

УДК 628.113

© П. В. Маслеников, старший мастер, магистрант

© Ю. А. Феофанов, д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: ufeofanov@rambler.ru

© Н. А. Черников, д-р техн. наук, профессор

(Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: nika_pgups@mail.ru

© В. В. Шабалин, д-р биол. наук, доцент

© В. П. Верхотуров, канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: vvshabalin@mail.ru, wladw@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2026-23-3-142-152

© P. V. Maslenikov, senior foreman, undergraduate

© Yu. A. Feofanov, Dr. Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: ufeofanov@rambler.ru

© N. A. Chernikov, Dr. Sci. Tech., Professor

(Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: nika_pgups@mail.ru

© V. V. Shabalin, Dr. Sci. Bio., Associate Professor

© V. P. Verkhoturov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: vvshabalin@mail.ru, wladw@mail.ru

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ВОДОЗАБОРНЫХ ФИЛЬТР-ОГОЛОВКОВ НА ПРИМЕРЕ ГЛАВНОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СТАНЦИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

ANALYSIS OF CLEANING METHODS OF WATER INTAKE FILTER HEADS ON THE EXAMPLE OF THE MAIN WATER SUPPLY STATION OF ST. PETERSBURG

Выполнен сравнительный анализ эффективности методов очистки щелевых фильтр-оголовков водозаборных сооружений Главной водопроводной станции Санкт-Петербурга. Исследование основано на обработке архивных данных АСУ ТП, а также сведений эксплуатационных журналов за 2025 г. Рассмотрены основные методы очистки: продувка, промывка обратным током и механическая очистка водолазами. Оценка эффективности проведена на основе анализа изменения уровня воды в переливных камерах и частоты проведения очистных мероприятий. Выяснено, что разная эффективность методов обусловлена процессами кольматации фильтрующих элементов, приводящими к снижению их проницаемости и увеличению гидравлического сопротивления. Установлено, что промывка обратным током дает кратковременный эффект и требует частого повторения (до 1 раза в сутки в зимний период), тогда как продувка позволяет увеличить продолжительность работы без очистки до 6–30 сут. Наиболее длительный эффект дает механическая очистка, однако это самый затратный в эксплуатации метод. Полученные результаты позволяют обосновать выбор оптимальной стратегии обслуживания водозаборных оголовков с учетом как технической, так и экономической эффективности.

Ключевые слова: щелевой фильтр-оголовок, водозаборные сооружения, продувка, промывка обратным током, кольматация, энергоэффективность.

There has been carried out a comparative analysis of the efficiency of cleaning methods for slot-type filter heads of water intake structures at the Main water supply station of St. Petersburg. The study is based on the processing of archival data from the automated process control system, as well as data in operational logs for 2025. The main cleaning methods considered include air blowing, backwashing, and mechanical cleaning performed by divers. The efficiency assessment was conducted based on the analysis of water level variations in overflow chambers and the frequency of cleaning operations. It has been established that differences in the efficiency of the methods are caused by mud grouting processes of filter elements, leading to a decrease in their permeability and an increase in hydraulic resistance. It has been established, that backwashing provides only

a short-term effect and requires frequent repetition (up to once per day during the winter period), whereas air blowing increases the duration of operation without cleaning to 6–30 days. The longest-lasting effect is achieved by mechanical cleaning; however, this method is associated with the highest operational costs. The results obtained make it possible to justify the selection of an optimal maintenance strategy for water intake heads, taking into account both technical and economic efficiency.

Keywords: slot-type filter heads, water intake structures, air blowing, backwashing, mud grouting, power efficiency.

Введение

Надежная работа водозаборных сооружений является одним из ключевых факторов обеспечения устойчивого водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов [1]. Внешний и внутренний вид насосной станции I подъема представлен на рис. 1. Важным элементом таких сооружений являются щелевые фильтр-оголовки, которые в процессе эксплуатации непосредственно взаимодействуют с природной водной средой и подвержены загрязнению и заиливанию. Накопление механических примесей, развитие биообрастаний и образование химических отложений приводят к снижению проницаемости фильтрующих элементов и увеличению гидравлического сопротивления, что в конечном итоге снижает эффективность работы водозабора [2].

В научных исследованиях отмечается, что ухудшение работы фильтр-оголовков связано с процессами коагуляции, требующими проведения мероприятий по восстановлению их фильтрующей способности [3]. В практике эксплуатации водозаборных со-

оружений применяются различные методы очистки оголовков, включая продувку, промывку обратным током и механическую очистку с привлечением водолазов [4]. Указанные методы различаются по степени воздействия на загрязнения, продолжительности достигаемого эффекта и экономическим затратам.

Несмотря на широкое применение данных методов, вопрос их сравнительной эффективности в реальных условиях эксплуатации остается недостаточно изученным. В частности, требуется оценка продолжительности сохраняемого эффекта после проведения очистки и частоты повторного выполнения технологических операций.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ эффективности методов очистки щелевых фильтр-оголовков на основе данных эксплуатационного контроля. Для достижения поставленной цели решаются задачи по анализу динамики уровня воды в переливных камерах, определению характерных откликов системы на различные методы очистки, а также оценке их эксплуатационной и экономической эффективности.



Рис. 1. Новая насосная станция I подъема

1. Материалы и методы

Материалом послужили данные эксплуатационного контроля работы водозаборных сооружений Главной водопроводной станции Санкт-Петербурга за период 2025 г.

Исследование проводилось на двух параллельно работающих переливных камерах № 2 и № 3 Главной водопроводной станции. Конструкции камер и установленных щелевых фильтр-оголовков являются идентичными по геометрическим и эксплуатационным характеристикам. В процессе эксплуатации камеры работают в сопоставимых гидравлических условиях, что позволяет использовать результаты наблюдений для сравнительного анализа эффективности различных методов очистки [5]. В ряде случаев очистные мероприятия выполнялись разными способами на разных камерах, что обеспечивало возможность корректного сопоставления эксплуатационных эффектов.

В работе использованы числовые значения уровня воды, полученные с погружных датчиков уровня типа ATM/N фирмы STS Sensors, установленных в переливных камерах № 2 и 3. Внешний вид датчика представлен на рис. 2.

Данные извлекались из архивов серверов автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). В качестве контролируемых параметров в рамках исследования рассматривались уровни воды в переливных камерах № 2 и 3. Пример



Рис. 2. Погружной датчик уровня типа ATM/N фирмы STS Sensors

визуализации параметров в системе АСУ ТП приведен на рис. 3.

На основании архивных данных формировались временные ряды изменения уровня воды в переливных камерах. Полученные значения обрабатывались и использовались для построения графиков, отражающих динамику уровня. Фрагмент архивных данных с указанием применяемых технологических мероприятий по очистке щелевых фильтр-оголовков приведен на рис. 4. Даты проведения технологических мероприятий по очистке щелевых фильтр-оголовков (продувка, промывка обратным током и механическая очистка водолазами) определялись по данным ежесменных технологических журналов эксплуатации.

Сопоставление графиков уровня с временными отметками проведения очистных операций позволило оценить характер гидравлического отклика системы, а также продолжительность эффекта от различных методов очистки. Дополнительно проводился анализ частоты выполнения технологических операций в различные периоды эксплуатации, что позволило выполнить сравнительную оценку их эффективности.

2. Методы очистки щелевых фильтр-оголовков на примере Главной водопроводной станции Санкт-Петербурга

Проблема эксплуатации щелевых водозаборных оголовков ГВС Санкт-Петербурга является характерным примером вызовов, стоящих перед водохозяйственным комплексом современных мегаполисов. В настоящее время на ГВС применяется три вида очистки фильтр-оголовка.

2.1. Воздушная очистка щелевого фильтр-оголовка

Для подачи сжатого воздуха к оголовкам и осуществления процесса воздушной очистки установлены две группы компрессоров с ресиверами. Сжатый воздух от компрессоров поступает в воздухосборники и при достижении заданного давления

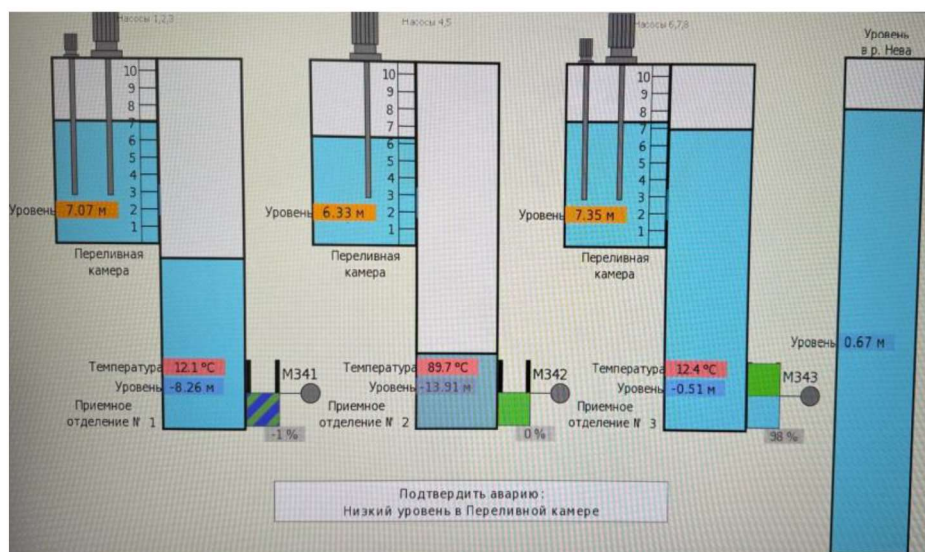


Рис. 3. Интерфейс АСУ ТП с отображением уровней воды в переливных камерах и параметров работы системы в реальном времени

(11 бар) по трубопроводам сжатого воздуха поступает в перфорированные распределительные трубы, расположенные в щелевых фильтр-оголовках. Далее пузырьки воздуха проходят через фильтрующие элементы оголовков, увлекая за собой приставшие загрязнения [6].

2.2. Водяная промывка щелевого фильтр-оголовка

Водяная промывка щелевого фильтр-оголовка обратным током основана на изменении направления движения воды через фильтр-оголовки. В обычном режиме вода проходит через щели снаружи внутрь, и на их поверхности постепенно накапливаются частицы песка, ила и других загрязнений, которые уменьшают проходимость фильтр-оголовка [7].

При обратной промывке вода под давлением подается изнутри фильтр-оголовка наружу, то есть в противоположном направлении. Этот поток создает силы, которые разрушают и разрыхляют слой отложений в щелях и на их поверхности. Частицы отрываются от металла или другого материала фильтр-оголовка и выносятся потоком воды наружу. За счет этого щели освобождаются

Дата и время	Уровень в переливной камере № 2, м	Режим работы фильтр-оголовка
27.01.2025 1:01	6,89	Рабочий режим
27.01.2025 10:01	6,85	Рабочий режим
27.01.2025 10:41	8,32	Промывка обратным током
27.01.2025 14:51	7,23	восстановление уровня
27.01.2025 21:31	7,14	Рабочий режим
28.01.2025 14:51	7,03	Рабочий режим
28.01.2025 17:51	6,94	Рабочий режим
29.01.2025 3:01	6,72	Рабочий режим
29.01.2025 9:11	6,64	Промывка обратным током
29.01.2025 9:41	9,12	Восстановление уровня
29.01.2025 23:01	7,06	Рабочий режим
29.01.2025 23:51	7,1	Рабочий режим
30.01.2025 9:01	6,29	Рабочий режим
30.01.2025 9:51	5,85	Рабочий режим
30.01.2025 11:11	8,96	Промывка обратным током
30.01.2025 19:01	7,11	Восстановление уровня
31.01.2025 1:31	7,12	Рабочий режим
31.01.2025 5:01	5,25	Рабочий режим
31.01.2025 5:31	5,16	Рабочий режим
31.01.2025 10:21	5,16	Рабочий режим
31.01.2025 11:01	8,76	Промывка обратным током
31.01.2025 15:01	7,15	Восстановление уровня
31.01.2025 15:41	7,15	Рабочий режим
31.01.2025 15:51	7,12	Рабочий режим
01.02.2025 0:41	7,06	Рабочий режим
01.02.2025 1:01	7,09	Рабочий режим
01.02.2025 1:11	7,1	Рабочий режим
01.02.2025 1:21	7,1	Рабочий режим
01.02.2025 8:22	7,43	Рабочий режим
01.02.2025 11:02	7,29	Рабочий режим
01.02.2025 11:12	7,29	Рабочий режим
01.02.2025 11:22	8,51	Промывка обратным током
02.02.2025 7:02	7,53	Восстановление уровня
02.02.2025 17:02	7,03	Рабочий режим

Рис. 4. Архивные данные величины уровня переливной камеры № 2

ся, их пропускная способность восстанавливается, а гидравлическое сопротивление уменьшается [8].

2.3. Механическая очистка щелевого фильтр-оголовка

Механическая очистка щелевого фильтр-оголовка основана на физическом удалении загрязнений с поверхности и из щелей фильтр-оголовка с помощью инструмента или контактного воздействия. В отличие от обратной промывки здесь не поток воды выполняет основную работу, а внешнее механическое усилие.

В процессе эксплуатации в щелях и на поверхности фильтр-оголовка накапливаются плотные отложения — песок, ил, продукты коррозии или биопленки, которые могут прочно удерживаться и не удаляться потоком воды. При механической очистке в зону фильтр-оголовка спускаются водолазы со специальными приспособлениями — например, щетками, скребками, ершами или поршневыми устройствами. Они проводят механическую очистку, перемещаясь вдоль фильтр-оголовка и непосредственно контактируя с его поверхностью [9].

3. Анализ эффективности методов очистки щелевых фильтр-оголовков

3.1. Сравнение эффективности промывки обратным током и воздушной продувки щелевого фильтр-оголовка в зимний период времени

На рис. 5 представлены графики изменения уровня воды в переливной камере № 2 после проведения промывки обратным током либо продувки фильтр-оголовка в зимний период.

По результатам анализа этих графиков можно отметить различия в характере и эффективности применяемых методов очистки оголовка.

В интервале с 28.01 по 01.02.2025 проведено пять промывок обратным током — 27.01.2025, 29.01.2025, 30.01.2025, 31.01.2025, 01.02.2025 (рис. 5, а). Каждое воздействие со-

провождается заметными скачками уровня, что подтверждает интенсивное гидравлическое влияние на фильтр-оголовок. Однако столь высокая частота операций (фактически ежедневное вмешательство) свидетельствует о быстром снижении эффекта от промывки и необходимости ее регулярного повторения.

В период с 20.02 по 03.03.2025 при эксплуатации с применением продувки (рис. 5, б) выполнено всего две операции — 21.02 и 03.03. При этом между вмешательствами система сохраняет работоспособное состояние, что свидетельствует о более продолжительном эффекте от данного метода.

Сопоставление данных показывает, что несмотря на более выраженное кратковременное воздействие при промывке обратным током, ее результат носит недолговременный характер. Продувка в свою очередь обеспечивает более редкую потребность в обслуживании и позволяет увеличить интервалы между вмешательствами.

Таким образом, в зимний период продувка фильтр-оголовка демонстрирует большую эксплуатационную целесообразность, обеспечивая снижение частоты обслуживания при сохранении стабильной работы системы [10].

3.2. Сравнение эффективности промывки обратным током и воздушной продувки щелевого фильтр-оголовка в летний период времени

На рис. 6 представлены графики изменения уровня воды в переливной камере № 2 после проведения промывки обратным током и продувки фильтр-оголовка в летний период, и по ним выполнен сравнительный анализ эффективности этих методов.

При промывке обратным током (рис. 6, а) в период с 23.06 по 30.06.2025 выполнено три операции — 23.06.2025, 27.06.2025, 30.06.2025, которые сопровождаются выраженными пиковыми изменениями уровня воды. Высокая частота вмешательств (три



Рис. 5. Графики изменения уровня воды в переливной камере № 2 в зимний период: а — после проведения промывки обратным током; б — после проведения продувки

раза за семь суток) указывает на кратковременность эффекта. При продувке (рис. 6, б) в период с 30.07 по 28.08.2025 после последней продувки 31.07.2025 выполнена одна операция 27.08.2025, при этом уровень воды сохранялся в рабочем диапазоне без необходимости повторного вмешательства. Это свидетельствует о более продолжительном эффекте продувки. Таким образом, в рассматриваемый период продувка показала более высокую эксплуатационную эффективность по сравнению с промывкой обратным током [11].

3.3. Сравнение эффективности промывки оголовка обратным током и воздушной продувки щелевого фильтр-оголовка в осенний период времени

На рис. 7 представлены графики изменения уровня воды в переливной камере № 3 после проведения промывки обратным током и продувки фильтр-оголовка в осенний период.

Анализ графиков показал, что промывка щелевого фильтр-оголовка обратным током (рис. 7, а) сопровождается выраженными пиковыми изменениями уровня воды, свидетельствующими о значительном гидравлическом воздействии на фильтрующую поверхность [12]. В период с 24.11 по 27.11.2025 было выполнено две промывки — 24.11.2025 и 26.11.2025, при этом интервал между вмешательствами составил около двух суток. В то же время при использовании продувки (рис. 7, б) в период с 30.10 по 25.11.2025 была выполнена одна операция — 24.11.2025, а межсервисный интервал с момента предыдущей продувки (31.10.2025) составил около 25 суток. Таким образом, несмотря на более выраженный кратковременный эффект, обратная промывка уступает продувке по продолжительности межсервисного периода. В рассматриваемых условиях продувка является более эффективным спо-



Рис. 6. Графики изменения уровня воды в переливной камере № 2 в летний период: а — после проведения промывки обратным током; б — после проведения продувки

сособом обслуживания щелевого фильтр-оголовка [13].

3.4. Анализ эффективности механической очистки фильтр-оголовка в осенний период времени

На рис. 8 представлен график изменения уровня воды в переливной камере № 2 после проведения механической чистки фильтр-оголовка в осенний период.

После механической чистки наблюдается длительный период работы системы без необходимости повторного вмешательства. Уровень воды сохраняется в рабочем диапазоне без выраженных пиков, характерных для продувки и промывки, что указывает на снижение гидравлического сопротивления фильтр-оголовка.

От момента механической очистки 30.10.2025 до первой последующей про-

мывки 22.11.2025 проходит значительно более продолжительный период по сравнению с обратной промывкой и сопоставимый либо превышающий интервал после продувки. Это свидетельствует о более глубоком удалении загрязнений, включая плотные и застарелые отложения. Однако данный метод является наиболее дорогостоящим и не может применяться регулярно. Таким образом, механическая чистка водозаборными характеристиками характеризуется длительным последующим эффектом и обеспечивает максимальную продолжительность межсервисного периода [14].

4. Итоговое сравнение методов с учетом экономических факторов

В результате анализа данных эксплуатационного контроля установлено, что различные методы очистки щелевых фильтр-



Рис. 7. Графики изменения уровня воды в переливной камере № 3 в осенний период: а — после проведения промывки обратным током; б — после проведения продувки

оголовков существенно отличаются по продолжительности сохраняемого эффекта и частоте необходимого повторного вмешательства.

Наименее эффективным по длительности действия оказался метод промывки обратным током. В летний период (23.06–30.06.2025) было зафиксировано три промывки за 7 суток, что соответствует среднему интервалу между операциями около 2–3 суток. В зимний период (28.01–01.02.2025) выполнено пять промывок за 5 суток, то есть фактически с периодичностью один раз в сутки. Это указывает на кратковременный эффект, требующий частого повторения [15].

Продувка оголовка показала значительно более продолжительный результат. В летний период (30.07–28.08.2025) выполнена одна операция за 30 суток, в зимний период (20.02–03.03.2025) — две операции за 12 су-

ток, что соответствует интервалу 6–30 дней. В среднем продувка обеспечивает увеличение продолжительности работы без повторной очистки в 10–15 раз по сравнению с промывкой обратным током.

Наиболее продолжительный эффект достигается при механической очистке оголовка водолазами. По результатам наблюдений, после ее проведения система функционирует без необходимости очистки до момента первой последующей промывки, при этом количество операций в месяц не превышает 1–2. Это позволяет говорить о том, что механическая очистка обеспечивает увеличение продолжительности работы по сравнению с обратной промывкой более чем в 10–20 раз, а по сравнению с продувкой — в среднем в 1,5–3 раза.

Сравнительный анализ энергозатрат показал существенное различие в стоимости проведения операций. При продувке



Рис. 8. График изменения уровня воды после механической чистки фильтр-оголовка в осенний период

используются два ресивера мощностью 18,6 и 22,6 кВт (в сумме — 41,2 кВт), которые работают в течение 5 ч для накопления воздуха, а также система обогрева ($3 \times 2,5 \text{ кВт} = 7,5 \text{ кВт}$). Общая установленная мощность составляет около 48,7 кВт. При продолжительности работы 5 ч суммарное энергопотребление составляет порядка 243 кВт · ч. С учетом стоимости электроэнергии 6 руб./кВт · ч затраты на одну продувку составляют примерно 1450 руб.

Для промывки обратным током используется насос мощностью 340 кВт. За время работы около 3 ч на наполнение и дополнительно ~20 мин на промывку общее время составляет порядка 3,3 ч. Энергопотребление в этом случае составляет около 1120 кВт · ч. При стоимости электроэнергии¹ 8 руб./кВт · ч затраты на одну промывку составляют примерно 9000 руб. Дополнительно следует учитывать расход воды до 1500 м³ на одну операцию, что увеличивает эксплуатационные затраты. Компрессоры и насосные агрегаты запитаны от разных распределительных устройств, соответственно ставки на электроэнергию могут различаться в зависимости от потребления оборудования.

¹ Компрессоры и насосные агрегаты запитаны от разных распределительных устройств, соответственно, ставки на электроэнергию могут различаться в зависимости от потребления оборудования.

Таким образом, стоимость одной промывки обратным током превышает стоимость продувки примерно в 6 раз, при этом частота ее выполнения значительно выше. С учетом этого суммарные эксплуатационные затраты на промывку остаются существенно выше затрат на продувку.

Вывод

С учетом экономических факторов установлено, что наиболее затратным методом является механическая очистка водолазами, далее следует промывка обратным током, а наименее затратным способом является продувка. Таким образом, при выборе оптимального способа очистки целесообразно учитывать не только продолжительность эффекта, но и соотношение затрат и достигнутого результата. В рассматриваемых условиях наиболее рациональным является применение продувки как основного метода, с периодическим использованием механической очистки при значительном загрязнении фильтр-оголовка.

Библиографический список

1. Верстов В. В., Копанский А. Г. Пути совершенствования технологических решений устройства водозаборных скважин, пробуренных на мелкозернистые и пылеватые пески // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 2 (37). С. 104–109.
2. Кирпиченко Н. А. Эксплуатационные проблемы на водозаборах из поверхностных водоисточников // Города России: проблемы строительства, инженерно-

го обеспечения, благоустройства и экологии: сб. ст. XX Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 19–20 апреля 2018 г. Пенза: Пензенский гос. аграрный ун-т, 2018. С. 52–55. EDN XMKFJB.

3. Ноздратенко С. А., Акульшин А. А., Переверзева В. С., Акульшин А. А. Виды кольматации скважин // Поколение будущего: взгляд молодых ученых — 2015: сб. науч. ст. 4-й Междунар. молодежной науч. конф. В 4 т. Курск, 19–20 ноября 2015 г. / отв. ред. А. А. Горюхов. Т. 3. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2015. С. 163–165. EDN VAXPFF.

4. Цымбалов А. А. Декольматация водозаборных скважин: исследование, инновации, практика. Саратов: КУБиК, 2021. 56 с. ISBN 978-5-91818-826-2.

5. Ивашечкин В. В., Медведева Ю. А., Кондратович А. Н., Сацута Е. С. Основы расчета и проектирования двухколонных двухфилтровых водозаборных скважин // Наука и техника. 2021. Т. 20, № 5. С. 410–419. DOI 10.21122/2227-1031-2021-20-5-410-419. EDN ANLREE.

6. Пат. 2676738, Российская Федерация, МПК E02B 9/04, E02B 8/08. Способ предотвращения биообращения на водозаборах / Н. И. Стоянов, М. Ю. Калининченко. № 2018103614, заявл. 30.01.2018; опубл. 10.01.2019. EDN ZDVYWL.

7. Houben G. Review: Hydraulics of water wells — flow laws and influence of geometry // Hydrogeology Journal. 2015. Vol. 23 (8). Pp. 1659–1675. DOI 10.1007/s10040-015-1314-8.

8. Houben G., Wachenhausen J., Guevara Morel C. R. Effects of ageing on the hydraulics of water wells and the influence of non-Darcy flow // Hydrogeology Journal. 2018. Vol. 26 (24). Pp. 1285–1294. DOI 10.1007/s10040-018-1790-2.

9. Цымбалов А. А. Ремонтно-восстановительные работы по декольматации скважин-кандидатов технологией ВИГДОС-СИЦА // Булатовские чтения. 2022. Т. 1. С. 324–327. EDN FVPDSN.

10. Заносова В. И. Техническое состояние водозаборных скважин и причины снижения их производительности // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. Горно-Алтайск, 8–11 июня 2017 г. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский гос. ун-т, 2017. С. 334–338. EDN ZNIWEN.

11. Верстов В. В., Гайдо А. Н., Туркевич Я. А. Совершенствование технологических схем и параметров извлечения грунта при погружении опускных колодцев // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 5 (70). С. 84–93.

12. Мельникова Т. В., Диденко В. Г., Юркив Н. И. Разработка биополимерных буровых растворов для

строительства водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 2. С. 72–75. EDN OPUJJR.

13. Субботин Ю. В., Якимов А. А. Совершенствование технологии очистки карьерных вод на объектах россыпной золотодобычи // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: сб. ст. Чита, 27–30 ноября 2017 г. Т. 1. Чита: Забайкальский государственный ун-т, 2017. С. 186–194. EDN YLXYQS.

14. Иванников В. И. Кольматация и декольматация призабойной зоны пласта в скважинах // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 4. С. 56–60. EDN NQXUXT.

15. Цымбалов А. А. Контаминация околоскважинных водонасыщенных сред: терминология и применимость // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: сб. материалов 4-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Улан-Удэ, 17–20 августа 2020 г. Улан-Удэ: Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2020. С. 274–277. DOI 10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-274-277. EDN ZWOEQU.

References

1. Verstov V. V., Kopanskiy A. G. *Puti sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh resheniy ustroystva vodozabornykh skvazhin, proburenykh na melkozemnyye i pylevatyie peski* [The ways for improving technological solutions for the arrangement of water wells drilled into fine-grained and dusty sands]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2013, no. 2 (37), pp. 104–109.

2. Kirpichenko N. A. *Ekspluatatsionnye problemy na vodozaborakh iz poverkhnostnykh vodoistochnikov* [Operational problems at water intakes from surface water sources]. *Goroda Rossii: problemy stroitel'stva, inzhenernogo obespecheniya, blagoustroystva i ekologii. Trudy XX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Penza, 19–20 aprelya 2018 g.* [Cities of Russia: problems of construction, engineering, improvement and ecology. Proceedings of the XX International scientific-practical. conf., Penza, April 19–20, 2018]. Penza, Penzenskiy gos. agrarniy un-t Publ., 2018, pp. 52–55.

3. Nozdratenko S. A., Akul'shin A. A., Pereverzeva V. S., Akul'shin A. A. *Vidy kol'matatsii skvazhin* [Types of well colmatation]. *Pokolenie budushchego: vzglyad molodykh uchennykh — 2015. Trudy 4-y Mezhdunar. molodezhnoy nauch. konf. Kursk, 19–20 noyabrya 2015 g.* [Generation of the future: the view of young scientists - 2015. Proceedings of the 4-th International youth scientific. conf., Kursk,

November 19-20, 2015]. In 4 vols. Ed. by Gorokhov A. A. «Universitetskaya kniga» Publ., 2015, pp. 163–165.

4. Tsymbalov A. A. *Dekol'matatsiya vodozabornykh skvazhin: issledovanie, innovatsii, praktika* [Decolmatization of water wells: research, innovation, practice]. Saratov, KUBiK Publ., 2021, 56 p.

5. Ivashchkin V. B., Medvedeva Yu. A., Kondratovich A. N., Satsuta E. S. [Fundamentals of calculation and design of two *Osnovy rascheta i proektirovaniya dvukhkolonnykh dvukhfil'trovnykh vodozabornykh skvazhin* -column two-filter water wells]. *Nauka i tekhnika – Science and Technology*, 2021, vol. 20, no. 5, pp. 410–419. DOI 10.21122/2227-1031-2021-20-5-410-419.

6. Stoyanov N. I., Kalinichenko M. Yu. *Sposob predotvrashcheniya bioobrastaniya na vodozaborakh* [Method of biofouling prevention at water intakes]. Patent RF, no. 2018103614, 2-19.

7. Houben G. Review: Hydraulics of water wells — flow laws and influence of geometry // *Hydrogeology Journal*. 2015. Vol. 23 (8). Pp. 1659–1675. DOI 10.1007/s10040-015-1314-8.

8. Houben G., Wachenhausen J., Guevara Morel C. R. Effects of ageing on the hydraulics of water wells and the influence of non-Darcy flow. *Hydrogeology Journal*, 2018, vol. 26 (24), pp. 1285–1294. DOI 10.1007/s10040-018-1790-2.

9. Tsymbalov A. A. *Remontno-vosstanovitel'nye raboty po dekol'matatsii skvazhin-kandidatov tekhnologiy VIGDOS-SITsA* [Repair and restoration work on decolmatation of candidate wells using VIGDOS-SITA technology]. *Bulatovskie chteniya – Bulat Readings*, 2022, vol. 1, pp. 324–327.

10. Zanosova V. I. *Tekhnicheskoe sostoyanie vodozabornykh skvazhin i prichiny snizheniya ikh proizvoditel'nosti* [Technical condition of water wells and reasons for their decrease in productivity]. *Aktual'nye problemy sel'skogo khozyaystva gornyykh territoriy. Trudy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Gorno-Altaysk, 8–11 iyunya 2017 g.* [Actual problems of agriculture of mountainous territories. Proceedings of the VI International. sci.-practical. conf. Gorno-Altaysk, June

8–11, 2017]. Gorno-Altaysk, Gorno-Altayskiy gos. un-t Publ., 2017, pp. 334–338.

11. Verstov V. V., Gaydo A. N., Turkevich Ya. A. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh skhem i parametrov izvlecheniya grunta pri pogruzhenii opusknykh kolodtsev* [Improvement of technological schemes and parameters of soil extraction when immersing downhole wells]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 5 (70), pp. 84–93.

12. Mel'nikova T. V., Didenko V. G., Yurkiv N. I. *Razrabotka biopolimernykh burovykh rastvorov dlya stroitel'stva vodozabornykh skvazhin* [Development of biopolymer drilling muds for water well construction]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary equipment*, 2012, no. 2, pp. 72–75.

13. Subbotin Yu. V., Yakimov A. A. *Sovershenstvovanie tekhnologii ochistki kar'ernykh vod na ob'ektakh rossypnoy zolotodobychi* [Improving the technology for treating quarry water at alluvial gold mining facilities]. *Kulaginskie chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov. Trudy conf. Chita, 27–30 noyabrya 2017 g. T. 1.* [Kulagin Readings: technique and technology of production processes. Proceedings of the conf. Chita, 2017]. *Zabaykal'skiy gosudarstvenniy un-t Publ.*, 2017, pp. 186–194.

14. Ivannikov V. I. *Kol'matatsiya i dekolymatatsiya prizaboynoy zony plasta v skvazhinakh* [Colmatation and decolymatation of the bottomhole zone in wells]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2011, no. 4, pp. 56–60.

15. Tsymbalov A. A. *Kontaminatsiya okoloskvazhinnykh vodonasyschennykh sred: terminologiya i primenimost'* [Contamination of borehole water-saturated media: terminology and applicability]. *Geologicheskaya evolyutsiya vzaimodeystviya vody s gornymi porodami. Trudy 4-y Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. Ulan-Ude, 17–20 avgusta 2020 g.* [Geological evolution of water-rock interactions. Proceedings of the 4-th All-Russia scientific. conf. with international participation. Ulan-Ude, August 17–20, 2020]. *Ulan-Ude, Buryatskiy nauchniy tsentr Sibirskogo otdeleniya RAN Publ.*, 2020, pp. 274–277. DOI 10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-274-277.