

Results on use of wastes of water purification – used-up ion-exchange resins KU-2-8 and AB-17-8 in a role of coagulants for clearing of washing waters of iron removal stations are presented. In work the optimum dose of coagulants is defined, efficiency of clarification of washing waters, residual concentration of iron in washing water after 2 hours of sedimentation, specific resistance to filtering of a received deposit is defined. The direction of formed sediments is offered.

УДК 628.16

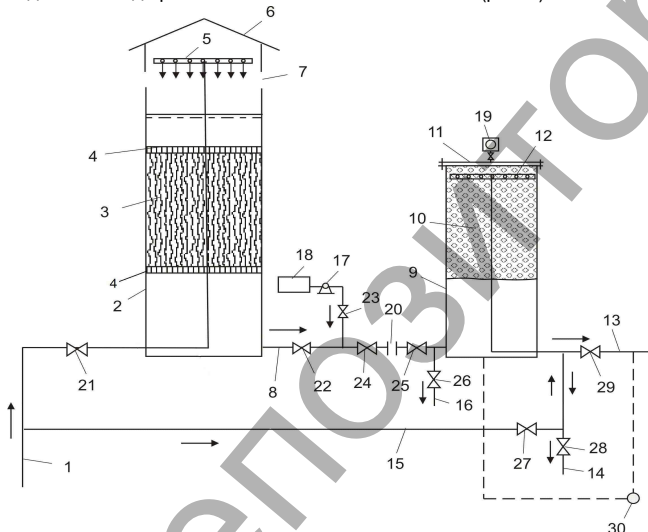
Стасюк С. Р.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Введение. Основным источником сельскохозяйственного водоснабжения в Украине являются подземные воды, которые характеризуются чаще всего повышенным содержанием железа и солей жесткости.

Железо является очень важным элементом в организме человека и животных, однако его повышенное содержание вредно для здоровья. Железо является составной частью гемоглобина крови, оно принимает участие в перенесении кислорода в живом организме, поскольку легко переходит с двухвалентной формы в трехвалентную и наоборот, а также является биологическим катализатором. Однако при длительном поступлении железа в организм происходит разрушение клеток печени, поскольку соединения железа сорбируют на своей поверхности ионы тяжелых металлов и радионуклидов, что приводит к тяжелым заболеваниям человека [1]. Поэтому содержание железа в питьевой воде не должно превышать 0,2 мг/дм³ [2, 3]. Наличие в воде солей кальция и магния обуславливает ее жесткость, которая для питьевой воды не должна быть больше 7 мг-экв/дм³ или как исключение – до 10 мг-кв/дм³ [2, 3].

Установка для обезжелезивания и умягчения воды. В Институте водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук Украины получен патент на универсальную установку для обезжелезивания и умягчения воды [4], которая обеспечивает удаление из подземных вод примесей железа и солей жесткости (рис. 1).



1 – подача исходной воды; 2 – водовоздушный бак; 3 – тонковолокнистая фильтрующая загрузка; 4 – колосниковые решетки; 5 – аэратор; 6 – крыша; 7 – воздухопропускные окна; 8 – подача предварительно обработанной воды; 9 – контактный осветлительный фильтр (КОФ); 10 – плавающая пенополистирольная фильтрующая загрузка; 11 – крышка; 12 – колпачковый дренаж; 13 – отвод фильтрованной воды; 14 – сброс первого фильтрата; 15 – подача воды на промывку; 16 – опорожнение системы; 17 – насос-дозатор; 18 – бак с раствором реагента; 19 – вантуз; 20 – шайбовый смеситель; 21–29 – задвижки; 30 – дифманометр

Рисунок 1 – Технологическая схема обезжелезивания и умягчения воды

Установка работает так. Исходная подземная вода по трубопроводу 1 поступает в водовоздушный бак 2 через аэратор 5, мелкие капли воды падают вниз с высоты не менее 0,5 м, насыщая воду кислородом воздуха, который поступает через окна 7, иммобилизованные на волокнистой загрузке 3 специфические железобактерии интенсивно переводят двухвалентное железо $Fe(HCO_3)_2$, растворенное в исходной воде, в трехвалентную форму, образуя хлопья из малорастворимого гидроксида железа $Fe(OH)_3$, которые с водой по трубопроводу 8 поступают в осветлительный фильтр 9. По этому же трубопроводу насос-дозатор 17 из бака 18 подает расчетный расход известкового раствора для связывания ионов жесткости в малорастворенные соединения после перемешивания его в шайбовом смесителе 20. В осветлительном фильтре 9 при восходящем фильтровании воды возникают благоприятные условия для ее глубокого обезжелезивания и умягчения. Фильтрованную воду собирают колпачковым дренажем 12 и отводят по трубопроводу 13. После пуска фильтра в эксплуатацию со свежей плавающей фильтрующей загрузкой 10 сначала сбрасывают первый фильтрат по трубе 14 в канализацию, а потом подают очищенную воду потребителям по трубе 13. Контроль за потерями напора в фильтре осуществляют дифманометром 30. При достижении его предельной величины фильтр промывают. Для этого закрывают задвижки 21, 22, 23, 24, 25, 28 и 29 и открывают задвижки 27 и 26. Вода, двигаясь в обратном направлении, расширяет пенополистирольную загрузку 10 и вымывает из него большую часть загрязнений, которые по трубопроводу 16 сбрасываются в канализацию. Промывку фильтра нужно выполнять при определенной интенсивности на протяжении расчетного времени для обеспечения «зарядки» фильтра, при условии соответствия качества фильтрованной воды нормативным требованиям и исключения необходимости сбрасывания первого фильтрата по трубопроводу 14.

Преимущество данной установки состоит в обеспечении высокой эффективности очистки воды от соединений железа и солей жесткости при меньшей себестоимости очищенной воды.

Методы обезжелезивания подземных вод. Для удаления железа из подземных вод можно использовать два метода [5]:

- физико-химический, при котором происходит окисление железа Fe^{2+} у Fe^{3+} и задержание полученного осадка $Fe(OH)_3$;
- биологический, при котором специфические железобактерии *Gallionella ferruginea* очень быстро окисляют двухвалентное железо, а продукты окисления компактно уплотняют [6, 7].

Для биологического обезжелезивания подземных вод необходимо выполнять такие условия:

- насыщение исходной водой кислородом осуществлять в точном соответствии со стехиометрическим количеством, необходимым для окисления Fe^{2+} :

$$Fe^{2+} : [O_2] = 0,143, \quad (1)$$

т. е. на окисление 1 мг двууглекислого железа необходимо 0,143 мг кислорода;

- создать благоприятные условия для закрепления железобактерий. Насыщение воды кислородом целесообразно выполнять методом упрощенной аэрации путем разбрызгивания воды аэратором,

Стасюк Сергей Ростиславович, старший научный сотрудник Института водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук Украины.

Украина, г. Киев, ул. Васильковская, 31/17.

через отверстия которого вода вытекает со скоростью 1,5–2 м/с, а ее капли падают вниз с высоты 0,5 м, при этом концентрация кислорода доходит до 5 мг/дм³ [8].

Цель лабораторной работы. На установке (рис. 1) изучить закономерности изменения эффективности обезжелезивания воды на протяжении фильтроцикла при физико-химическом и биологическом методах окисления двухвалентного железа для выбора оптимальных конструктивных и технологических параметров установки.

Методика исследований. Эффективность обезжелезивания воды в любой (к-ый) период времени зависит от множества факторов:

$$\mathcal{E}_k = \frac{C_0 - C_{\phi}}{C_0} \cdot 100\% = f(d_i, K_n, H_{\phi}, T_c, V_{\phi}, G_k), \quad (2)$$

где C_0 и C_{ϕ} – содержание железа соответственно в исходной и фильтрованной воде, мг/дм³; d_i , K_n и H_{ϕ} – диаметр, мм, коэффициент неоднородности и толщина, м, гранул фильтрующей загрузки; T_c – технологическая схема, определяющая физико-химический или биологический метод окисления двухвалентного железа; V_{ϕ} – скорость восходящего фильтрования воды в контактом осветлительном фильтре (КОФ), равная

$$V_{\phi} = \frac{Q}{\omega}, \text{ м / час}, \quad (3)$$

Q – расход воды, м³/час; ω – площадь поперечного сечения КОФ, м²; G_k – удельная грязеемкость КОФ в к-ый момент времени на протяжении фильтроцикла, кг/м³, т. е. количество осадка из гидроокиси железа Fe(OH)₃, которое приходится на 1 м² площади КОФ и определяется по формуле:

$$G_k = 0,001K_n V_{\phi} \sum_0^{T_{\phi,k}} (C_{0,i} - C_{\phi,i}) T_{\phi,i}, \text{ кг / м}^2, \quad (4)$$

K_n – переводной коэффициент, учитывающий соотношение молекулярной массы гидроокиси железа Fe(OH)₃ к атомной массе двухвалентного железа

$$K_n = \frac{M[Fe(OH)_3]}{AFe^{2+}} = \frac{107}{56} = 1,91, \quad (5)$$

$C_{0,i}$ и $C_{\phi,i}$ – среднее содержание железа соответственно в исходной и фильтрованной воде за интервал времени между соседними измерениями, г/м³; $T_{\phi,i}$, г/м³; $T_{\phi,k}$ – продолжительность фильтрования воды, час.

Максимальная продолжительность фильтроцикла $T_{\phi,max}$ определяется временем фильтрования воды, после которого фильтр необходимо отключать на промывку, поскольку качество фильтрования воды достигло предельно допустимых значений ($C_{\phi}=0,2$ мг/дм³), что на практике контролируется соответствующими предельными потерями напора на фильтре h_{max} .

Физико-химическое обезжелезивание воды. Как известно [5], безреагентные методы обезжелезивания воды можно применять при условии, если качество исходной воды удовлетворяет требованиям: рН≥6,7; щелочность Щ≥1,5 мг-экв/дм³; перманганатная окисляемость $O_2 \leq 9,5$ мг/дм³; содержание $Fe^{3+} \leq 10\%$ от общего содержания железа; содержание $CO_2 \leq 80$ мг/дм³ и $H_2S \leq 2$ мг/дм³.

Этим требованиям удовлетворяла исследуемая вода из подземных источников, подаваемую из водонапорной башни подавали в водовоздушный бак (рис. 2), который выполняет такие функции:

- насыщение воды кислородом воздуха путем упрощенной аэрации;
- удаление газов из воды для исключения пузырьковой кольматации фильтрующей загрузки КОФ;
- поддержание постоянной скорости фильтрования воды на КОФ в течение фильтроцикла в условиях, когда возрастают потери напора фильтрующей загрузки.

Для своевременного удаления газов из исходной воды водовоздушный бак рассчитывается из условий обеспечения скорости движения нисходящего потока воды не более $V_{в,б}=0,05$ м/с и времени пребывания воды в нем $t_{в,б} \geq 1$ мин.

В подфильтровом пространстве КОФ происходят два технологических процесса:

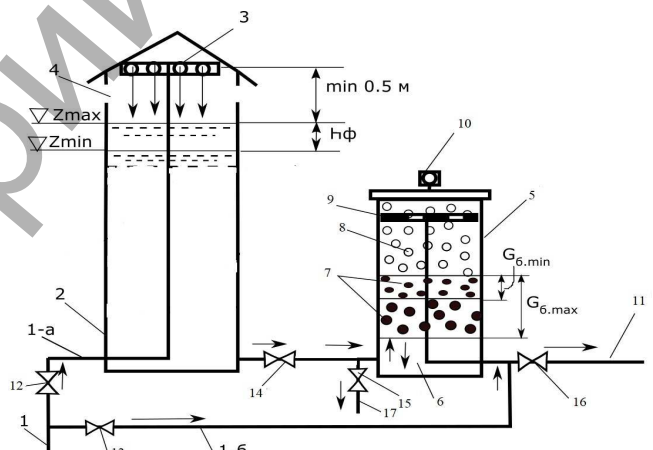
- флокулирование микрохлопьев из Fe(OH)₃ в крупные агрегированные хлопья;
- охлаждение этих хлопьев в осадок из очищаемой воды.

Как показали исследования, эффективность обезжелезивания воды определяется по формуле (2), сначала увеличивается, достигая максимума, и начинает уменьшаться (рис. 3).

В КОФ плавающая фильтровальная загрузка была принята с такими параметрами: $d_1=1,72$ мм; $K_n=2,52$; $H_{\phi}=1,0$ м.

Как показали экспериментальные исследования, при всех скоростях фильтрования воды на КОФ содержание железа в фильтрованной воде сначала уменьшается до определенного предела, а затем начинает увеличиваться (рис. 3). Содержание железа в исходной воде колебалось от 0,8 до 1,5 мг/дм³.

Лабораторные исследования начались при скорости фильтрования $V_{\phi,1}=7$ м/час. Вначале шла «зарядка» фильтра, когда накапливается осадок из хлопьев Fe(OH)₃ в подфильтровом пространстве КОФ. Продолжительность зарядки определяется абсциссой точки А, которая образуется при пересечении линий 1 и 4. Для данной фильтрующей загрузки и качестве исходной воды при $V_{\phi,1}=7$ м/час, $T_{зар}=40$ часов, а продолжительность фильтроцикла, при котором обеспечивается нормативное содержание железа в исходной воде, определяется как разность абсцисс точек А и В: $T_{\phi,1}=143$ часа (6 суток). При $T_{\phi}=215$ часов, $C_{\phi}=0,35$ мг/л и КОФ был промыт с расчетом, чтобы оставить в загрузке минимальное количество осадка из Fe(OH)₃. Далее были проведены аналогичные исследования при $V_{\phi,2}=9$ м/час (линия 2) и $V_{\phi,3}=11$ м/час (линия 3), которые позволили определить продолжительность фильтроцикла при этих скоростях фильтрования воды: $T_{\phi,2}=138$ часов и $T_{\phi,3}=105$ часов.



1 – подача воды из скважины; 1а – на очистку, 1б – на промывку фильтра; 2 – водовоздушный бак; 3 – аэратор; 4 – воздухопроницаемые окна; 5 – КОФ; 6 – подфильтровое пространство; 7 – осадок из Fe(OH)₃; 8 – пенополистирольная фильтрующая загрузка; 9 – колпачковый дренаж; 10 – вантуз; 11 – отвод очищенной воды; 12–16 – задвижки; 17 – сброс промывной воды из КОФ

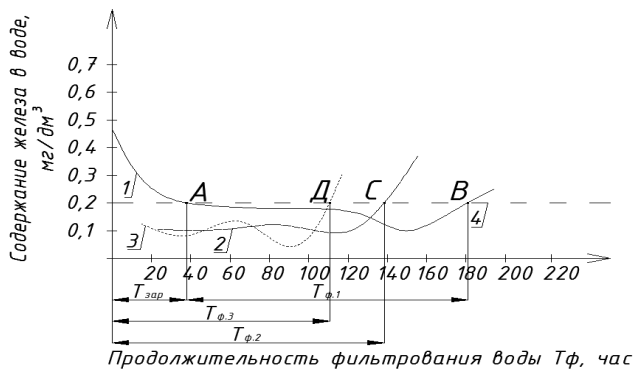
Рисунок 2 – Схема лабораторной установки обезжелезивания воды физико-химическим методом

В процессе фильтрования воды на протяжении фильтроцикла, вследствие кольматации фильтрующей загрузки и увеличения объема осадка из Fe(OH)₃ в подфильтровом пространстве КОФ увеличиваются потери напора при восходящем движении воды с постоянной скоростью ее фильтрования, что приводит к повышению уровня воды в водовоздушном баке с отметки Z_{min} в начале фильтроцикла до Z_{max} в конце фильтроцикла, когда удельная грязеемкость КОФ достигла величины G_{max} (рис. 2). Эти дополнительные потери напора в конце фильтроцикла находились в пределах $\Delta h=0,4–0,5$ м.

Биохимическое обезжелезивание воды. Исследования выполнялись на установке, схема которой показана на рисунке 2, только в водовоздушном баке 2 между колосниковыми решетками 4 была установлена тонковолокнистая фильтрующая загрузка 3 (рисунок 1),

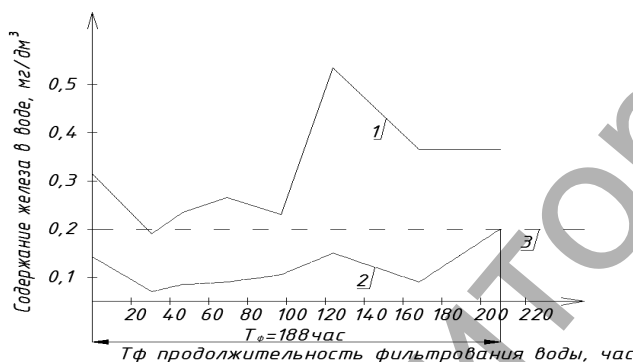
из капроновых ниток, на поверхности которых закрепились железобактерии, принимающее участие в биологическом окислении железа с Fe^{2+} в Fe^{3+} и образование гидроксида железа $Fe(OH)_3$.

Результаты исследований изменения содержания железа в фильтрованной воде на протяжении фильтроцикла с разными скоростями ее фильтрования на КОФ при биологическом методе обезжелезивания воды приведены в таблице 1 и на рисунках 4 и 5. Содержание железа в исходной воде, поступающей из водонапорной башни ВБ на установку, изменялось в широких пределах (от 0,27 до 2,9 мг/дм³) в зависимости от времени пребывания воды в башне.



1 – при $V_{ф1}=7$ м/час; 2 – при $V_{ф2}=9$ м/час; 3 – при $V_{ф3}=11$ м/час; 4 – линия допустимого содержания железа в питьевой воде (0,2 мг/дм³)

Рисунок 3 – График изменения содержания железа в фильтрованной воде на протяжении фильтроцикла при различном количестве осадка из $Fe(OH)_3$ в фильтрующей загрузке КОФ и скоростях фильтрования воды

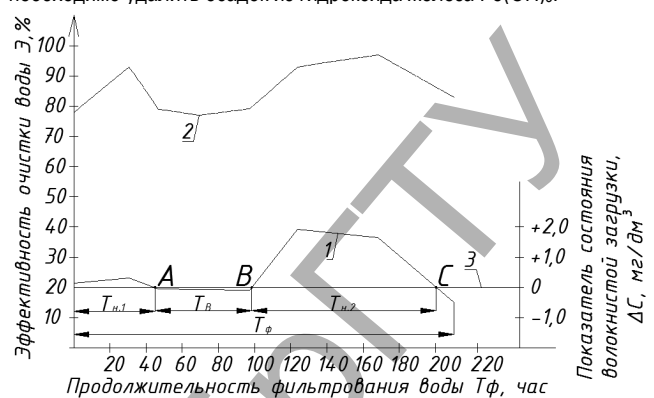


1 – волоконистой загрузки; 2 – КОФ; 3 – линия допустимого содержания железа в питьевой воде

Рисунок 4 – Графики изменения содержания железа в воде на протяжении фильтроцикла при скорости фильтрования воды $V_{ф}=7$ м/час после сооружений

Как видим из таблицы 1 и рисунка 5, эффективность очистки воды на установке зависит от состояния волоконистой загрузки ΔC , которая определяет скопление железа в загрузке (+) или его вынос из загрузки (-) в подфильтровое пространство КОФ. Пересечение линии 1 с линией нейтральности волоконистой загрузки 3 образуют

точки А, В и С, абсциссы которых определяют время накопления железа в загрузке $T_{н}$, в период которого железобактерии окисляют его до образования осадка $Fe(OH)_3$, и время выноса этого осадка в подфильтровое пространство КОФ $T_{в}$, что приводит к снижению общей эффективности обезжелезивания воды на установке. Поэтому, после стечения времени $T_{н1}=42$ часа из волоконистой загрузки необходимо удалить осадок из гидроксида железа $Fe(OH)_3$.



1 – состояние волоконистой загрузки $\Delta C=f(T_{ф})$; 2 – эффективность обезжелезивания воды на установке биологическим методом $\mathcal{E}=f(T_{ф}, \Delta C)$; 3 – линия нейтральности волоконистой загрузки

Рисунок 5 – График изменения параметров работы установки на протяжении фильтроцикла

Заключение. На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Очистку подземных вод в системах сельскохозяйственного водоснабжения целесообразно выполнять по предложенной технологии на установке с волоконистой и пенополистирольной загрузкой.
2. На основании экспериментальных исследований на лабораторной установке изучены закономерности изменения эффективности обезжелезивания воды на протяжении фильтроцикла при физико-химическом и биологическом методах окисления двухвалентного железа.
3. Исследования показали, что наибольшая эффективность очистки воды (до 97%) и продолжительность фильтроцикла ($T=188$ часов) без надобности предварительной «зарядки» фильтра достигается при биологическом методе обезжелезивания воды. Однако необходимо своевременно промывать волоконистую фильтрующую загрузку.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Черкинский, С.Н. Руководство по гигиене водоснабжения. – М.: Медицина, 1975. – 327 с.
2. Контроль качества питьевой воды / В.Т. Мазаев, Т.Г. Шлепнина, В.Н. Мандрыгин. – М.: Колос, 1999. – 168 с.
3. Руководство по контролю качества питьевой воды. / ВОЗ. – Женева, 1994. – Т. 1: Рекомендации – 225 с.
4. Патент Украины на полезную модель №85009, Установка для обезжелезивания и умягчения воды. – Госслужба интеллектуальной собственности Украины. – Бюл. № 21 от 11.11.2013 г.
5. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84

Таблица 1 – Результаты исследований очистки воды от железа биологическим методом при $V_{ф}=7$ м/час

Продолжительность фильтрования воды, $T_{ф}$, час	Содержание железа в воде после сооружений				Эффективность очистки воды, \mathcal{E} , %
	водонапорной башни	волоконистой загрузки	ΔC , мг/дм ³	КОФ	
30,70	0,68	0,53	0,15	0,19	78
30,67	0,59	0,28	0,31	0,04	93
46,84	0,33	0,37	-0,04	0,07	79
69,26	0,35	0,43	-0,08	0,08	77
97,26	0,27	0,36	-0,09	0,11	59
123,93	2,90	0,97	1,93	0,20	93
168,35	2,31	0,63	1,64	0,08	97
210,18	1,80	2,30	-0,50	0,3	83

- / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
6. Grochmann, A. Biologische enteisenung und entmanganung eines methanhaltigen grandwasser in speyir / A. Grochmann, R. Gollasch, G. Chumacher // GWF. Wasser, Abwasser. – 1989. – S. 441–447.
 7. Badjo, I. Technologies appropriées. L'exemple d'une grande installation de deferrisation biologique au Togo / I. Badjo, P. Mouches – 38, № 3 – P. 197–206.
 8. Клячко, В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин – М.: Стройиздат, 1971. – 578 с.

Материал поступил в редакцию 02.05.2018

STASIUK S.R. Laboratory studies of groundwater iron removal in local systems of agricultural water supply

The results of laboratory studies of the processes of iron removal from groundwater by physicochemical and biological methods on installation that consists of a water-air tank with a fine-fiber loading and a contact clarifying filter with a polystyrene floating filtering load are presented in the paper. The advantage of this system lies in the provision of high efficiency water purification from iron at low capital and operating costs. The regularities of changes in the content of iron in filtered water during the filtration cycle that are dependent on multiple factors are established. Recommendations about optimal working regimes of water iron removal installation are developed.

УДК 628.355

Белов С. Г., Акулич Т. И., Наумчик Г. О.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЕ

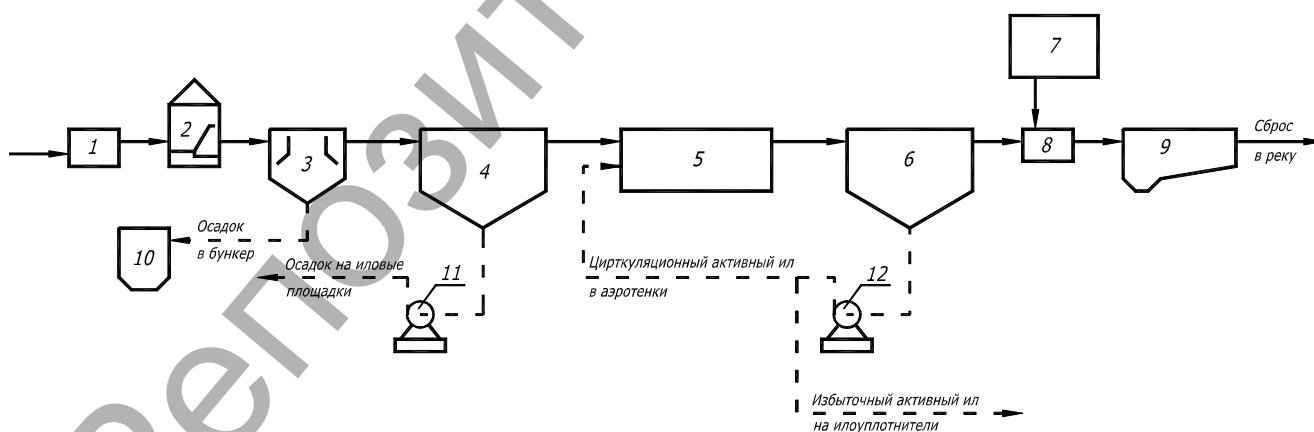
Введение. В настоящее время на большинстве городских канализационных очистных сооружений Республики Беларусь обработка сточных вод производится по классической схеме, включающей механическую очистку на решетках, в песколовках и первичных отстойниках, биохимическую обработку в аэротенках с последующим отстаиванием во вторичных отстойниках, обеззараживание сточной воды и в ряде случаев доочистка различными методами.

Проектирование и строительство большинства очистных сооружений было осуществлено в 60–80-х годах XX века. Как правило, проектная мощность очистных сооружений закладывалась с учетом развития промышленности города и с расширением городской застройки. Однако в настоящее время при переходе на новые методы хозяйствования резко сократилось строительство новых промышленных предприятий, на ряде предприятий снизились объемы производственных мощностей, а некоторые предприятия внедрили собственные локальные сооружения. Также в связи с использованием современных санитарно-технических устройств, счетчиков воды снизилось количество бытовых сточных вод, поступающих на очистные сооружения от населения. Все это привело к

уменьшению производительности станции, к изменению качественного состава сточных вод относительно проектных данных. Существенное различие между проектными и фактическими значениями на многих очистных сооружениях повлекло за собой ряд нарушений технологического режима очистных сооружений, что отражается в неудовлетворительном качестве очищенных сточных вод. Концентрации загрязняющих веществ сточных вод, сбрасываемых в водный объект, постоянно превышают установленные допустимые концентрации, что отрицательно сказывается на экологическом состоянии водных объектов.

С аналогичными проблемами столкнулись на очистных сооружениях биологической очистки г. Волковыска Гродненской области, в связи с чем ПУП «Волковысское коммунальное хозяйство» обратилось в БрГТУ с просьбой выявить причины неудовлетворительной работы очистных сооружений сточных вод. В настоящей статье будут рассмотрены причины неэффективной работы сооружений и предложены мероприятия по оптимизации их работы.

Очистные сооружения г. Волковыска предназначены для механической, биологической очистки сточных вод и обработки осадка,



- 1 – приемная камера; 2 – решетки; 3 – горизонтальные песколовки с круговым движением воды; 4 – первичные радиальные отстойники; 5 – аэротенк; 6 – вторичные радиальные отстойники; 7 – хлораторная; 8 – смеситель; 9 – контактный резервуар; 10 – песковой бункер; 11 – насосы сырого осадка первичных отстойников; 12 – илоциркуляционные насосы

Рисунок 1 – Технологическая схема канализационных очистных сооружений

Белов Сергей Григорьевич, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Акулич Татьяна Ивановна, старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Наумчик Григорий Остапович, ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.