

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО СВАБИРОВАНИЯ В ЗАМКНУТЫХ КАМЕРАХ

*Ю. А. Медведева, старший преподаватель
И. Е. Амелишко, старший преподаватель
В. В. Ивашечкин, доктор технических наук*

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Отмечены проблемные вопросы эксплуатации водозаборных скважин: низкие сроки службы, недостаточная ремонтпригодность и сниженный удельный дебит. Рассматривается циркуляционная реагентная обработка фильтров водозаборных скважин способом свабирования. Приводятся конструкция установки для обработки участка фильтра и технологическая схема реагентной регенерации методом линейного свабирования в замкнутой камере. Описывается методика расчета режимов обработки в зависимости от конструктивных параметров огружного устройства, скорости движения сваба, степени кольматации и фильтрационных параметров в гравийной обсыпке водозаборной скважины. На основе исходных данных рассмотрен пример расчета продолжительности реагентной обработки участка фильтра при использовании соляной кислоты в качестве реагента.

Ключевые слова: водозаборная скважина, регенерация, свабирование, фильтрация, реагент, сваб.

Abstract

Yu. A. Medvedeva, I. E. Amelishko, V. V. Ivashechkin

CALCULATION OF REGENERATION MODES OF WATER INTAKE WELLS BY THE METHOD OF LINEAR SWABING IN CLOSED CHAMBERS

The problematic issues of operation of water wells: low service life, insufficient maintainability and reduced specific flow rate are highlighted. The circulation reagent treatment of water intake well filters by the swabbing method is considered. The design of the installation for processing the filter section and the technological scheme of reagent regeneration by the method of linear swabbing in a closed chamber are presented. A method for calculating processing modes depending on the design parameters of the submersible device, the speed of the swab, the degree of clogging and filtration parameters in the gravel dressing of a water well describes. Based on the initial data, an example of calculating the duration of the reagent treatment of the filter section using hydrochloric acid as a reagent is considered.

Keywords: water well, regeneration, swabbing, filtration, reagent, swab.

Введение

Государственная водохозяйственная политика Республики Беларусь направлена в первую очередь на защиту водных источников от загрязнения и решение таких важнейших социальных задач, как обеспечение населения качественной питьевой водой и создание благоприятных условий проживания [1].

Централизованное водоснабжение городов, городских и сельских поселков и промышленных предприятий базируется на использовании пресных подземных вод. Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод в целом по республике оцениваются в 49 596 тыс. м³/сут. К настоящему времени разведано 13,9 % от прогнозных ресурсов [2].

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, на балансе водопользователей находится более 25 тысяч разведочно-эксплуатационных скважин [3]. Около 90 % водозаборных скважин функционируют со сниженными удельными дебитами и высокими энергозатратами на подъем воды, что обусловлено процессами биологического и химического кольматажа.

Так как существующие методы регенерации длительно эксплуатирующихся скважин недостаточно эффективны, срок службы скважин редко превышает 18–20 лет, что существенно ниже их расчетного срока эксплу-

атации [4, 5]. Критически снизившие дебит водозаборные скважины, не поддающиеся регенерации, тампонируют и перебуривают, что требует значительных финансовых вложений. Поэтому весьма актуальна проблема увеличения долговечности и повышения ремонтпригодности водозаборных скважин, тем более что в последние десятилетия наблюдается постоянный рост цен на энергоресурсы и материалы.

Существует ряд реагентных методов регенерации – например, метод реагентной ванны и циклического задавливания, где воздействие производится на весь фильтр одновременно, исходя из предположения, что фильтр по высоте закольматирован равномерно. Это на практике не соответствует действительности, поэтому наиболее закольматированные участки фильтра остаются неочищенными. Циркуляционные методы

Основная часть

Макет ранее описанного скважинного устройства [11] был испытан на лабораторном стенде для определения его работоспособности. В результате анализа результатов испытаний конструкция устройства доработана в целях повышения ее надежности. Усовершенствование конструкции скважинного устройства выразилось в ликвидации обратных клапанов и тросовых подвесок пакеров, замене пневматических пакеров на резиновые манжеты.

Схема усовершенствованной установки для обработки участка фильтра методом линейного свабиrowания в замкнутых камерах представлена на рис. 1.

Установка включает емкость с реагентом и шлангами, тросовую лебедку и усовершенствованное скважинное устройство для регенерации, которое перемещают в фильтре скважины на водоподъемных трубах эрлифта с помощью автокрана с телескопической стрелой (на рисунке не показан).

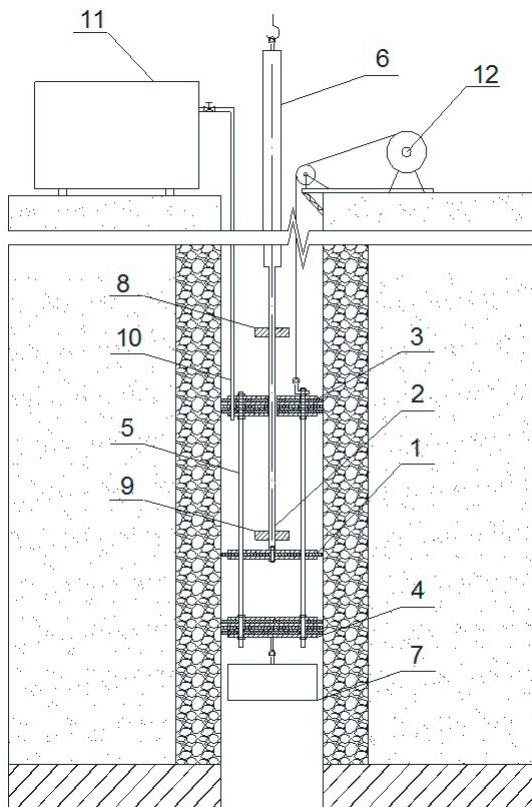
Скважинное устройство (рис. 2) состоит из верхнего и нижнего пакеров, стержневого каркаса, сваба, штока с верхним и нижним упорами, массивного груза цилиндрической формы. Стержневой каркас выполнен из че-

регенерации [6–10] более эффективны вследствие поинтервальной обработки фильтра, но недостаточно надежны, так как предполагают нахождение в реагенте погружных осевых насосных агрегатов, снабженных электродвигателями.

Для решения этой проблемы, в целях повышения эффективности и упрощения процесса регенерации водозаборных скважин, предложено осуществлять реагентную обработку фильтров водозаборных скважин методом линейного свабиrowания, проводимого поинтервально на участке фильтра, ограниченного двумя пакерами и заполненного реагентом [11].

Цель работы – разработать технологическую схему реагентной регенерации водозаборных скважин методом линейного свабиrowания в замкнутой камере и методику расчета режимов обработки.

тырех стержней круглого сечения, которые имеют резьбы с гайками на обоих концах для жесткого закрепления на них пакеров, представляющих собой набор стальных дисков с резиновыми манжетами. Расстояние между пакерами составляет 4–5 диаметров фильтра, что соответствует длине обрабатываемого участка фильтра в диапазоне 1–1,2 м. Пакеры делают обрабатываемый участок фильтра скважины замкнутым и предотвращают утечки реагента за его пределы. Сваб – это металлический диск, жестко закрепленный на штоке. По периметру сваба находится манжетное уплотнение. Для центрирования сваба в его металлическом диске сделаны отверстия, куда продеты стержни каркаса, вдоль которых он совершает возвратно-поступательные перемещения как по направляющим в процессе работы. В центре верхнего пакера расположено отверстие для пропуска штока. Массивный груз предназначен для предотвращения смещения стержневого каркаса с пакерами в процессе обработки фильтра при движении сваба вверх, тросовая лебедка – при движении его вниз, а верхний и нижний упоры – для ограничения рабочих ходов сваба.



а



б

Рис. 1. Схема установки (а) и общий вид скважинного устройства (б) для реagentной обработки фильтра на основе метода линейного свабивания в замкнутых камерах:
 1 – сваб; 2 – шток; 3 – верхний пакер; 4 – нижний пакер; 5 – направляющие стержни;
 6 – водоподъемные трубы эрлифта; 7 – массивный груз; 8 – верхний упор; 9 – нижний упор;
 10 – шланг для подачи реагента; 11 – емкость для реагента; 12 – лебедка

Технологическая схема процесса обработки.

Скважинное устройство на буровых штангах с помощью автокрана опускают в обрабатываемый участок фильтра. При этом нижний упор штока находится в крайнем верхнем положении. Скважинное устройство фиксируют на интервале обработки с помощью тросовой лебедки. Заливка реагента в рабочую камеру производится из емкости при одновременном опускании буровой штанги вниз на величину рабочего хода сваба, равного расстоянию между упорами штока. Это обеспечивает смещение сваба в крайнее нижнее положение и заполнение реагентом всей рабочей камеры.

После этого начинают регенерацию участка фильтра, поднимая вверх с помощью автокрана колонну буровых штанг на величину рабочего хода сваба. Под действием избыточного давления в верхней полости рабочей камеры реагент частично вытесняется в пласт, однако благодаря созданию пониженного давления под свабом большая часть расхода реагента

огинает сваб по гравийной обсыпке и поступает в нижнюю полость рабочей камеры.

Затем из крайнего верхнего положения сваб опускают вниз под весом буровых штанг. В течение хода вниз реагент перетекает по гравийной обсыпке из нижней части камеры в верхнюю. Рабочие ходы повторяют до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень регенерации участка фильтра. После этого скважинное устройство перемещают на новый участок и повторяют процесс до полной обработки фильтра.

Затем скважинное устройство опускают в отстойник фильтра и ждут полного завершения процесса растворения, контролируя его с помощью датчика электрического сопротивления, закрепленного на нижней трубе эрлифта. Выдерживание реагента в скважине продолжают до стабилизации электрического сопротивления [4]. После этого подают сжатый воздух по шлангу в водоподъемные трубы эрлифта. Скважину прокачивают до полного

удаления продуктов растворения отложений. Эрлифт со скважинным устройством поднимают на поверхность.

Знакопеременные фильтрационные потоки реагента в прифильтровой зоне водозаборной скважины – это определяющие факторы, интенсифицирующие процесс растворения кольматирующих отложений при использовании метода свабирования в замкнутых камерах. К технологическим режимам поинтервальной реагентной обработки фильтра относятся: скорость перемещения сваба; необходимое количество рабочих ходов сваба на одном интервале обработки с заданной скоростью для обеспечения декольматации прифильтровой зоны; продолжительность обработки участка фильтра между пакерами и время регенерации всего фильтра.

Расчетная схема реверсивного движения фильтрового потока в гравийной обсыпке при использовании установки для реверсивно-реагентной обработки фильтров представлена на рис. 2.

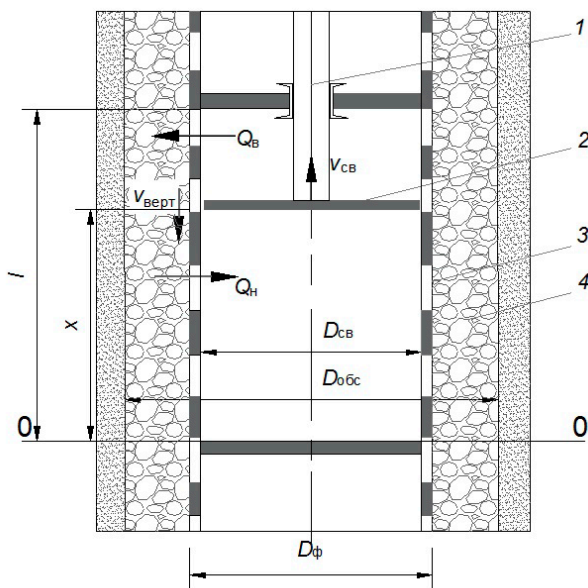


Рис. 2. Расчетная схема движения жидкости на участке фильтра при движении сваба:
1 – шток; 2 – сваб; 3 – фильтр; 4 – гравийная обсыпка

Начало отсчета плоскость 0–0 разместим на уровне нижнего пакера. Пакеры считаем неподвижными, расстояние между ними постоянным и равным l . Сваб перемещается равномерно со скоростью $v_{св}$ и совершает возвратно-поступательные движения внутри камеры. При движении вверх сваб вытесняет реагент из верхней полости камеры в ниж-

нюю полость через слой гравийной обсыпки, прилегающий к фильтру. Весь реагент, находящийся в рабочей камере над свабом, к концу рабочего хода прокачивается через участок гравийной обсыпки длиной l , частично насыщается продуктами растворения и аккумулируется в нижней полости камеры под свабом. При движении сваба вниз этот реагент к концу рабочего хода длиной l опять весь прокачивается через слой гравийной обсыпки и, опять насыщаясь растворенным кольматантом, накапливается в верхней части рабочей камеры над свабом.

Так совершается рабочий цикл – двойной ход сваба. Реагент совершает равноценные по скорости реверсивные движения вверх-вниз на участке длиной l гравийной обсыпки.

Для расчета режимов поинтервальной обработки фильтра на основе метода свабирования воспользуемся методикой расчета продолжительности реагентной обработки фильтров для реверсивного движения реагента вдоль участка закольматированной гравийной обсыпки. Для описания процесса растворения отложений в обсыпке фильтра используем систему уравнений – объединенное уравнение движения и сохранения массы и обобщенное уравнение кинетики [12–13]:

$$\begin{cases} -v \frac{\partial C}{\partial x} - \rho_{oc} \frac{\partial b}{\partial t} = n_0 \frac{\partial C}{\partial t}, \\ \frac{\partial b}{\partial t} = -\Phi \cdot (C_{max} - C) \end{cases}, \quad (1)$$

где v – скорость движения реагента в гравийной обсыпке;

C – концентрация солей в реагенте;

n_0 – начальная пористость грунта;

b – удельная насыщенность грунта кольматантом, плотность которого равна ρ_{oc} ;

t – время;

C_{max} – максимальная концентрация солей в реагенте, то есть концентрация насыщенного раствора;

$$\Phi = \frac{B_i}{\rho_{oc}} f(b), \quad f(b) = \frac{1}{\sqrt{1-n_0}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n_0-b} - 1},$$

$$B_i = A_1 \left(\frac{D^4}{v_c} \right)^{1/6} \cdot \omega_0 \sqrt{\frac{v}{d_0}},$$

где A_1 – константа, лежащая в интервале от 0,76 до 0,996;

D – коэффициент молекулярной диффузии;

ν_c – коэффициент кинематической вязкости жидкости;

d_0 – размер зерен шаровой формы неэкологизированной гравийной обсыпки скважины;

ω_0 – удельная поверхность гравийной обсыпки, принимаемая как суммарная поверхность зерен шаровой формы в единице объема,

$$\omega_0 = 6\xi \cdot \zeta \frac{(1-n_0)}{d_0},$$

где ξ и ζ – понижающие коэффициенты, учитывающие соответственно степень экранизации поверхности зерен пузырьками газа и долю нерастворимых соединений в составе кольматанта.

Начальные и граничные условия, соответствующие расчетной схеме (рис. 2), имеют следующий вид:

$$C(0, x) = C_0, C(t, 0) = C_0, b(0, x) = b_0 < n_0, t \geq 0, x \in [0; l], \quad (2)$$

где b_0 – начальный удельный объем кольматирующих отложений.

Согласно уравнению неразрывности расход реагента $Q_{\text{в}}$, вытесняемый свабом из верхней полости, равен расходу $Q_{\text{н}}$, поступающему в нижнюю полость [11]:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{н}}. \quad (3)$$

Сделаем допущение о том, что скорость ν фильтрационного потока реагента в прилегающем к фильтру обрабатываемом слое гравийной обсыпки равна вертикальной скорости $\nu_{\text{верт.}}$ и скорости движения сваба $\nu_{\text{св.}}$ на всем пути его движения: $\nu = \nu_{\text{верт.}} = \nu_{\text{св.}}$

Для упрощения расчетов функцию определяли при значении среднего удельного объема отложений b_c .

Путем интегрирования уравнения кинетики (1) получена аналитическая зависимость для расчета значения удельной насыщенности грунта кольматантом на границе участка обработки после проведения k -ходов реагента [13]:

$$b(T_0, l) = b_0 - \sum_{m=1}^k \left[n_0 \cdot (1 - e^{-\alpha_m T_0}) + \alpha_m \cdot e^{-\alpha_m T_0} (1 - n_0) \cdot T_0 \right] \cdot J_m, \quad (4)$$

где T_0 – время, за которое реагент проходит расстояние l со скоростью ν ;

$$\alpha = B_i \cdot f(b_c); J_1 = C_{01} = C_{\text{max}} - C_0,$$

остальные J_m определяются рекуррентной формулой

$$J_m = J_{m-1} \cdot e^{-\alpha_{m-1} T_0}. \quad (5)$$

Формула (4) показывает, что на каком-то этапе с ростом количества ходов практически не происходит уменьшения удельной загрязненности, то есть необходима замена рабочего раствора на новый.

По полученным формулам составлена компьютерная программа, позволяющая рассчитать степень удаления кольматанта на каждом этапе регенерации, количество циклов работы устройства и общую продолжительность очистки. Программа доработана с возможностью учета ламинарного движения реагента в прифилтровой зоне, для этого пределы выбора скоростей расширили от $\nu = 1$ мм/с.

Рассмотрим работу установки для реагентной обработки фильтра на основе метода линейного свабирования с использованием соляной кислоты в качестве реагента.

Пример.

Исходные данные:

- диаметр сваба равен внутреннему диаметру фильтра $D_{\text{св.}} = 203$ мм;
- внешний диаметр фильтра $D_{\text{ф}} = 245$ мм;
- наружный диаметр гравийной обсыпки $D_{\text{обс.}} = 345$ мм;
- удельный объем отложений кольматанта $b_0 = 0,1$;
- начальная пористость среды $n_0 = 0,3$;
- плотность кольматанта $\rho_k = 2\,250$ кг/м³;
- длина обрабатываемого участка фильтра $l = 1$ м.

Кольматант представляет собой многокомпонентную систему, включающую в себя соли кальция, магния, марганца (карбонаты), соединения железа в виде гидроксида, оксида, сульфида, фосфата [12]. Но поскольку в составе кольматанта преобладают соединения железа, то далее для упрощения расчетов принимаем, что кольматант состоит из гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который в воде представляет собой гидратированное железо $\text{FeO}(\text{OH})$.

Масса кольматанта M_k может быть определена по степени насыщенности порового пространства кольматирующими образованиями α в объеме пор гравийной обсыпки $W_{\text{пор}}$ по формуле:

$$M_K = \chi \rho_K W_{\text{пор.}} = \chi \rho_K \pi (D_{\text{обс.}}^2 - D_{\text{ф}}^2) l n_0 / 4 =$$

$$= 0,33 \cdot 2250 \cdot 3,14 \cdot (0,345^2 - 0,245^2) \cdot 1,0 \cdot 0,3 / 4 =$$

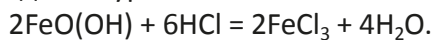
$$= 10,3 \text{ (кг)},$$

где ρ_K – плотность твердых частиц скелета осадка, изменяется от 1,7 до 3,1 г/см³;

χ – насыщенность порового пространства.

Произведем теоретический расчет затрат соляной кислоты 100%-й концентрации на растворение кольматанта известного химического состава. Введем обозначение $M \cdot V$ – молекулярный вес.

Реакция растворения гидратированных железистых соединений с соляной кислотой происходит по уравнению



Согласно уравнению реакции и ранее определенному значению M_K находим требуемое количество соляной кислоты m_{HCl} из следующего выражения:

$$m_{\text{HCl}} = \frac{M_K \cdot 6M \cdot V_{\text{HCl}}}{2M \cdot V_{\text{FeO}(\text{OH})}} = \frac{10,3 \cdot 6 \cdot 36,5}{2 \cdot 89} = 12,7 \text{ (кг)}.$$

Исследования показали, что при концентрации раствора соляной кислоты, равной 20 %, происходит наиболее эффективное растворение кольматанта в прифильтровой зоне [12]. Определяем объем 20%-й соляной кислоты HCl по формуле

$$V_{\text{HCl}20\%} = \frac{m_{\text{HCl}}}{\rho_{\text{HCl}} C_{20\%}} = \frac{12,7}{1,098 \cdot 0,2} = 57,8 \text{ (дм}^3\text{)},$$

где ρ_{HCl} – плотность соляной кислоты; $C_{20\%}$ – массовая концентрация соляной кислоты.

Объем 20%-го раствора соляной кислоты, помещающегося внутрь рабочей камеры длиной 1 м, равен:

$$V_{\text{р.кам.}} = \pi D_{\text{св.}}^2 l / 4 = 3,14 \cdot 0,203^2 \cdot 1 / 4 = 32 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Из полученных данных следует, что для растворения 10,3 кг кольматанта, который содержится в гравийной обсыпке скважины длиной 1 м, необходимо 12,7 кг соляной кислоты 100%-й концентрации, или 57,8 дм³ 20%-й соляной кислоты. Объем рабочей камеры составляет 32 дм³. Следовательно, 25,8 дм³ из общего объема раствора сразу попадет в гравийную обсыпку через стенки фильтра, вытеснив оттуда воду, и начнет растворять отложения, а остальные 32 дм³ останутся в рабочей камере и попадут в обсыпку при движении саба.

Для расчета по предложенной программе необходимо задать предельную концентрацию FeCl₃, которая будет в растворе при взаимодействии соляной кислоты 20%-й концентрации и кольматанта.

Согласно уравнению реакции кольматанта и соляной кислоты и ранее определенному значению M_K находим массу хлорида железа m_{FeCl_3} из следующего выражения:

$$m_{\text{FeCl}_3} = \frac{m_{\text{HCl}} \cdot 2M \cdot V_{\text{FeCl}_3}}{6M \cdot V_{\text{HCl}}} = \frac{12,7 \cdot 2 \cdot 162}{6 \cdot 36,5} = 18,8 \text{ (кг)}. \quad (6)$$

Максимально возможная концентрация хлорида железа $C_{\text{max FeCl}_3}$ без учета разбавления раствора скважинной водой определяется по формуле

$$C_{\text{max FeCl}_3} = \frac{m_{\text{FeCl}_3}}{V_{\text{HCl}20\%}} = \frac{18,8}{57,8} = 0,32 \text{ (кг/дм)}. \quad (7)$$

В программу занесены следующие исходные данные:

- начальная пористость среды $n_0 = 0,3$;
- удельный объем отложений $b_0 = 0,1$;
- плотность кольматанта $\rho_K = 2 \text{ 250 кг/м}^3$;
- длина обрабатываемого участка фильтра $l = 1 \text{ м}$;
- диаметр зерен гравийной загрузки $d_0 = 1 \text{ мм}$;
- концентрация хлорида железа в объеме реагента с учетом его разбавления $C_{\text{max}} = 200 \text{ кг/м}^3$;
- максимальная скорость движения реагента в закольматированной загрузке $v = 5 \text{ мм/с}$.

Результаты расчетов.

Время прохода реагентом участка длиной 1,0 м $T_0 = 200 \text{ с}$;

Продолжительность промывки участка длиной 1,0 м $T_{\text{общ.}} = 23,3 \text{ мин}$;

Значения удельного объема кольматанта в гравийной обсыпке представлены в таблице.

Таблица. Значения удельного объема отложений кольматанта в гравийной обсыпке на каждом цикле регенерации с использованием соляной кислоты

Номер цикла	Удельный объем отложений в конце цикла, b
1	0,0733
2	0,0467
3	0,0200
4	0,0

Выводы

1. Доработана и упрощена конструкция погружного устройства для регенерации водозаборных скважин методом линейного свабирования в замкнутой камере, заполненной реагентом. Разработана технологическая схема реагентной регенерации.

2. Разработана методика расчета режимов обработки на основании решения уравнения кинетики при растворении коагулирующих отложений с учетом допущений, полученных

по результатам лабораторных исследований, в зависимости от конструктивных параметров погружного устройства, скорости движения сваба, степени коагуляции и фильтрационных параметров гравийного фильтра.

3. Рассмотрен пример расчета продолжительности реагентной обработки участка фильтра при использовании соляной кислоты в качестве реагента.

Библиографический список

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 30 апр. 2014 г., № 149-З : принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апр. 2014 г. // Эталон-онлайн ; Кодексы Респ. Беларусь / Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=hk1400149>. – Дата доступа: 19.01.2023.

2. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2016 год) / М-во природ. ресурсов и охр. окруж. среды. – Минск : ЦНИИКИВП, 2017. – 172 с.

3. Водозаборные скважины / Экологический портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecportal.gov.by/voda/vodozabornye-skvazhiny>. – Дата доступа: 20.01.2023.

4. Цымбалов, А. А. Объяснение физических явлений и процессов декоагуляции околоскважинной зоны с применением математического моделирования / А. А. Цымбалов // Приложение математики в экономических и техн. исследованиях : сб. ст. / Магнитогорский гос. техн. ун-т имени Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2017. – Т. 1, № 7. – С. 199–204.

5. Tsymbalov, A. A. Role of seismohydrogeologic effects in solution of problems on borehole area dekolmatation: Aftereffekt. Part II / A. A. Tsymbalov // Seismological conference (TASECO–2016). – Tashkent : Muxammad Poligraf, 2016. – P. 606–609.

6. Омелянюк, М. В. Технологии ремонта и восстановления водозаборных скважин / М. В. Омелянюк // Водоснабжение и санитар. техника. – 2015. – № 3. – С. 25–31.

7. Комбинированный метод обработки прифильтровой зоны водозаборных скважин пневмоимпульсным и реагентным воздействием / В. И. Лесной, В. И. Зятин, А. В. Жибоедов, А. В. Овчаренко // Сантехника. – 2019. – № 4. – С. 14–29.

8. Butts, Ed. Well and pump rehabilitation [Electronic resource] / Ed Butts // Water Well Journ. – 2017. – Aug. 23. – Mode of access: <https://waterwelljournal.com/well-pump-rehabilitation-4>. – Date of access: 01.02.2022.

9. Bruni, M. Well development & rehabilitation [Electronic resource] / M. Bruni, D. Spuhler // Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox. – 2017. – Mode of access: <https://sswm.info/sswm-university-course/module-4-sustainable-water-supply/further-resources-water-sources-hardware/well-development-%26-rehabilitation> – Date of access: 25.04.2022.

10. Melancon, M. Trends in water well rehabilitation [Electronic resource] / M. Melancon // Water Conditioning & Purification Magazine. – 2015. – Mode of access: <http://wcponline.com/2015/12/16/2813/> – Date of access: 24.04.2021.

11. Реагентная декоагуляция водозаборных скважин методом свабирования в замкнутых камерах / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, Ю. А. Медведева, А. Н. Глинская, И. Е. Иванова // Мелиорация. – 2018. – № 2 (84). – С. 20–27.

12. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра 1985. – 345 с.

13. Иванова, И. Е. Теоретические исследования процесса выщелачивания кольматанта в гравийной обсыпке фильтра скважины при использовании установки для реверсивно-реагентной регенерации / И. Е. Иванова, В. В. Ивашечкин, В. В. Верременюк // Энергетика. – 2018. – № 1 (61). – С. 80–92.

Поступила 3 марта 2023 г.