].

Основные параметры определения часовой производительности для технологического расчета вертикального отстойника с нисходяще-восходящим движением воды сведены в табл. 2 для ВОС «Петровские скалы», результаты расчета вертикального отстойника представлены в табл. 3.

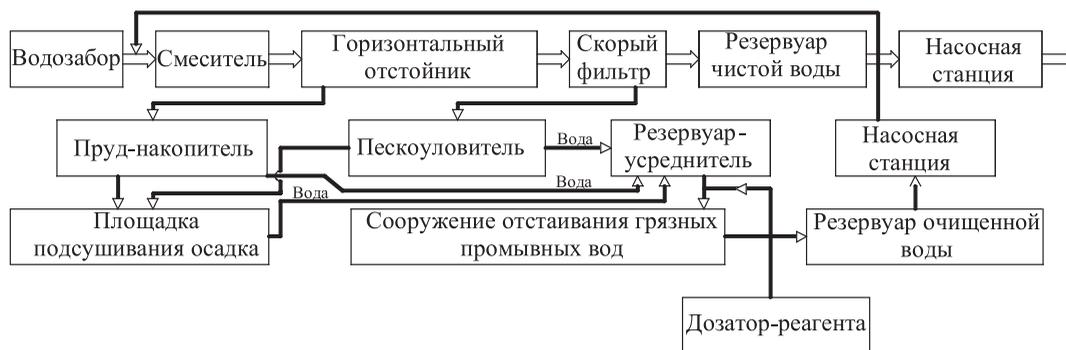


Рис. 10. Рекомендуемая технологическая схема очистки воды и раздельной обработки стоков

Таблица 2

Параметры для определения производительности сооружений очистки промывных вод скорых фильтров [10–12]

Параметр	Значение
Проектная мощность ВОС «Петровские скалы», тыс. м ³ /сут	80
Количество фильтров, шт.	6
Площадь одного фильтра, м ²	57
Интенсивность подачи воды, л/с·м ²	14
Продолжительность промывки, мин	6
Интенсивность подачи воздуха л/с·м ²	-
Продолжительность промывки, мин	-
Фактическая потребляемая мощность на промывку всех фильтров станции два раза в сутки, кВт/сут	384
Марка насоса	550 Д 22 (два рабочих, один резервный)
Мощность насоса, кВт	160
Подача воды на промывку насосами, м ³ /ч	2872,8
Полный расчетный напор промывного насоса, м	22
Геометрическая составляющая в расчетном напоре промывного насоса, м	18
Расход воды на одну промывку, м ³	287,3
Расход воды на промывку в сутки, м ³	3447,4
Потребление от суточной производительности ВОС, %	4,3
Производительность сооружений очистки промывных вод из расчета двух вертикальных отстойников, м ³ /ч	143,64
Расход на один вертикальный отстойник, м ³ /ч	71,82

Таблица 3

Сводные данные по расчету вертикального отстойника с нисходяще-восходящим движением воды [13]

Параметр	Обозначение	Значение
Производительность станции из расчета двух вертикальных отстойников	$q_{шт}, м^3/ч$	71,82
Средний секундный расход	$q_{ср}, м^3/с$	0,02
Содержание взвешенных веществ	C_o	240
Требуемый эффект осветления	Θ	87,5
Расчетная высота зоны осаждения	H_1	3,5
Гидравлическая крупность	$U, м/с$	0,0022
	$U, мм/с$	2,182
Вертикальная турбулентная составляющая гидравлической крупности	$w, мм/с$	0
Коэффициент использования	k	0,35
Диаметр отстойника	$D, м$	5,77
Принятый диаметр отстойника	$D_{прин}, м$	6
Скорость движения в центральной трубе	$v_{ц,тр}, м/с$	0,03
Диаметр центральной трубы	$d_{ц,тр}, м$	0,92
Принимаем диаметр центральной трубы равный	$d_{ц,тр}, м$	1
Диаметр раструба центральной трубы	$d_p = 1,35 * d_{ц,тр}, м$	1,35
Скорость в щели	$v_{щ}, м/с$	0,02
Расход через щель	$q_{щ} = q_{макс}, м^3/с$	0,02
Высота щели H_2 между нижней кромкой центральной трубы и поверхностью отражательного щита определяем из условия обеспечения в ней скорости	$H_2, м$	0,24
Высота слоя между низом отражательного щита и поверхностью осадка принимаем $H_3 = 0,3 м$	$H_3, м$	0,3
Высота борта отстойника (возвышение внешней стенки отстойника над кромкой сборной водосливной стенки)	$H_4, м$	0,5
Общая высота цилиндрической части отстойника:	$H_{ц} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4, м$	4,54
Принимаем угол наклона стенок конусной части к горизонту равным 60. Тогда высота конусной части составит:	$H_к, м$	2,8
Общая высота отстойника	$H_{ит} = H_1 + H_к, м$	9,74

По результатам расчета на рис. 11 представлена конструкция вертикального отстойника с нисходяще-восходящим движением воды.

Таким образом, в работе представлены результаты экспериментальных исследований с получением математических моделей процесса очистки промывных вод при применении различных коагулянтов, позволяющие полу-

чить сравнительные характеристики эффективности очистки при прочих равных условиях: исходная концентрация, время отстаивания. По результатам исследования была составлена рекомендуемая технологическая схема процесса очистки, с детальной разработкой одного из сооружений по отстаиванию промывных вод – вертикального отстойника с нисходяще-восходящим движением потока воды.

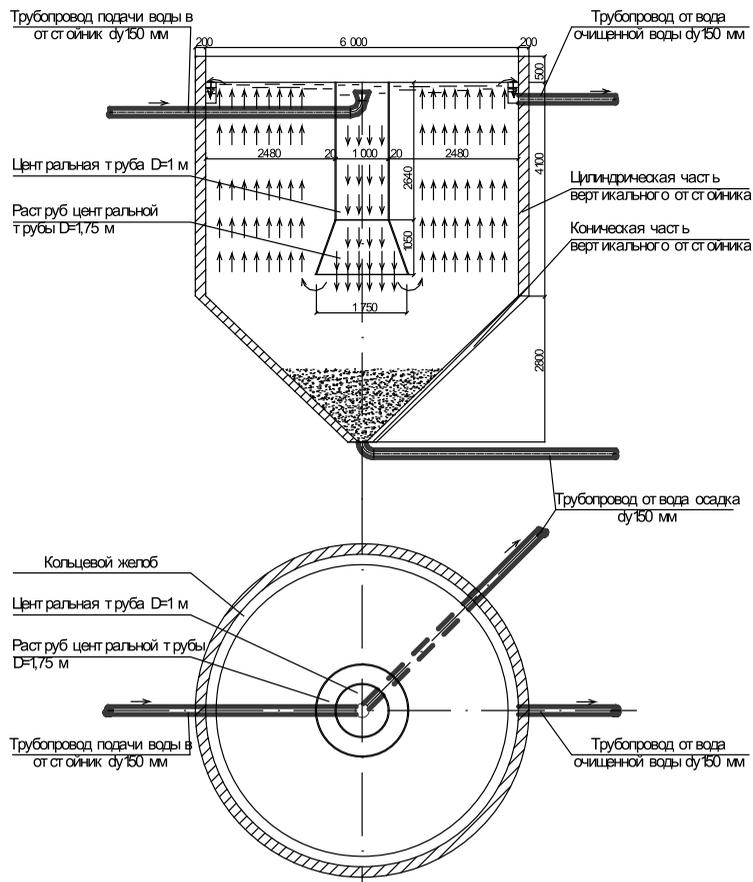


Рис. 11. Вертикальный отстойник с нисходяще-восходящим движением воды

Выводы

1. Рассмотрены существующие технологические решения по очистке грязных промывных вод, получившие широкое распространение.

2. Представлена качественная характеристика промывных вод для одной водопроводной очистной станции г. Симферополя «Петровские скалы»

3. Представлены результаты трехфакторного ротатбельного, центрально-композиционного планирования эксперимента с обработкой экспериментальных данных и полученными уравнениями регрессии второго порядка, связывающего такие входящие данные, как: исходная концентрация взвешенных веществ, доза реагента, время отстаивания при применении различных реагентов, что позволило при фиксации одного параметра получать поверхности отклика в зависимости от искомых факторов.

4. Рекомендована технологическая схема очистки промывных вод скорых фильтров ВОС «Петровские скалы» с технологическим расчетом одного из сооружений отстаивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Очистка и повторное использование промывных вод водоочистных станций / Ю.Л. Сколупович, Е.Л. Войтов, А.А. Цыба [и др.] // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году: сб. науч. трудов РААСН. Т. 2. М.: Изд. АСВ, 2020. С. 413–417.*

2. *Николенко И.В., Котовская Е.Е., Фетляев Э.Э. Анализ возможности внедрения системы непрерывной промывки на водопроводных очистных сооружениях Республики Крым // Строительство и техногенная безопасность: сб. науч. трудов. Симферополь: АСИА, КФУ им. В.И. Вернадского, 2018. Вып. 11(63). С. 147–159.*

3. *Бутко Д.А., Лысов В.А., Родионова А.Б. Применение коагулянтов для обработки промывных вод скорых фильтров // Градостроительство и архитектура. 2011. № 1. С. 50–53. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.10.*

4. *Гироль Н.Н., Бойчук С.Д., Котовская Е.Е. Методы обезвреживания производственных отходов водопроводных очистных сооружений // Строительство и техногенная безопасность. 2005. Вып. 12. С. 183–186.*

5. Экспериментальное обоснование и разработка технологии утилизации осадков промывных вод водоочистной станции / Н.Н. Гириль, С.Д. Бойчук, В.А. Мякишев, Е.Е. Котовская // *Строительство и техногенная безопасность*. 2006. Вып. 13–14. С. 129–134.

6. Кичигин В.И., Юдин А.А. Исследование зависимости удельного сопротивления осадка от его влажности и исходной концентрации бентонитового замутнителя // *Градостроительство и архитектура*. 2023. Т. 13, № 2. С. 22–30. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.4.

7. Николенко И.В., Котовская Е.Е., Алиев Л.А. Исследование и разработка метода утилизации осадков водоподготовки // *Яковлевские чтения – 2023. Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения: сб. докладов участников XVIII Международной научно-технической конференции*. М.: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. С. 38–44.

8. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды. М.: Изд-во АСВ, 2003. 230 с.

9. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. Л.: Химия, 1975. 48 с.

10. Кульский Л.А., Левченко Т.М., Петрова М.В. Химия и микробиология воды. Практикум. К.: Вища школа, 1976. 116 с.

11. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. К.: Наукова думка, 1980. 564 с.

12. Фрог Б.Н. Водоподготовка. М.: Изд-во МГУ, 1996. 680 с.

13. Примеры расчетов канализационных сооружений / Ласков Ю.М., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. М.: ИД «Альянс», 2008. 225 с.

REFERENCES

1. Skolubovich Yu.L., Voitov E.L., Tsyba A.A. Treatment and reuse of wash water from water treatment plants. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk po nauchnomu obespecheniju razvitiya arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2019 godu: sb. nauch. trudov RAASN* [Fundamental, search and applied research of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences on the scientific support of the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019: Sat. scientific. of RAASN]. Moscow, ASV, Russian Academy of Architecture and Building Sciences, 2020, pp. 413–417. (In Russian).

2. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Fetlyaev E.E. Analysis of the possibility of introducing a continuous washing system at water treatment plants in the Republic of Crimea. *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost': sb. nauch. trudov. Simferopol': ASiA»* [Construction and man-made safety: Sat. scientific. works. Simferopol: ASiA], 2018, iss. 11(63), pp. 147–159. (In Russian).

3. Butko D.A., Lysov V.A., Rodionova A.B. Use of coagulants for treatment of washing waters of fast fil-

ters. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2011, no. 1, pp. 50–53. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.10

4. Girol N.N., Boychuk S.D., Kotovskaya E.E. Methods of disposal of industrial waste from water treatment facilities. *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'* [Construction and man-made safety], 2005, iss. 12, pp. 183–186. (in Russian)

5. Girol N.N., Boychuk S.D., Myakishev V.A., Kotovskaya E.E. Experimental justification and development of technology for disposal of wash water sediments of a water treatment plant. *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'* [Construction and man-made safety], 2006, iss. 13–14, pp. 129–134. (in Russian)

6. Kichigin V.I., Yudin A.A. Study of the dependence of the specific resistance of the sediment on its humidity and the initial concentration of bentonite clouding agent. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 22–30. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.4

7. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Aliyev L.A. Research and development of a method for recycling water treatment sediments. *Jakovlevskie chtenija – 2023. Sistemy vodosnabzhenija i vodootvedenija. Sovremennye problemy i reshenija: sb. докладов* [Yakovlevsky readings – 2023. Water supply and drainage systems. Modern problems and solutions: Sat. reports]. Moscow, MGSU, 2023, pp. 38–44. (In Russian).

8. Kichigin V.I. *Modelirovanie processov ochistki vody* [Modeling of water treatment processes]. Moscow, ASV, 2003. 230 p.

9. Sautin S.N. *Planirovanie jeksperimenta v himii i himicheskoj tehnologii* [Experiment Planning in Chemistry and Chemical Technology]. Leningrad, Chemistry, 1975. 48 p.

10. Kulsky L.A., Levchenko T.M., Petrova M.V. *Himija i mikrobiologija vody. Praktikum* [Water chemistry and microbiology. Workshop]. Kyiv, Vischa school, 1976. 116 p.

11. Kul L.A. *Teoreticheskie osnovy i tehnologija kondicionirovanija vody* [Theoretical foundations and technology of water conditioning]. Kyiv, Naukova Dumka, 1980. 564 p.

12. Frog B.N. *Vodopodgotovka* [Water preparation]. Moscow, 1996. 680 p.

13. Laskov Yu.M., Laskov Yu.M., Voronov Yu.V., Kalitsun V.I. *Primery raschetov kanalizacionnyh sooruzhenij* [Examples of sewer calculations]. Moscow, ID “Alliance”, 2008. 225 p.

Об авторах:

ТЕПЛЫХ Светлана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: lana2802@mail.ru

TEPLYH Svetlana Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor the Water Supply and Wastewater Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: lana2802@mail.ru

КОТОВСКАЯ Елена Евгеньевна

старший преподаватель кафедры инженерных систем в строительстве
Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
295007, Россия, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4
E-mail: elevkot@gmail.com

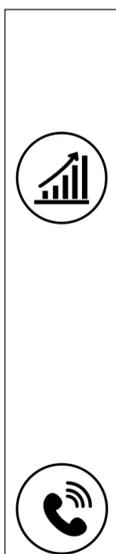
KOTOVSKAYA Elena Ev.

Senior Lecturer of the Engineering Systems in Construction Chair
Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky
295007, Russia, Simferopol, Akademika Vernadsky av., 4
E-mail: elevkot@gmail.com

Для цитирования: *Теплых С.Ю., Котовская Е.Е.* Обоснование технологии обработки промывных вод водопроводных очистных сооружений с последующим возвратом в технологический цикл // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 4. С. 38–48. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.05.

For citation: *Tepliyh S.Yu., Kotovskaya E.E.* Substantiation of the technology of treatment of flushing water of water treatment facilities with subsequent return to the technological cycle. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 4, pp. 38–48. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.05.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
«ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»**



Журнал включен с 01.12.2015 г. в Перечень ВАК, категория К-1, индексируется в системе РИНЦ, каждой статье присваивается идентификатор цифрового объекта DOI

Подписной индекс в каталоге агентства «Урал-Пресс»: 70570

Рубрики:

- Строительство
- Архитектура

Полный перечень рубрик можно посмотреть на официальном сайте журнала journals.eco-vector.com

ПУБЛИКАЦИЯ В ЖУРНАЛЕ БЕСПЛАТНАЯ!

Александр Кузьмич СТРЕЛКОВ

доктор технических наук, главный редактор

443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244
тел. (846) 242-36-98; +79276510709
vestnikgasu@yandex.ru