



Технико-экономическое обоснование проекта реконструкции станции водоподготовки

Е. Г. Матыс, А. А. Шкилева ✉, О. В. Сидоренко
Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация

✉ shkilevaa@tyuiu.ru

Аннотация. Представлен вариант реконструкции и технико-экономическое обоснование станции обезжелезивания подземной воды, расположенной на юге Тюменской области. Необходимость реконструкции обусловлена неудовлетворительным качеством воды, подаваемой потребителю, прежде всего по содержанию марганца. На основании анализа качественных показателей исходной и очищенной воды действующей станции выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на процессы очистки. В предложенных изменениях технологической схемы учтены особенности состава подземной воды, в частности, избыточное содержание растворенной углекислоты и, как следствие, низкие значения pH, опыт эксплуатации станций обезжелезивания региона и результаты лабораторных и полупроизводственных испытаний, проводимых на аналогичных объектах. Предложен реагентный способ удаления марганца с применением перманганата калия в качестве окислителя. Для обеспечения необходимой степени снижения концентрации углекислоты и повышения pH рекомендовано заменить аэрационную систему с вакуумно-эжекционной на барботаж в слое загрузки. Проект реконструкции не требует увеличения объемов сооружений, технологические расчеты выполнены при максимальном использовании возможностей существующей станции. Технико-экономическое обоснование включает определение капитальных и эксплуатационных затрат, а также расчет увеличения себестоимости подачи воды. Проведена оценка коммерческой эффективности проекта реконструкции, показавшая целесообразность его осуществления.

Ключевые слова: качество питьевой воды, технология очистки воды, сметная стоимость, эксплуатационные затраты, оценка коммерческой эффективности

Для цитирования: Матыс Е. Г., Шкилева А. А., Сидоренко О. В. Технико-экономическое обоснование проекта реконструкции станции водоподготовки. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):55–67. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-55-67>

Feasibility study for the reconstruction of a water treatment plant

Elena G. Matys, Anna A. Shkileva ✉, Olga V. Sidorenko
Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

✉ shkilevaa@tyuiu.ru

Abstract. This article presents a reconstruction plan for an underground water deferrization station in southern of Tyumen Oblast, including a feasibility study. The reconstruction is necessary due to unsatisfactory water quality delivered to consumers, primarily high manganese content. Analysis of the initial and treated

water quality from the existing plant revealed key factors affecting the treatment processes. The proposed technological modifications consider the groundwater's unique composition, in particular, the high dissolved carbon dioxide leading to low pH, along with the operational experience of region deferrization stations and results from laboratory and pilot-scale testing at similar facilities. The proposed solution uses a reagent method for manganese removal, employing potassium permanganate as an oxidant. To reduce carbon dioxide concentration and increase pH, the study recommends replacing the aeration system from vacuum-ejector to barbotage in the loading layer. The reconstruction does not require an increased facility size. Technological calculations take into account maximum use of the existing station. The feasibility study determined capital and operating costs, and calculated the increase in water supply costs. The assessment of reconstruction efficiency demonstrated its economic viability.

Keywords: drinking water quality, water treatment technology, estimated cost, operating costs, commercial efficiency assessment

For citation: E. G. Matys, Shkileva A. A., Sidorenko O. V. Feasibility study for the reconstruction of a water treatment plant. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):55–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-55-67>



1. Введение

Ввиду быстрых темпов урбанизации и изменения климата вопросы обеспечения безопасности и повышения эффективности хозяйственно-питьевого водоснабжения приобрели особую актуальность. Качество питьевой воды, поставляемой потребителю, зависит от многих факторов: качества воды в источнике водоснабжения, используемых процессов водоподготовки, степени изношенности водопроводной сети, режима водопотребления и пр. Вода централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения должна соответствовать требованиям СанПиН 1.2.3685-21¹ по органолептическим, химическим и микробиологическим показателям, т. е. не должна содержать токсичных веществ, тяжелых металлов, излишков минералов и органических веществ, а также болезнетворных микроорганизмов и радиоактивных элементов.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения применяют поверхностные и подземные воды, однако отчетливо прослеживается тенденция к использованию преимущественно подземных вод – до 100 % во многих европейских странах, от 50 до 75 % в США, Китае. В России доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении достаточно высока (около 45 %). Это объясняется главным образом высокой природной защищенностью подземных вод от естественных и техногенных загрязнений, перед которыми поверхностные водные объекты практически беззащитны [1].

На территории юга Тюменской области сосредоточены большие запасы водных ресурсов, включающие поверхностные и подземные воды, но в связи с неравномерностью их распределения отдельные районы испытывают сложности с водообеспечением. Подземные воды относятся к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну, в пределах которого наиболее значимым и надежным источником водоснабжения является Куртамышский водоносный горизонт [2]. За счет подземных вод данного горизонта осуществляется централизованное водоснабжение большей части районных центров и поселков юга Тюменской области и частично г. Тюмени (Велижанский водозабор). По составу воды Куртамышского водоносного горизонта относятся к гидрокарбонатным кальциевым, по

¹ СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утверждены постановлением главного государственного врача Российской Федерации. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8> (дата обращения: 14.06.2024).

жесткости изменяются от мягких до умеренно жестких. Для подземных вод характерны повышенное содержание железа ($1.5\text{--}6.0\text{ мг/дм}^3$), марганца (до 2 мг/дм^3), аммония ($2\text{--}6\text{ мг/дм}^3$), растворенных газов (сероводорода, уголекислоты), присутствие комплексных органических соединений, обусловленное влиянием заболоченных территорий и торфяников [3].

Превышение предельно допустимых концентраций по ряду показателей (в основном по содержанию железа и марганца) ограничивает непосредственное использование подземных вод для питьевых целей и требует строительства водоочистных станций. Многие водопроводные очистные сооружения, работающие на подземной воде, на территории Тюменской области были введены в эксплуатацию в 60–70-х гг. прошлого века по схеме обезжелезивания упрощенной аэрации. Ужесточение нормативных требований к качеству воды и неучет ряда показателей исходной воды при проектировании привели к тому, что ранее построенные станции в настоящее время не удовлетворяют современным требованиям СанПиН 1.2.3685-21 и подлежат реконструкции. В случае значительного изменения производительности станций требуется строительство новых.

В 2019 г. в Российской Федерации стартовал национальный проект «Чистая вода» со сроком реализации до 25 декабря 2025 г. и бюджетом в 245 млрд рублей. Целью проекта является повышение качества питьевой воды для населения России, в частности, посредством модернизации систем водоснабжения и водоподготовки с использованием перспективных технологий, включая технологии, разработанные организациями оборонно-промышленного комплекса [4]. При принятии решения о реконструкции и/или модернизации станций очистки воды должен учитываться ряд требований. Новая технология должна быть максимально близка к существующей, что ускорит процесс ее внедрения, значительно облегчит работу персонала и обеспечит надежную эксплуатацию. Стоимость дооборудования существующей станции не должна приводить к значительному (более чем на 10–15 %) увеличению себестоимости очистки воды. Внедрение новой технологии должно быть направлено не только на устранение всего комплекса загрязнений, но и на стабилизацию воды, т. е. снижение ее коррозионной активности с целью увеличения срока службы водопроводных сетей и исключения вторичного загрязнения воды в процессе транспортировки.

В рамках реализации данного проекта было предложено провести технико-экономическое обоснование реконструкции станции обезжелезивания подземной воды, расположенной на юге Тюменской области. Выбор технологии очистки подземной воды основывался на результатах исследований, проводимых на подземной воде Тюменского региона, с учетом отечественного и зарубежного опыта [5–10]. Присутствие в подземной воде повышенной концентрации растворенной уголекислоты требует внедрения предварительной активной аэрации [11], а низкие значения pH и Eh (окислительно-восстановительного потенциала) не позволяют устранить избыток марганца безреагентными методами [5, 12]. Введение реагентов-окислителей, обладающих более высокой, чем кислород, окислительной способностью, обеспечивает требуемое снижение концентрации марганца, а результаты исследований ряда авторов [5, 13, 14] показали высокую эффективность применения в качестве окислителя перманганата калия.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являлась станция обезжелезивания подземной воды населенного пункта численностью 20 тысяч человек, находящегося на юге Тюменской области.

Технико-экономическое обоснование реконструкции станции обезжелезивания осуществлялось в пять этапов (рис. 1). На первом этапе проводился анализ качества подземной воды и воды, прошедшей очистку, для оценки эффективности применяемой на станции технологической схемы. Неудовлетворительные результаты качества очищенной воды по некоторым показателям явились основанием к разработке предложений по изменению технологии очистки воды (на основе ранее проведенных исследований на аналогичных объектах [15]) и выполнению расчетов основных элементов станции, подлежащих реконструкции. Далее были определены капитальные затраты на реконструкцию, оказывающие непо-

средственное влияние на увеличение себестоимости выпускаемой продукции, эксплуатационные затраты на содержание системы водоснабжения, и выполнен расчет увеличения себестоимости подачи воды. На заключительном этапе проведена оценка коммерческой эффективности проекта реконструкции.

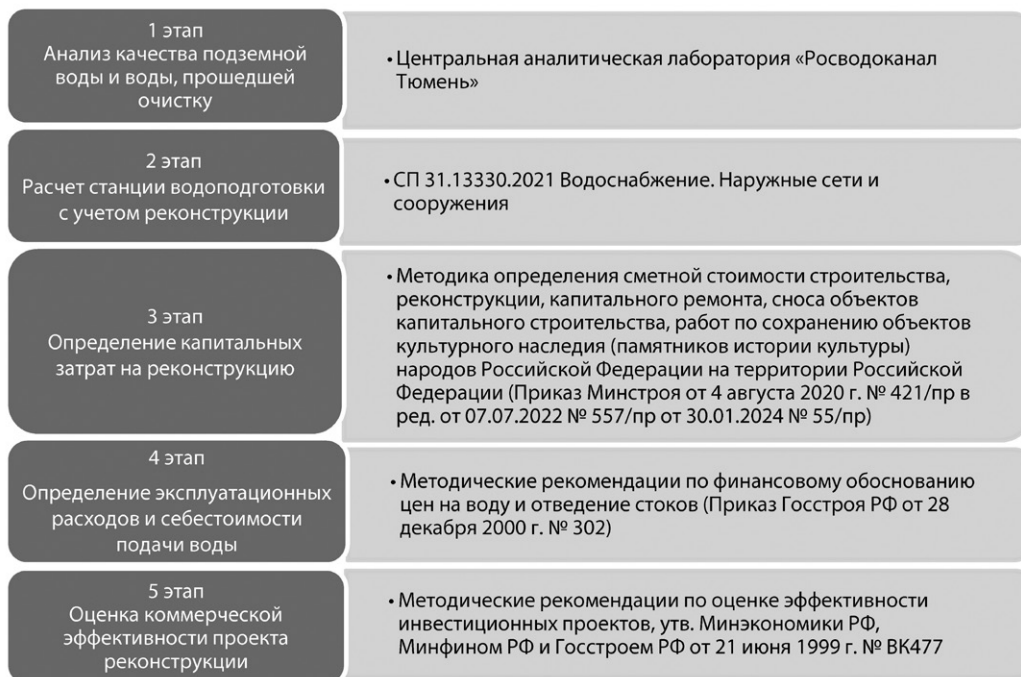


Рис. 1. Этапы технико-экономического обоснования проекта реконструкции (схема составлена авторами)

Fig. 1. Feasibility study stages for the reconstruction project (diagram developed by the authors)

3. Результаты и обсуждение

Станция обезжелезивания предназначена для очистки подземной воды, подаваемой в систему хозяйственно-питьевого водоснабжения поселка. Перечень контролируемых показателей качества для систем водоснабжения приводится в СанПиН 2.1.3684-21², в соответствии с документом безопасность и безвредность воды для питьевых целей определяется по органолептическим, микробиологическим показателям и ее химическому составу.

В таблице 1 приведены показатели качества исходной подземной воды за период 2019–2023 гг. в сравнении с допустимыми значениями, установленными СанПиН 2.1.3684-21.

Исходная подземная вода не удовлетворяет требованиям СанПиН 1.2.3685-21 по следующим показателям: мутность, общее железо, марганец.

Превышение предельно допустимых значений в среднем составляет:

- по мутности в 4.5 раза,
- по содержанию общего железа в 14 раз,
- по содержанию марганца в 6 раз.

² СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8> (дата обращения: 14.06.2024).

Таблица 1. Показатели качества подземной воды до очистки, 2019–2023 гг.
Table 1. Groundwater quality indicators before treatment, 2019–2023

Контролируемые показатели	Норматив по СанПиН, не более	Среднее значение показателя по годам				
		2019	2020	2021	2022	2023
Запах, балл	2	2	2	2	2	2
Цветность, град.	20	12	15	11	10	10
Привкус, балл	2	3	2	3	3	3
Мутность (по каолину), мг/дм ³	1.5	9.1	8.7	8.9	9.1	9.2
Нитраты, мг/ дм ³	45	0.44	0.35	0.42	0.38	0.44
pH-среды, единицы pH	6–9	6.61	6.83	7.1	6.95	6.58
Жесткость общая, мг-экв/ дм ³	7.0	4.9	5.1	5.3	5.1	4.9
Окисляемость перманганатная, мгО/дм ³	5.0	1.8	2.0	2.2	1.9	1.8
Нитриты, мг/ дм ³	3.0	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003
Кремний, мг/дм ³	20	14	13	12	14	14
Аммоний-ион, мг/дм ³	2.0	0.91	0.85	0.87	0.89	0.9
Железо общее, мг/дм ³	0.3	4.1	4.3	4.2	4.1	4.0
Марганец, мг/ дм ³	0.1	0.66	0.59	0.61	0.62	0.60

Приведенные значения в целом свойственны подземным водам Западно-Сибирского региона. Кроме того, подземная вода характеризуется высоким содержанием CO₂ – 60–90 мг/дм³. В СанПиН 2.1.3684-21 данный показатель не нормируется, но для целей обезжелезивания при упрощенной аэрации СП 31.13330.2021³ рекомендует содержание растворенной углекислоты не более 40 мг/дм³. Согласно МДК 3-02-2001⁴, в процессе эксплуатации сооружений по обезжелезиванию и деманганации воды рекомендуется осуществлять контроль за полнотой процесса удаления из воды CO₂ и насыщением ее кислородом воздуха на стадии предварительной аэрации.

Проектная производительность рассматриваемой станции – 7 500 м³/сут, фактическая максимальная суточная производительность – 4 775 м³/сут, что связано с реализацией программ в области энерго- и ресурсосбережения. Существующая технологическая схема очистки природной воды включает предварительную аэрацию-дегазацию с последующим фильтрованием на скорых безнапорных фильтрах и обеззараживание (рис. 2). Вода от скважин насосами подается на станцию обезжелезивания, где установлен дополнительный насос, обеспечивающий необходимый напор для подачи воды на эжекторы. Эжекторы располагаются над карманами скорых фильтров и предназначены для насыщения воды кислородом и удаления растворенных газов. Подготовленная вода поступает на восемь скорых фильтров, загруженных кварцевым песком. В толще загрузки фильтра происходит окисление ионов двухвалентного железа и задержание образующихся соединений. При этом на зернах фильтрующего слоя одновременно происходят реакции окисления и гидролиза.

Очищенная вода поступает в резервуары чистой воды (РЧВ). Обеззараживание осуществляется хлорированием, хлорная вода подается в трубопровод перед РЧВ. Из резервуаров чистой воды насосами второго подъема вода подается потребителю.

³ СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/728474306> (дата обращения: 14.06.2024).

⁴ МДК 3-02-2001 Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200025707> (дата обращения: 14.06.2024).

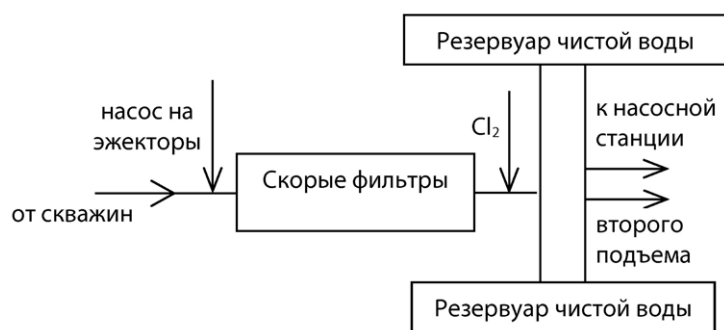


Рис. 2. Существующая технологическая схема очистки воды (схема составлена авторами)
 Fig. 2. Current water treatment scheme (diagram developed by the authors)

Основные показатели качества воды после очистки представлены в таблице 2. Анализ показал, что существующая технологическая схема направлена на удаление железа, но не обеспечивает требуемого снижения содержания марганца. Опираясь на исследования, проведенные на аналогичных объектах [12, 15–18], для обеспечения качества воды в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 было предложено внести изменения в технологию очистки воды, реконструкцию станции обезжелезивания провести с учетом максимального использования возможностей существующих сооружений.

Таблица 2. Основные показатели качества воды после очистки, 2019–2023 гг.
 Table 2. Main water quality indicators after treatment, 2019–2023

Контролируемые показатели	Норма ПДК, по СанПиН	Среднее значение показателя по годам				
		2019	2020	2021	2022	2023
Цветность, град.	20	8	6	7	6	6
Мутность (по каолину), мг/дм ³	1.5	1.5	1	1.6	1.2	1
pH среды, единицы pH	6–9	7.05	7.11	7.16	7.06	7.02
Окисляемость перманганатная, мгО/дм ³	5.0	1.7	1.87	2.05	1.77	1.7
Железо общее, мг/ дм ³	0.3	0.12	0.14	0.13	0.12	0.1
Марганец, мг/ дм ³	0.1	0.23	0.18	0.26	0.31	0.24

Растворенная в воде углекислота удерживает железо и марганец в состоянии раствора. Предварительная аэрация предназначена для насыщения подземной воды кислородом и удаления растворенной углекислоты с целью повышения pH. Для определения концентрации CO₂ в подземной воде и сравнения методов ее удаления был проведен эксперимент непосредственно на месте отбора проб, описанный в [15], который показал, что использование вакуумно-эжекционного оборудования обеспечивает удаление не более 50 % углекислоты, а pH системы увеличивается незначительно – до 7.0–7.2. При таких показателях процесс обезжелезивания может происходить в достаточно полной степени, но для эффективного окисления марганца кислородом необходимо, чтобы значение pH очищаемой воды было на уровне 9.5–10.0. Введение реагентов-окислителей, таких как перманганат калия, хлор, озон, позволяет удалять марганец при меньших значениях pH, равных 8.0–8.5 [12].

В связи с этим предлагается замена вакуумно-эжекционного метода аэрации-дегазации на барботаж в свободном объеме с интенсивностью подачи воздуха не менее 5 м³/м³, а для снижения концентрации марганца – дозирование в обрабатываемую воду перманганата калия [12].

В рамках реконструкции станции водоподготовки принята следующая технологическая схема очистки воды (рис. 3). Вода от скважин насосами подается на станцию обезжелезивания в дегазатор барботажного типа, где происходит удаление избыточной углекислоты и частичное окисление двухвалентного железа. Далее вода самотеком поступает в контактный резервуар, перед которым

осуществляется дозированное введение перманганата калия. Из контактного резервуара вода насосами подается на скорые фильтры.

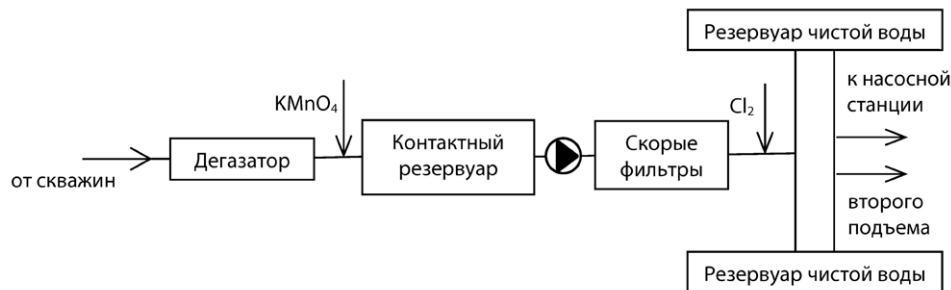


Рис. 3. Технологическая схема очистки воды в рамках реконструкции (схема составлена авторами)
 Fig. 3. Water treatment scheme following reconstruction (diagram developed by the authors)

Рассмотрены два варианта конструкции дегазаторов, согласно методике, представленной в [16]. Среднее содержание углекислоты в исходной воде составляет 90 мг/дм³. Производительность станции 208.3 м³/ч.

Барботажный дегазатор

Объем барботажного дегазатора рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{M}{\beta v \cdot \Delta C}, \quad (1)$$

$$M = Q \cdot (CO_{2нач} - CO_{2кон}), \quad (2)$$

где M – количество десорбируемого газа в единицу времени, кг/ч;

βv – объемный коэффициент десорбции, м/ч;

ΔC – движущая сила процесса десорбции, кг/м³;

Q – производительность дегазатора, м³/ч;

$CO_{2нач}$ – концентрация углекислоты в исходной воде, кг/м³;

$CO_{2кон}$ – концентрация углекислоты после дегазатора, кг/м³.

Согласно исследованиям [16], максимальный эффект удаления углекислоты в барботажном дегазаторе при продолжительности продувки $t = 30$ мин. и удельном расходе воздуха $q_{уд} = 10$ м³/м³ составляет 60 %, концентрация углекислоты в воде после дегазатора 36 мг/дм³. Количество удаляемого газа составило 11.25 кг/час.

Движущая сила процесса десорбции определяется по формуле:

$$\Delta C = \frac{CO_{2нач} - CO_{2кон}}{2.32 \lg \frac{CO_{2нач}}{CO_{2кон}}}. \quad (3)$$

В результате расчета $\Delta C = 0.058$ кг/м³.

При принятых параметрах работы дегазатора объемный коэффициент десорбции равен $\beta v = 3.3$ м/ч [16].

Объем барботажного дегазатора составил 58.8 м³.

Барботажный дегазатор с гравийной загрузкой

Расчет барботажного дегазатора с гравийной загрузкой производился согласно методике, представленной в [16].

Приняты следующие параметры гравийного дегазатора:

- средний диаметр загрузки $d_{cp} = 15$ мм = 0.015 м;

- высота слоя загрузки $h_3 = 1$ м;
 - продолжительность продувки $t = 0.17$ ч (10 мин.);
 - удельный расход воздуха $q_{y\partial} = 5$ м³/м³.
- Содержание углекислоты в воде после дегазатора рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} CO_{2\text{кон}} = & 80.04 - 1755.64 d_{cp} - 0.72 q_{y\partial} - 339.57 t + \\ & + 8.9 h_3 + 1321.87 d_{cp} t + 763.39 t^2 + 23.14 t h_3 - 16.12 h_3^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив в формулу (4) принятые значения, получили 23.5 мг/дм³.
Количество удаляемого газа определялось по формуле (2) и составило 13.85 кг/ч.
Средняя движущая сила определена по формуле (3) и составила 0.05495 кг/м³.
Объем гравийного дегазатора определялся по формуле:

$$V = \frac{F}{f}, \quad (5)$$

где F – площадь поверхности загрузки, м²;
 f – удельная поверхность загрузки.

Для загрузки средним диаметром 15 мм удельная поверхность $f = 272$ м²/м³ [11].

$$F = \frac{M}{\beta \cdot \Delta C}, \quad (6)$$

где β – объемный коэффициент десорбции, $\beta = 0.029$ м/ч [12].
Объем гравийного дегазатора составил 35.5 м³.

Проведенные расчеты показали, что целесообразно принять к проектированию барботажный дегазатор с гравийной загрузкой, обеспечивающий необходимое снижение содержания углекислоты (до 23.5 мг/дм³) при меньшем объеме сооружения (в 1.6 раза) и меньшем расходе воздуха (в 2 раза).

Учитывая значительное снижение производительности станции и размеры существующих фильтров, под дегазатор было предложено переоборудовать один скорый фильтр. Для подачи воздуха в дегазатор подобрана воздуходувка DT/60/102//DN100 компании LUTOS (1 рабочая и 1 резервная) (страна-производитель – Чехия).

Под контактный резервуар предложено переоборудовать еще один скорый фильтр, так как фактические размеры сооружения позволяют обеспечить 10-минутный контакт воды с вводимым реагентом. Перед резервуаром в трубу подается раствор перманганата калия, доза которого составляет 2 мг/дм³. Для приготовления раствора перманганата калия предусматриваются реагентные блоки периодического действия РБГ-2/100МТ. Реагент подается в трубопровод дозирующим насосом Etatron DLX-MA/AD (страна-производитель – Италия).

Подача воды на скорые фильтры осуществляется насосом Vandjord NBV 150-214-2.2/6 (страна-производитель – Россия). Предусматриваются один рабочий и один резервный насосы. Насосы устанавливаются на первом этаже фильтровального зала на место демонтируемого насоса Д 320-50.

При реконструкции станции два из существующих фильтров переоборудованы под дегазатор и контактную камеру, в работе остаются 6 скорых фильтров, их суммарная площадь составляет 80.64 м².

В рамках реконструкции устраивается водо-воздушная промывка фильтров, при использовании которой объем воды сокращается на 40 %. Следовательно, объема бака водонапорной башни может хватать на промывку двух фильтров и в два раза сокращается время работы насосов К90/55а, подающих воду в водонапорную башню.

Также выполнен расчет распределительной системы фильтров с учетом изменения режима промывки (таблица 3), определены диаметры внутриванционных трубопроводов (таблица 4).

Таблица 3. Сравнение расчетных и проектных показателей на станции водоподготовки
Table 3. Comparison of calculated and design parameters at the water treatment plant

Показатель	Проектный (до реконструкции)	Расчетный (после реконструкции)
Максимальная суточная производительность, м ³ /сут.	7 500	5 000
Необходимое количество фильтров	8	6
Трубчатый дренаж большого сопротивления:		
Расход промывной воды, м ³ /с	0.215	0.11
Скорость движения промывной воды в коллекторе, м/с	1.7	0.9
Диаметр коллектора, мм	400	400
Расход на одно ответвление, м ³ /с	0.006	0.0032
Скорость движения промывной воды в ответвлениях, м/с	1.2	1.6
Диаметр ответвлений, мм	80	50
Количество ответвлений, шт.	36	34
Потери напора в распределительной системе, м	2.03	3.27

Таблица 4. Диаметры внутриванционных трубопроводов
Table 4. Plant piping internal diameters

Наименование трубы	Расход, л/с	Скорость, м/с	Диаметр, мм
Труба, подающая исходную воду к дегазатору	58	0.76	300
Переливная труба дегазатора			100
Отводящая труба от дегазатора на контактный резервуар	58	0.76	300
Трубопровод отвода воды с контактного резервуара	58	0.76	300

Для определения затрат на осуществление работ по реконструкции станции водоподготовки составлена ведомость объемов работ, которая включает:

- демонтаж существующих трубопроводов, тройников, задвижек и оборудования;
- строительные работы по устройству трубопроводов, задвижек, затворов, тройников;
- монтаж насосного оборудования, блока для приготовления растворов химических реагентов, воздуходувки.

В соответствии с Методикой определения сметной стоимости строительства⁵, были составлены: локальный сметный расчет на демонтажные работы, локальный сметный расчет на строительные работы и монтаж оборудования, а также объектный сметный расчет на реконструкцию станции водоподготовки. Сметная стоимость реконструкции станции водоподготовки в ценах 2024 г., согласно расчету, составила 7 253.95 тыс. рублей.

Результаты расчета дополнительных эксплуатационных затрат в соответствии с Методическими рекомендациями по финансовому обоснованию цен на воду и отведению стоков⁶ представлены в таблице 5.

⁵ Методика определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/565649004> (дата обращения: 14.06.2024).

⁶ Методические рекомендации по финансовому обоснованию цен на воду и отведение стоков. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200039665> (дата обращения: 14.06.2024).

Таблица 5. Дополнительная себестоимость подачи воды после реконструкции
Table 5. Additional cost of water supply after reconstruction

Статьи расходов	Годовые расходы, тыс. руб.	Изменение себестоимости подачи воды, руб./м ³
Амортизационные отчисления	631.88	+ 0.40
Затраты на ремонт	63.22	
Сэкономленные затраты на электроэнергию	1 425.31	
Затраты на реагенты	2 761.85	
Сэкономленные затраты на промывку фильтров	1 292.33	
Всего дополнительных годовых эксплуатационных затрат	739.31	

Расчеты показали, что себестоимость подачи 1 м³ воды увеличилась на 40 копеек.

В соответствии с Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов⁷, для оценки коммерческой эффективности использованы следующие показатели:

1. Чистая дисконтированная стоимость:

$$ЧДС = \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1+q)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+q)^t}, \quad (7)$$

где R_t – результаты, достигнутые на t -м шаге расчета,

Z_t – текущие затраты, осуществляемые на том же шаге,

K_t – капиталовложения на t -м шаге расчета,

T – горизонт расчета,

t – номер шага расчета,

q – норма дисконта, которая для инвестора должна соответствовать норме дохода на капитал.

2. Индекс доходности:

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1+q)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+q)^t}}. \quad (8)$$

3. Срок окупаемости:

$$T_{ок} = t(-) + \frac{D(t(-))}{D(t(-)) - D(t(+))}, \quad (9)$$

где $t(-)$ – период, в котором совокупный накопленный доход по проекту был отрицательным в последний раз,

$D(t(-))$ – последний отрицательный совокупный накопленный доход по проекту,

$D(t(+))$ – первый положительный совокупный накопленный доход по проекту.

Были получены следующие показатели эффективности проекта реконструкции станции водоподготовки:

- чистая дисконтированная стоимость – 5 183.81 тыс. руб.,
- индекс доходности 1.48,
- срок окупаемости 11 месяцев.

⁷ Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200005634> (дата обращения: 14.06.2024).

Проект реконструкции станции водоподготовки является не только эффективным с коммерческой точки зрения, но и социально значимым, так как соответствует национальной стратегии развития РФ в рамках повышения качества питьевой воды для населения России.

4. Заключение

Результатом исследования стало технико-экономическое обоснование проекта реконструкции станции водоподготовки на примере населенного пункта, находящегося на юге Тюменской области.

Качество подземной воды не удовлетворяло требованиям СанПиН 1.2.3685-21 по показателям мутности, общего железа, марганца. Существующая технологическая схема очистки воды не обеспечивала снижения содержания марганца до нормативных требований. Предложен вариант реконструкции станции водоподготовки, не требующий увеличения объемов существующих сооружений. Технологические расчеты выполнены при условии максимального использования возможностей существующей станции. Для обеспечения необходимой степени снижения концентрации углекислоты и повышения pH рекомендовано заменить аэрационную систему с вакуумно-эжекционной на барботаж в слое загрузки. Удаление марганца предложено осуществлять путем введения в контактный резервуар перед скорыми фильтрами перманганата калия.

Определены объемы работ по реконструкции, составлена сметная документация. Сметная стоимость реконструкции станции водоподготовки составила 7 253.95 тыс. рублей. Дополнительные капитальные вложения увеличивают эксплуатационные затраты и, следовательно, себестоимость выпускаемой продукции или оказываемых услуг. Расчеты показали, что себестоимость подачи 1 м³ воды после реконструкции станции увеличится на 40 копеек. Оценка коммерческой эффективности проекта подтвердила эффективность реализации проекта. Чистая дисконтированная стоимость составила 5183.81 тыс. руб., индекс доходности – 1.48, срок окупаемости – 11 месяцев.

Хотелось бы отметить, что проект реконструкции соответствует исполнению Указа Президента РФ № 309 от 7 мая 2024 г. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» в части пункта «строительство и реконструкция (модернизация) не менее чем 2 тыс. объектов питьевого водоснабжения и водоподготовки к 2030 году».



Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Author contributions. All authors contributed equally to preparing the publication.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Штенгелов Р. С., Филимонова Е. А., Маслов А. А. Питьевая вода – драгоценное полезное ископаемое. *Природа*. 2010;(10):38–46. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16857424>.
2. Матусевич В. М., Смоленцев Ю. К. Гидрогеологические структуры Западно-Сибирской плиты. В сб.: *Пресные и маломинерализованные воды Западной Сибири*. Тюмень: Тюменский индустриальный институт им. Ленинского комсомола; 1989. С. 4–17.
3. Крайнов С. В., Швец В. М. *Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения*. Москва: Недра; 1987. 237 с. Режим доступа: <https://reallib.org/reader?file=1479788&pg=3>.
4. Матыс Е. Г. Экономическое обоснование проекта обеспечения чистой водой г. Мегион. *Экономика и предпринимательство*. 2020;(11):500–503. <https://doi.org/10.34925/EIP.2020.124.11.092>
5. Elsheikh M., Guirguis H., Fathy A. Removal of iron and manganese from groundwater: a study of using potassium permanganate and sedimentation. In: *MATEC Web of Conferences*. 2018;162:05018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816205018>
6. Elsheikh M., Guirguis H., Fathy A. A comparative study of methods used for Fe and Mn oxidation and removal from groundwater. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2016;63(4):277–292. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/326990940>.

7. Roccaro P., Barone C., Mancini G., Vagliasindi F. G. A. Removal of manganese from water supplies intended for human consumption: a case study. *Desalination*. 2007;210(1-3):205–214. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.045>
8. Khadse G. K., Patni P. M., Labhasetwar P. K. Removal of iron and manganese from drinking water supply. *Sustainable Water Resources Management*. 2015;1(2):157–165. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0017-4>
9. Селюков А. В., Рахимов В. В. Реконструкция станции очистки подземных вод г. Ноябрьска (ЯНАО). *Водоснабжение и санитарная техника*. 2020;(2):4–7. <https://doi.org/10.35776/MNP.2020.02.01>
10. Селюков А. В., Байкова И. С. Обезжелезивание-деманганация подземных вод водозабора «Северный» г. Ханты-Мансийска. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2012;(2):15–18. Режим доступа: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2012/2012-2>.
11. Mohd Sanusi A, Adlan M. N., Mohd Remy Rozainy M. A. Z., Jamil R. Removal of Iron and Manganese Using Cascade Aerator and Limestone Roughing Filter. *Materials Science Forum*. 2016;857:509–13. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.857.509>
12. Золотова Е. Ф., Асс Г. Ю. *Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода*. Москва: Стройиздат; 1975. 176 с. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12945>.
13. Civardi J., Tompeck M. *Iron and Manganese Removal Handbook*. 2nd edition. American Water Works Association; 2015.
14. Phatai P., Wittayakun J., Chen W.-H., Morales Futralan C., Grisdanurak N., Kan Ch.-Ch. Removal of manganese (II) and iron (II) from synthetic groundwater using potassium permanganate. *Desalination and Water Treatment*. 2014;52:5942–5951. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.819150>
15. Сидоренко О. В., Шкилева А. А., Смирнова Е. С. Сравнение методов удаления углекислоты из подземной воды (на примере станции обезжелезивания п. Боровский). В сб.: *Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке*. Т. I. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2017. С. 264–270.
16. Жулин А. Г., Сидоренко О. В. *Дегазаторы угольной кислоты подземных вод*. Тюмень: ТюмГАСУ; 2016. 114 с.
17. Aleksandrova N. N., Shkileva A. A., Popov V. V. Comparison of reconstruction options for water supply network of small village. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;753(3):42–56. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/753/4/042056>
18. Жулин А. Г., Сидоренко О. В., Белова Л. В. Технологические схемы обезжелезивания подземных вод Тюменского региона. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2023;(3):61–71. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-3-61-71>

References

1. Shtengelov R. S., Filimonova E. A., Maslov A. A. Drinking water – a precious treasure of the soil. *Priroda*. 2010;(10):38–46. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16857424>.
2. Matushevich V. M., Smolencev Yu. K. Hydrogeological structures of the West Siberian Plate. In: *Presnye i malomineralizovannye vody Zapadnoj Sibiri = Fresh and low-mineralized waters of Western Siberia*. Tyumen: Tyumen Industrial Institute named after Lenin Komsomol; 1989. P. 4–17. (In Russ.)
3. Krajnov S. V., Shvec V. M. *Geochemistry of groundwater for domestic and drinking purposes*. Moscow: Nedra; 1987. (In Russ.) Available at: <https://reallib.org/reader?file=1479788&pg=3>.
4. Matys E. G. Economic feasibility study of a project to provide clean water to Megion. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2020;(11):500–503. <https://doi.org/10.34925/EIP.2020.124.11.092>
5. Elsheikh M., Guirguis H., Fathy A. Removal of iron and manganese from groundwater: a study of using potassium permanganate and sedimentation. In: *MATEC Web of Conferences*. 2018;162:05018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816205018>
6. Elsheikh M., Guirguis H., Fathy A. A comparative study of methods used for Fe and Mn oxidation and removal from groundwater. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2016;63(4):277–292. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/326990940>.
7. Roccaro P., Barone C., Mancini G., Vagliasindi F. G. A. Removal of manganese from water supplies intended for human consumption: a case study. *Desalination*. 2007;210(1-3):205–214. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.045>
8. Khadse G. K., Patni P. M., Labhasetwar P. K. Removal of iron and manganese from drinking water supply. *Sustainable Water Resources Management*. 2015;1(2):157–165. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0017-4>
9. Seliukov A., Rakhimov V. Reconstruction of the ground water treatment plant in Noyabrsk (Yamal-Nenets Autonomous Okrug). *Water Supply and Sanitary Technique*. 2020;(2):4–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.35776/MNP.2020.02.01>
10. Seliukov A., Baikova I. Deironing-demanganation of ground waters at the Severny intake facilities of Khanty-Mansiysk. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2012;(2):15–18. Available at: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2012/2012-2>.

11. Mohd Sanusi A., Adlan M. N., Mohd Remy Rozainy M. A. Z., Jamil R. Removal of Iron and Manganese Using Cascade Aerator and Limestone Roughing Filter. *Materials Science Forum*. 2016;857:509–13. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.857.509>
12. Zolotova E. F., Ass G. Yu. *Water purification from iron, manganese, fluorine and hydrogen sulfide*. Moscow: Strojizdat; 1975. (In Russ.) Available at: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12945>.
13. Civardi J., Tompeck M. *Iron and Manganese Removal Handbook*. 2nd edition. American Water Works Association; 2015.
14. Phatai P., Wittayakun J., Chen W.-H., Morales Futralan C., Grisdanurak N., Kan Ch.-Ch. Removal of manganese (II) and iron (II) from synthetic groundwater using potassium permanganate. *Desalination and Water Treatment*. 2014;52:5942–5951. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.819150>
15. Sidorenko O. V., Shkileva A. A., Smirnova Ye. S. Comparison of methods of carbon dioxide removal from Groundwater (on the example of Borovsky deferrization station). In: *Problemy upravleniya rechnymi basseynami pri osvoenii Sibiri i Arktiki v kontekste global'nogo izmeneniya klimata planety v XXI veke = Problems of management of river basins in the development of Siberia and the Arctic in the context of global change of the planet's climate in the XXI century. Issue I*. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2017. P. 264–270. (In Russ.)
16. Zhulin A. G., Sidorenko O. V. *Groundwater carbonic acid degassers*. Tyumen: Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering; 2016. (In Russ.)
17. Aleksandrova N. N., Shkileva A. A., Popov V. V. Comparison of reconstruction options for water supply network of small village. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;753(3):42–56. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/753/4/042056>
18. Zhulin A. G., Sidorenko O. V., Belova L. V. Technological schemes for deferrization of groundwater in the Tyumen region. *Architecture, Construction, Transport*. 2023;(3):61–71. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-3-61-71>



Информация об авторах

Матыс Елена Геннадьевна, канд. экон. наук, доцент, заведующая кафедрой управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, matyseg@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4136-0632>

Шкилева Анна Александровна, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, shkilevaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4883-8350>

Сидоренко Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, sidorenkoov@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3177-3025>

Information about the authors

Elena G. Matys, Cand. Sci. (Economic), Associate Professor, Head of the Department of Construction Management and Housing and Communal Services, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, matyseg@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4136-0632>

Anna A. Shkileva, Cand. Sci. (Economic), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Construction Management and Housing and Communal Services, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, shkilevaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4883-8350>

Olga V. Sidorenko, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, sidorenkoov@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3177-3025>

Получена 24 июня 2024 г., одобрена 11 ноября 2024 г., принята к публикации 03 декабря 2024 г.

Received 24 June 2024, Approved 11 November 2024, Accepted for publication 03 December 2024