

УДК 628.162

ЭКОНОМИЧНАЯ СТАНЦИЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ ПО ТЕХНОЛОГИИ «СУХАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ»

Б. Н. Житенёв¹, Г. О. Наумчик², Е. С. Рыбак³

¹ К. т. н., доцент, профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: gitenov@tut.by

² К. т. н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: gonaumchik@bstu.by

³ Старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: katsunny722@gmail.com

Реферат

В настоящее время наиболее распространенными методами обезжелезивания подземных вод являются упрощенная и глубокая аэрация. После аэрации, гидролиза и окисления образуется гидроксид железа (III), который задерживается на фильтрах с зернистой загрузкой. Периодически осуществляется их промывка. В результате образуются значительные объемы сильно загрязненной соединениями железа промывной воды. Рекомендуемые строительными нормами Республики Беларусь СН 4.01.01-2019, ВУ. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [2] методы обработки промывных вод неэффективны, отвод их после отстаивания в голову сооружений значительно снижает фильтроцикл и ухудшает качество фильтрата. В результате эксплуатационные организации отказываются от повторного использования промывных вод и сбрасывают их в водотоки. Отмеченная проблема может быть решена двумя путями:

1. Разработкой новых высокоэффективных технологий обработки промывных вод.
2. Внедрение технологий обезжелезивания, при реализации которых образуется минимальный объем промывных вод.

Одним из перспективных способов обезжелезивания является метод «сухой фильтрации». Его достоинство – отсутствие или минимальные объемы промывных вод, поскольку продолжительность фильтроцикла составляет от нескольких месяцев до года. Используются физико-химические, технологические, математические методы.

В результате эксперимента, продолжавшегося непрерывно 18 месяцев, установлена высокая эффективность обезжелезивания подземной воды альб-сеноманского водоносного горизонта методом «сухой фильтрации». При фильтрующей загрузке из вспененного полистирола с параметрами: $d_{50} = 1,6$ мм коэффициентом неоднородности $K_n = d_{80}/d_{10} = 2,75$ и эквивалентном диаметре $d_{экв.} = 2,8$ мм, скорости фильтрования 8 м/ч достигался стабильный эффект обезжелезивания воды. При водовоздушном соотношении 1:3 остаточное содержание железа составляло не более 0,2 мг/л, а продолжительность фильтроцикла – 20 суток. На основании результатов, проведенных в производственных условиях, предлагается новая конструкция станции обезжелезивания подземной воды, в которой реализуется метод «сухой фильтрации», защищенной патентом на полезную модель.

Уменьшается территория станции обезжелезивания из-за компактного расположения сооружений. Увеличивается фильтроцикл до 8...12 месяцев, вследствие того что патрубок для отвода воздуха располагается в нижней части сухих фильтров, что создает условия для образования плотной дегидратированной пленки соединений железа и приводит к малому приросту потерь напора при работе сухих фильтров, а следовательно – к увеличению фильтроцикла. Отсутствуют промывные воды, так как загрузка в сухом фильтре после окончания фильтроцикла полностью заменяется. Упрощается эксплуатация станции, так как не требуется промывка фильтров и обработка промывных вод.

Ключевые слова: обезжелезивание воды, фильтрация, водовоздушное соотношение, станция обезжелезивания, сухая фильтрация.

ECONOMIC WATER IRON REMOVAL STATION USING THE TECHNOLOGY «DRY FILTRATION»

B. N. Zhitenev, G. O. Naumchik, E. S. Rybak

Abstract

Currently, the most common methods of iron removal from groundwater are simplified and deep aeration. After aeration, hydrolysis and oxidation, iron (III) hydroxide is formed, which is retained on filters with granular loading. They are periodically washed. As a result, significant volumes of wash water heavily contaminated with iron compounds are formed. The methods of treating wash water recommended by the building codes of the Republic of Belarus SN 4.01.01-2019, BY. Water supply. External networks and structures [2] are ineffective, their discharge after settling to the head of the structures significantly reduces the filtration cycle and worsens the quality of the filtrate. As a result, operating organizations refuse to reuse wash water and discharge it into watercourses. This problem can be solved in two ways:

1. Development of new highly efficient technologies for treating wash water.
2. Implementation of iron removal technologies, during the implementation of which a minimum volume of wash water is formed.

One of the promising methods of iron removal is the "dry filtration" method. Its advantage is the absence or minimum volumes of wash water, since the duration of the filtration cycle is from several months to a year. Physicochemical, technological, mathematical methods were used.

As a result of the experiment, which lasted continuously for 18 months, high efficiency of iron removal of groundwater of the Alb-Cenomanian aquifer by the "dry filtration" method was established. With a filter bed made of foamed polystyrene with the parameters: $d_{50} = 1.6$ mm, heterogeneity coefficient $K_n = d_{80} / d_{10} = 2.75$ and equivalent diameter $d_{eqv.} = 2.8$ mm, filtration speed of 8 m / h, a stable effect of iron removal of water was achieved. At a water-air ratio of 1:3, the residual iron content was no more than 0.2 mg/l, and the filtration cycle duration was 20 days. Based on the results obtained in production conditions, a new design of an underground water iron removal station is proposed, which implements the "dry filtration" method, protected by a patent for a utility model.

The area of the iron removal station is reduced due to the compact arrangement of the structures. The filtration cycle is increased to 8...12 months, due to the fact that the air outlet pipe is located at the bottom of the dry filters, which creates conditions for the formation of a dense dehydrated film of iron compounds and leads to a small increase in pressure losses during operation of dry filters, and, consequently, to an increase in the filtration cycle. There is no backwash water, since the load in the dry filter is completely replaced after the end of the filtration cycle. Operation of the station is simplified, since no need for filter backwashing and backwash water treatment.

Keywords: water iron removal, filtration, water-air ratio, iron removal station, dry filtration.

Введение

В соответствии с Государственной программой «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы, принятой постановлением Совета Министров Республики Беларусь 28 января 2021 г. № 50 [1], задачами подпрограммы 5 «Чистая вода» являются:

- 1) обеспечение потребителей водоснабжением питьевого качества;
- 2) обеспечение населения централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации);
- 3) повышение качества очистки сточных вод и надежности систем водоснабжения, водоотведения (канализации).

Для решения задач и достижения целей настоящей подпрограммы необходимо осуществить строительство около 800 станций обезжелезивания воды. В настоящее время наиболее распространенными методами обезжелезивания подземных вод являются упрощенная и глубокая аэрация.

Как известно, железо в подземных водах присутствует чаще в двухвалентной форме, преимущественно в виде гидрокарбоната, который устойчив только при наличии большого количества углекислоты и при отсутствии растворенного кислорода. При уменьшении концентрации углекислоты и, следовательно, при повышении pH, и обогащении воды растворенным кислородом происходит процесс гидролиза железа с образованием его гидроксида: при этом образуется ряд промежуточных соединений и в воде одновременно присутствуют как недиссоциированные молекулы, так и ионы двухвалентного железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})^+$. Затем гидроксид двухвалентного железа окисляется в гидроксид трехвалентного железа. Образующийся гидроксид трехвалентного железа нерастворим в воде и удаляется в сооружениях водоподготовки. Упрощенная аэрация с последующим фильтрованием эффективна, если соблюдаются ограничения:

- содержание железа (общего) – до 10 мг/л, в том числе двухвалентного (Fe^{2+}) – не менее 70 %;
- pH – не менее 6,8;
- окислительно-восстановительный потенциал – более 100 мВ;
- щелочность – более 2 ммоль/л;
- содержание сероводорода – не более 0,5 мг/л;
- содержание аммония – до 1,5 мг/л;
- содержание метана – до 0,5 мг/л.

Станции обезжелезивания воды упрощенной и глубокой аэрации нашли повсеместное применение в условиях Республики Беларусь, однако им свойствен ряд недостатков. После аэрации, гидролиза и окисления образуется гидроксид железа (III), который задерживается на фильтрах с зернистой загрузкой. Периодически осуществляется их промывка. После промывки фильтров образуются промывные воды в количестве от 0,5 % до 5 % от объема исходной воды, которые необходимо обрабатывать. На станциях обезжелезивания воды фильтрованием следует производить осветление отстаиванием промывных вод фильтровальных сооружений с последующей равномерной их подачей на сооружения водоподготовки. Обработка воды после промывки фильтров включает отстаивание для выделения из нее хлопьев гидроксида железа (III), обезвоживание и подсушивание осадка на специальных площадках. Осветленная промывная вода перекачивается в «голову» сооружений для последующей обработки вместе с исходной водой, поступающей на фильтры обезжелезивания. Осадок, накапливающийся на дне отстойника промывных вод, направляется на иловые площадки либо сооружения по обезвоживанию. Рекомендуются строительными нормами Республики Беларусь СН 4.01.01-2019, ВУ. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [2] методы обработки промывных вод неэффективны. Как показывает практика, по истечении рекомендуемого времени отстаивания в статических условиях концентрация железа в промывной воде велика. Безреагентное осветление промывных вод в основном завершается в течение 1,5...2,0 ч. Остаточное содержание железа при этом составляет 25,0...35,0 мг/л, дальнейшее снижение концентрации железа замедляется. Количество осадка влажностью 98...99 %, образующегося после двухчасового отстаивания, достигает 3,0–5,0 % объема промывных вод. Возврат осветленных вод на фильтры обезжелезивания с содержанием железа в воде 25,0...35,0 мг/л в виде гидроксида железа (III) может не только увеличить концентрацию его в фильтрате, но и будет изменяться соотношение двух- и трехвалентного железа в пользу последнего, что может нарушить процесс безреагентного обезжелезивания воды [3–12].

При этом уменьшится продолжительность фильтроцикла из-за повышенного содержания взвешенных веществ и снизится качество очистки подземных вод. В результате эксплуатационные организации отказываются от повторного использования промывных вод и сбрасывают их в водотоки. Отмеченная проблема может быть решена двумя путями:

1. Разработкой новых высокоэффективных технологий обработки промывных вод.
2. Внедрением технологий обезжелезивания, при реализации которых образуется минимальный объем промывных вод.

Одним из перспективных способов обезжелезивания является метод «сухой фильтрации». Его достоинство – отсутствие или минимальные объемы промывных вод, поскольку продолжительность фильтроцикла составляет от нескольких месяцев до года [13]. При «сухой фильтрации» образуется дегидратированный и плотный кристаллический осадок оксидов железа [14], в то время как при глубокой и упрощенной аэрации образуется рыхлый и влажный гидроксид железа (III) [15]. Вследствие этого прирост потерь напора в фильтрах, работающих по методу «сухой фильтрации», во много раз меньше, чем в фильтрах, работающих по методу упрощенной или глубокой аэрации [16–17]. Исследования показали, что при «сухой фильтрации» активно участвуют сорбционные процессы [13].

С повышением степени диспергирования воды в воздушном объеме над поверхностью фильтрующей загрузки глубина обезжелезивания воды увеличивается в несколько раз. Оптимальным следует считать разделение потока обрабатываемой воды до капельного состояния, в результате чего улучшаются контакт воды с воздухом и насыщение ее кислородом, кроме того, достигается наиболее полное удаление из нее углекислоты. При увеличении степени разбрызгивания интенсифицируется процесс динамической адсорбции ионов железа на зернах фильтрующей загрузки вследствие возрастания площади соприкосновения фаз. Следовательно, увеличение степени разбрызгивания улучшает процессы окисления, гидролиза и адсорбции, что способствует достижению более высокого эффекта обезжелезивания воды.

Качество обработки воды обратно пропорционально крупности зерен фильтрующего слоя и прямо пропорционально его высоте, так как с уменьшением размеров частиц фильтрующего материала возрастает суммарная поверхность адсорбции в единице объема загрузки фильтра. Вместе с тем первоначальные преимущества развитой поверхности, например, дробленого керамзита по сравнению с кварцевым песком с течением времени (по мере увеличения толщины адсорбционной пленки) утрачиваются. Грязеемкость загрузки фильтров, работающих по методу «сухой» фильтрации, в 15–18 раз выше по сравнению с загрузками, используемыми в других безреагентных методах обезжелезивания воды.

Высокий технико-экономический эффект метода «сухой» фильтрования, отсутствие промывных вод (в непромываемых фильтрах), конструктивная простота установки и высокая надежность делают этот метод весьма перспективным [13, 14, 16, 17].

В настоящее время метод обезжелезивания воды «сухой фильтрацией» остается недостаточно изученным, нет обобщающих исследований, поэтому он не нашел широкого применения. Приведенные в литературе сведения немногочисленны и относятся к частным случаям.

Материалы и методы исследований

Целью работы [18] являлось изучение эффективности обезжелезивания подземных вод альб-сеноманского водоносного горизонта методом «сухой фильтрации». Для достижения указанной цели на водозаборе № 5 (Южный) города Бреста была смонтирована экспериментальная установка (рисунки 1–3).

Альб-сеноманский водоносный горизонт [19] занимает обширную территорию Республики Беларусь (рисунк 4). По гидрохимическому типу воды относятся к гидрокарбонатно-кальциевым. Среди анионов преобладают гидрокарбонат-ионы (89...97 %), а катионов кальций и натрий соответственно (67...86 %) и (8...26 %). В небольших количествах присутствуют хлориды, сульфаты, силикаты, калий, магний. Общая минерализация колеблется от 250 до 430 мг/л. По всем показателям вода альб-сеноманский водоносного горизонта соответствует требованиям СанПиН 10-124 РБ 99 [20], за исключением содержания железа.

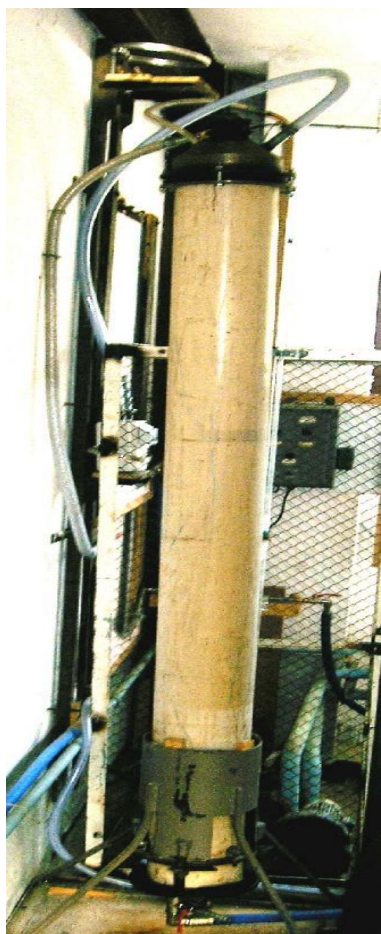


Рисунок 1 – Общий вид установки

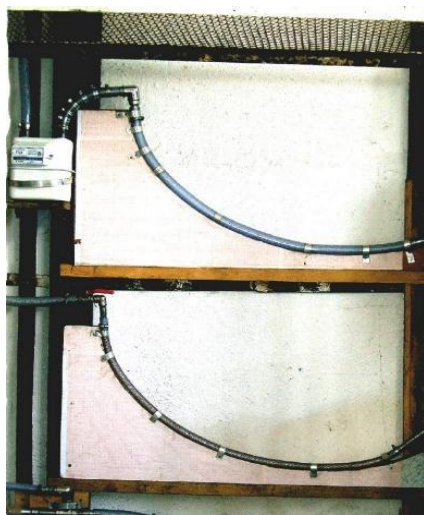


Рисунок 2 – Расходомеры воздуха и воды



Рисунок 3 – Воздуходувка

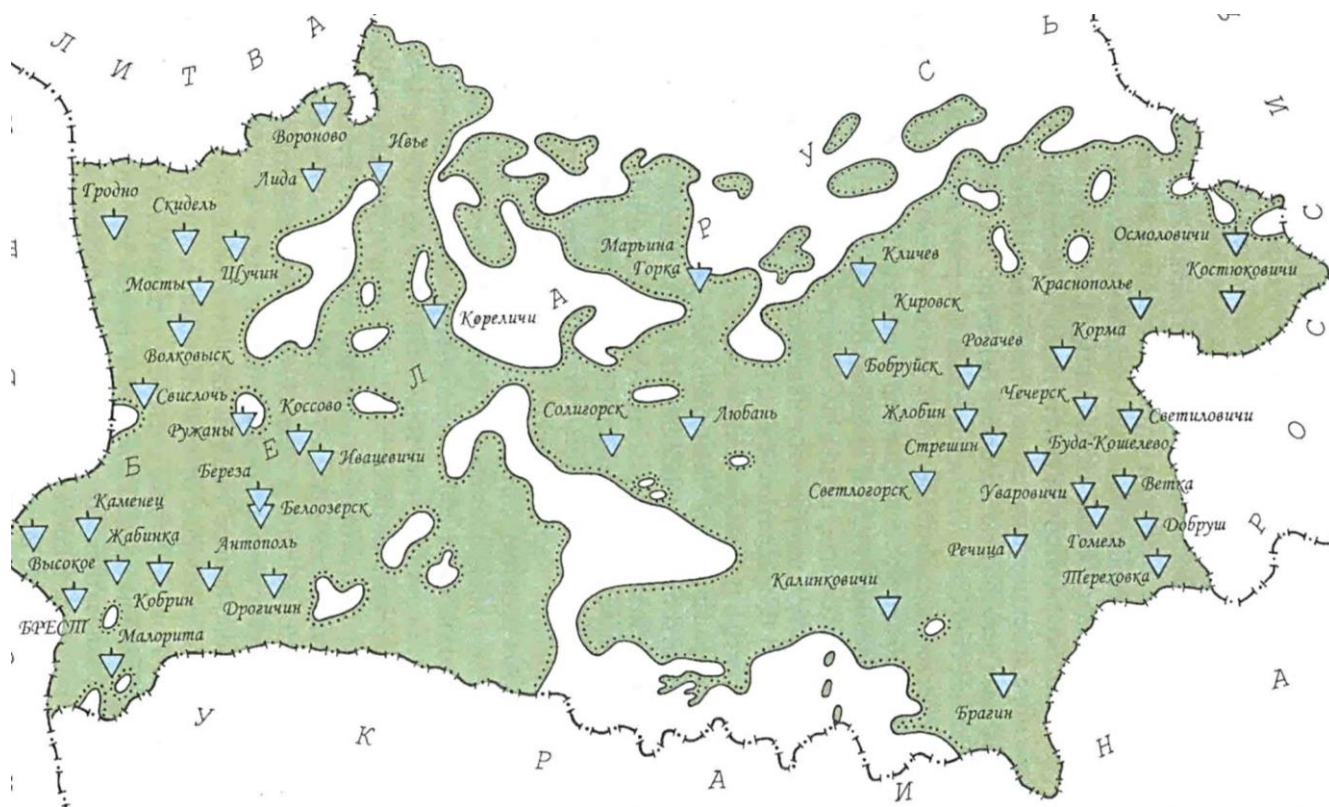


Рисунок 4 – Альб-сеноманский водоносный горизонт

Таблица 1 – Химический состав подземных вод альб-сеноманского горизонта

Компонент	Годы			
	1951–1966	1966–1967	1984–1986	1995
Сух. остаток при 110 °С, мг/л		170–270	260–310	270–280
Минерализация, мг/л		250–400	300–460	350–430
Гидрокарбонаты, мг/л	317–329	160–260	200–280	280–320
Сульфаты, мг/л	Нет	0–7	4–7	Нет
Хлориды, мг/л	4,9–6,0	3–9	6–15	5–7
Нитраты, мг/л	Нет	Нет	Следы	Нет
Нитриты, мг/л	Нет	Нет	Нет	Нет
Аммиак, мг/л	0,6–2,0	Нет	Нет – следы	1,0
Натрий, мг/л		10–20	8–20	8,4–10,8
Калий, мг/л		2–4	2–3	2,0–2,5
Кальций, мг/л		50–70	50–70	73–81
Магний, мг/л		3–6	4–6	2,7–4,0
Железо общее, мг/л	2,5–3,0	1,7–2,2	0,7–1,9	0,2–0,3
Жесткость общая, мг-экв/л	4,4–4,8	2,7–4,0	3,15–4,4	3,9–4,4
Водородный показатель, pH	7,2	7,2–7,3	7,0–7,5	6,8–7,0
Окисляемость, мг О ₂ /л	4,4–5,6	3–6	4–5	4,5–5
СО ₂ свободная, мг/л		0–4,4	4,4–8,8	8,8
Окись кремния, мг/л		5–10	11–15	10–12

Результаты исследования

В результате эксперимента, продолжавшегося непрерывно 18 месяцев, установлена высокая эффективность обезжелезивания подземной воды альб-сеноманского водоносного горизонта методом «сухой фильтрации». При фильтрующей загрузке из вспененного полистирола с параметрами: $d_{50} = 1,6$ мм коэффициентом неоднородности $K_n = d_{80}/d_{10} = 2,75$ и эквивалентном диаметре $d_{экв} = 2,8$ мм, скорости фильтрования 8 м/ч, достигался стабильный эффект обезжелезивания воды. При водовоздушном соотношении 1:3 остаточное содержание железа составляло не более 0,2 мг/л, а продолжительность фильтроцикла – 20 суток. Регламентирующим фактором, ограничивающим продолжительность фильтроцикла, являлись потери напора в фильтрующей загрузке, содержание железа в фильтрате при этом не превышало 0,3 мг/л. Для увеличения продолжительности фильтроцикла необходимо создать такие условия процесса, при которых в фильтре преобладали бы процессы каталитического окисления и сорбции, а не образование рыхлого и влажного гидроксида железа (III), с этой целью был разработан новый способ вспенивания полистирола в среде горячего зернистого материала. При термической обработке зерен полистирола в среде горячего зернистого материала (рисунки 5, 6) протекают два процесса – вспенивание полистирола и спекание зерен среды с гранулами. Регулируя температуру, продолжительность процесса, а также крупность и материал зернистой среды, можно получать вспененный полистирол с различными физическими свойствами.



Рисунок 5 – Зерна полистирола, вспененного горячей водой



Рисунок 6 – Зерна полистирола, вспененного в среде горячего зернистого материала

Полученный таким способом вспененный полистирол имеет высокую шероховатость. Адгезия оксидов железа значительно увеличилась, скорость зарядки загрузки увеличилась на порядок (рисунки 5, 6, 7).



Рисунок 7 – Зерна полистирола, вспененного в среде горячего зернистого материала и в горячей воде

На основании результатов, проведенных в производственных условиях, предлагается новая конструкция станции обезжелезивания подземной воды [21], в которой реализуется метод «сухой фильтрации», защищенной патентом на полезную модель. Задача, на решение которой направлена данная полезная модель, состоит в увеличении производительности станции обезжелезивания, уменьшении территории станции, уменьшении эксплуатационной и капитальных затрат, увеличение фильтроцикла фильтров обезжелезивания, достижение круглосуточной работы фильтров, упрощении эксплуатации станции.

Это достигается тем, что на станции обезжелезивания, состоящей из сухих фильтров, резервуаров чистой воды и насосной станции II-го подъема, сухие фильтры расположены на резервуарах чистой воды, а насосы второго подъема смонтированы в резервуарах чистой воды, и патрубок для отвода воздуха расположен ниже фильтрующего слоя (рисунок 8).

Технический результат при этом состоит в том, что:

1. Уменьшается территория станции обезжелезивания из-за компактного расположения сооружений.

2. Увеличивается фильтроцикл до 8...12 месяцев, вследствие того что патрубок для отвода воздуха располагается в нижней части сухих фильтров, что создает условия для образования плотной дегидратированной пленки соединений железа и приводит к малому приросту потерь напора при работе сухих фильтров, а следовательно – к увеличению фильтроцикла.

3. Отсутствуют промывные воды, так как загрузка в сухом фильтре после окончания фильтроцикла полностью заменяется.

4. Упрощается эксплуатация станции, так как не требуется промывка фильтров и обработка промывных вод.

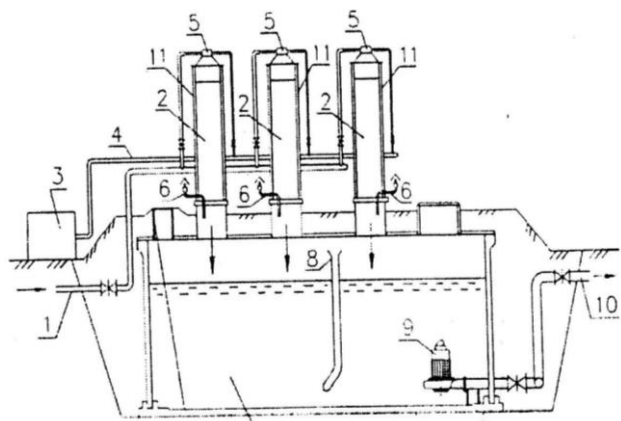


Рисунок 8 – Принципиальная схема станции обезжелезивания

Принципиальная схема станции обезжелезивания показана на рисунке 8, где обозначено: трубопровод подачи исходной воды – 1, сухие фильтры – 2, неотопляемое здание воздушной станции – 3, воздухопровод – 4, смесители – 5, патрубки для отвода воздуха – 6, резервуары чистой воды – 7, переливной трубопровод – 8, насосы II-го подъема – 9, напорные водоводы II-го подъема – 10, утеплитель – 11.

Станция обезжелезивания состоит из трубопровода подачи исходной воды 1, сухих фильтров 2, которые работают по методу «сухой» фильтрации и расположены на резервуарах чистой воды неотопляемого здания воздушной станции 3, построенного рядом с резервуарами чистой воды, воздухопроводов 4, смесителей 5, размещенных на сухих фильтрах, патрубков для отвода воздуха 6, которые расположены ниже фильтрующего слоя сухих фильтров, резервуаров чистой воды 7, переливных трубопроводов 8, находящихся в резервуарах чистой воды, насосов II-го подъема 9, смонтированных в резервуарах чистой воды, напорных водоводов II-го подъема 10, утеплителя 11.

Действует станция обезжелезивания следующим образом: по трубопроводу 1 исходная вода подается в смесители 5. От воздушной станции 3 воздух подается по воздухопроводам 4 в смесители 5, в которых происходит смешивание воздуха с водой. Далее водовоздушная смесь поступает в верхнюю часть сухих фильтров 2 и филь-

труется через незатопленную загрузку, поэтому их называют «сухими фильтрами». Воздух отводится из нижней части фильтров через патрубок для отвода воздуха 6, а фильтрат поступает в резервуары чистой воды 7. Далее насосами II-го подъема 9 вода подается по водоводам II-го подъема 10 потребителю. В резервуарах чистой воды устроены переливные трубопроводы 8, а сухие фильтры обернуты утеплителем 11.

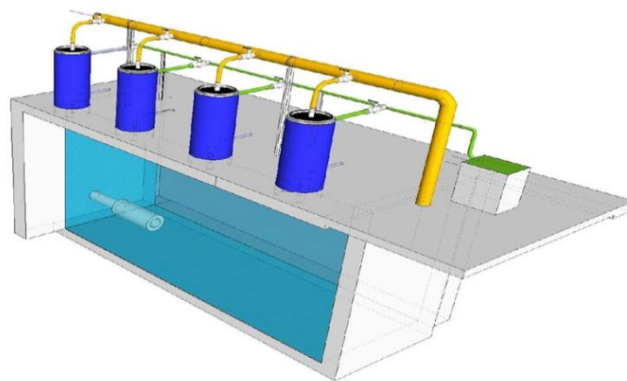


Рисунок 9 – Общий вид станции обезжелезивания

Технико-экономический эффект заключается в снижении капитальных и эксплуатационных затрат за счет отказа от строительства отапливаемых зданий фильтров и насосной станции II-го подъема, отказа от строительства сооружений для промывки фильтров и обработки промывных вод, а также за счет полной автоматизации станции обезжелезивания.

Заключение

1. В результате эксперимента, продолжавшегося непрерывно 18 месяцев, доказана высокая эффективность обезжелезивания подземной воды альб-сеноманского водоносного горизонта методом «сухой фильтрации».

2. При фильтрующей загрузке из вспененного полистирола с параметрами: $d_{50} = 1,6$ мм коэффициентом неоднородности $K_n = d_{80}/d_{10} = 2,75$ и эквивалентном диаметре $d_{экв.} = 2,8$ мм, скорости фильтрования 8 м/ч достигался стабильный эффект обезжелезивания воды.

3. При водовоздушном соотношении 1:3 остаточное содержание железа составляло не более 0,2 мг/л, а продолжительность фильтроцикла – 20 суток.

4. На основании результатов, экспериментов, проведенных в производственных условиях, предлагается новая, защищенная патентом на полезную модель, конструкция станции обезжелезивания подземной воды, в которой реализуется метод «сухой фильтрации».

Список цитированных источников

- О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2021 г. № 50 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100050> (дата обращения: 23.01.2025).
- Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: строительные нормы Республики Беларусь : СН 4.01.01-2019, ВУ. – Взамен ТКП 45-4.01-320-2018 (33020) ; введ. 09.07.2020. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – IV, 68 с.
- Станкявичюс, В. И. Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок) / В. И. Станкявичюс. – Вильнюс : Мокслас, 1978. – 120 с.
- Технические записки по проблемам воды: в 2-х т. / К. Барак, Ж. Бебен, Ж. Бернар [и др.] ; под ред. Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой. – М. : Стройиздат, 1983. – 609 с.
- Рапопорт, Я. Д. Применение водовоздушной промывки при обезжелезивании воды фильтрованием / Я. Д. Рапопорт, Ю. И. Татанов // Водоснабжение и санитарная техника. – № 8. – 1997. – С. 20–21.

6. Любарский, В. М. Осадки природных вод и методы их обработки / В. М. Любарский – М.: Стройиздат, 1980. – 128 с.
7. Мякишев, В. А. Сокращение потерь воды на сооружениях очистки поверхностных вод / В. А. Мякишев, Л. Д. Субботкин // Водоснабжение и санитарная техника. – № 8. – 2002. – С. 12–14.
8. Новиков, М. Г. Утилизация промывных вод фильтровальных сооружений на водоочистных станциях / М. Г. Новиков, Н. Г. Иванова, Л. П. Дмитриева // Вода и экология. – № 1. – 2000.
9. Румянцева, Л. П. Брызгальные установки для обезжелезивания воды / Л. П. Румянцева – М.: Стройиздат, 1973. – 104 с.
10. Шевченко, Л. Я. Утилизация осадков водопроводных станций / Л. Я. Шевченко // Водоснабжение и санитарная техника. – № 4. – 1985. – С. 21.
11. Белескова, Е. А. Об утилизации осадков, образующихся при обезжелезивании подземных вод / Е. А. Белескова, В. И. Айзенберг // Водные ресурсы. – 1979. – № 5. – С. 190.
12. Алферова, Л. И. Повторное использование промывных вод и утилизация осадка на станциях очистки подземных вод / Л. И. Алферова, Е. И. Курочкин, В. В. Дзюбо // Водоочистка. – № 6. – 2008. – С. 26–31.
13. Сукасян, Б. Д. Исследование процесса обезжелезивания подземных вод методом водовоздушного фильтрования: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Б. Д. Сукасян; инж. стороит. инст. им. В. В. Куйбышева – М., 1979. – 20 с.
14. Золотова, Е. Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
15. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – Киев: Вища школа, 1986. – 352 с.
16. Николадзе, Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. – М.: Стройиздат, 1978. – 161 с.
17. Старинский, В. П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 2908 "Водоснабжение, канализация, рациональное использование и охрана водных ресурсов" и 29.05 "Коммунальное строительство и хозяйство" / В. П. Старинский, Л. Г. Михайлик. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 269 с.
18. Житенев, Б. Н. Повышение эффективности обезжелезивания подземных вод альб-сеноманского водоносного горизонта «сухой фильтрацией» / Б. Н. Житенев, Г. О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2007. – № 2 (44). – С. 77–81.
19. Станкевич, Р. А. Артезианские воды Бреста и их использование: Природные условия, история освоения и пути прогресса / Р. А. Станкевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 184 с.
20. Санитарные правила и нормы СанПиН 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества // Сборник санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. – Минск, 2000. – С. 3–108. – Введ. 19.10.99.
21. Патент 2461 BY, МПК С 02F 3/10. Станция обезжелезивания: № u20050191 : заявлено 05.04.2005 : опубл. 17.10.2005 / Житенев Б. Н., Гуринович А. Д., Наумчик Г. О.; заявитель Брестский гос. техн. ун-т // Гос. реестр полезн. моделей.
22. Stankyavichyus, V. I. Obezhelezivanie vody fil'trovaniem (osnovy teorii i raschet ustanovok) / V. I. Stankyavichyus. – Vil'nyus : Moksas, 1978. – 120 s.
23. Tekhnicheskie zapiski po problemam vody: v 2-h t. / K. Barake, ZH. Beben, ZH. Bernar [i dr.] ; pod red. T. A. Karyuhinoy, I. N. CHurbanovoj. – M.: Strojizdat, 1983. – 609 s.
24. Rapoport, YA. D. Primenenie vodovozdushnoj promyvki pri obezhelezivanii vody fil'trovaniem / YA. D. Rapoport, YU. I. Tatanov // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – №8. –1997. – S. 20–21.
25. Lyubarskij, V. M. Osadki prirodnyh vod i metody ih obrabotki / V. M. Lyubarskij – M.: Strojizdat, 1980. – 128 s.
26. Myakishhev, V. A. Sokrashchenie poter' vody na sooruzheniyah ochistki poverhnostnyh vod / V. A. Myakishhev, L. D. Subbotkin // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – № 8. – 2002. – S. 12–14.
27. Novikov, M. G. Utilizaciya promyvnyh vod fil'troval'nyh sooruzhenij na vodoochistnyh stanciyah / M. G. Novikov, N. G. Ivanova, L. P. Dmitrieva // Voda i ekologiya. – № 1. – 2000.
28. Romyanceva, L. P. Bryzgal'nye ustanovki dlya obezhelezivaniya vody / L. P. Romyanceva – M.: Strojizdat, 1973. – 104 s.
29. SHevchenko, L. YA. Utilizaciya osadkov vodoprovodnyh stancij / L. YA. SHevchenko // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – № 4. – 1985. – S. 21.
30. Beleskova, E. A. Ob utilizacii osadkov, obrazuyushchihsysya pri obezhelezivanii podzemnyh vod / E. A. Beleskova, V. I. Ajzenberg // Vodnye resursy. – 1979. – № 5. – S. 190.
31. Alferova, L. I. Povtornoe ispol'zovanie promyvnyh vod i utilizaciya osadka na stanciyah ochistki podzemnyh vod / L. I. Alferova, E. I. Kurochkin, V. V. Dzyubo // Vodoochistka. – № 6. – 2008. – S. 26–31.
32. Sukasyan, B. D. Issledovanie processa obezhelezivaniya podzemnyh vod metodom vodovozdushnogo fil'trovaniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.04 / B. D. Sukasyan; inzh. storoit. inst. im. V.V. Kujbysheva – M., 1979. – 20 s.
33. Zolotova, E. F. Ochistka vody ot zheleza, marganca, fтора i serovodoroda. / E. F. Zolotova, G. YU. Ass. – M.: Strojizdat, 1975. – 176 s.
34. Kul'skij, L. A. Tekhnologiya ochistki prirodnyh vod / L. A. Kul'skij, P. P. Strokach. – Kiev: Vishcha shkola, 1986. – 352 s.
35. Nikoladze, G. I. Obezhelezivanie prirodnyh i oborotnyh vod / G. I. Nikoladze. – M.: Strojizdat, 1978. – 161 s.
36. Starinskij, V. P. Vodozabornye i ochistnye sooruzheniya kommunal'nyh vodoprovodov : uchebnoe posobie dlya studentov vuzov, obuchayushchihsya po special'nosti 2908 "Vodosnabzhenie, kanalizaciya, racional'noe ispol'zovanie i ohrana vodnyh resursov" i 29.05 "Kommunal'noe stroitel'stvo i hozyajstvo" / V. P. Starinskij, L. G. Mihajlik. – Minsk: Vyshejschaya shkola, 1989. – 269 s.
37. ZHitenev, B. N. Povyshenie effektivnosti obezhelezivaniya podzemnyh vod al'b-senoman'skogo vodonosnogo gorizonta «suhoy fil'traciej» / B. N. ZHitenev, G. O. Naumchik // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo i teploenergetika. – 2007. – № 2 (44). – S. 77–81.
38. Stankevich, R. A. Artezijskie vody Bresta i ih ispol'zovanie: Prirodnye usloviya, istoriya osvoeniya i puti progressa / R. A. Stankevich. – Mн.: Adukacyya i vyhavanne, 2004. – 184 s.
39. Sanitarnye pravila i normy SanPiN 10-124 RB 99. Pit'evaya voda. Gigenicheskie trebovaniya k kachestvu vody centralizovannyh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva // Sbornik sanitarnykh pravil i norm po pit'evomu vodosnabzheniyu / Ministerstvo zdavoohraneniya Respubliki Belarus'. – Minsk, 2000. – S. 3–108. – Vved. 19.10.99.
40. Patent 2461 BY, МПК С 02F 3/10. Stanciya obezhelezivaniya : № u20050191 : zayavleno 05.04.2005 : opubl. 17.10.2005 / ZHitenev B. N., Gurinovich A. D., Naumchik G. O. ; zayavitel' Brestskij gos. tekhn. un-t // Gos. reestr polezn. modelej.

References

1. O Gosudarstvennoj programme «Komfortnoe zhi'e i blagopriyatnaya sreda» na 2021–2025 gody : postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 28 yanvarya 2021 g. № 50 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100050> (data obrashcheniya: 23.01.2025).
2. Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya: stroitel'nye normy Respubliki Belarus' : SN 4.01.01-2019, BY. – Vzamen TKP 45-4.01-320-2018 (33020) ; vved. 09.07.2020. – Minsk : Minstrojarkhitektury, 2020. – IV, 68 s.

Материал поступил 28.02.2025, одобрен 09.03.2025, принят к публикации 14.03.2025