

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-5-410-419>

УДК 628.112

Основы расчета и проектирования двухколонных двухфилтровых водозаборных скважин

Докт. техн. наук, проф. В. В. Ивашечкин¹⁾, асп. Ю. А. Медведева¹⁾,
А. Н. Кондратович¹⁾, Е. С. Сацута¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2021
Belarusian National Technical University, 2021

Реферат. Приведен обзор известных конструкций водозаборных скважин. Предложена новая конструкция двухколонной двухфилтровой водозаборной скважины, в которой фильтры устраиваются в два яруса, что позволит повысить водозахватную способность и уменьшить скорость фильтрации на подходе к фильтрам. Это, в свою очередь, создаст условия для снижения потерь напора и уменьшения понижения в скважине, обеспечивая снижение себестоимости добываемой воды. Данная конструкция совмещает в себе одновременно рабочую и резервную скважины, находящиеся в одном буровом стволе, что повышает ее надежность, долговечность и бесперебойность подачи воды потребителю. Представлена методика расчета гидравлических параметров двухколонной двухфилтровой водозаборной скважины, которая базируется на зависимостях для расчета основных геометрических размеров при заданном проектном дебите и гидрогеологических характеристиках водоносного пласта, а также формулах для определения понижения в скважине на заданный срок эксплуатации при работе одного и двух насосов одновременно. Изложены основы проектирования скважины предлагаемой конструкции. Рассмотрен пример расчета для новой конструкции скважины взамен снизившей свой удельный дебит существующей типовой скважины.

Ключевые слова: водозаборная скважина, кольтация, водоснабжение, прифилтровая зона, тампонаж, гидродинамика

Для цитирования: Основы расчета и проектирования двухколонных двухфилтровых водозаборных скважин / В. В. Ивашечкин [и др.] // *Наука и техника*. 2021. Т. 20, № 5. С. 410–419. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-5-410-419>

Basics of Calculation and Design of Two-Column Two-Filter Water Intake Wells

V. V. Ivashechkin¹⁾, J. A. Medvedeva¹⁾, A. N. Kondratovich¹⁾, E. S. Satsuta¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper provides an overview of the known designs of water wells. A new design of a two-column two-filter water intake well has been also proposed, in which the filters are arranged in two tiers. This will lead to an increase in water intake capacity and will reduce the filtration rate on the approach to the filters. This, in turn, will create conditions for reducing head losses and will make it possible to reduce drawdowns in the well, ensuring a reduction in the cost of produced water. This design combines both working and reserve wells located in one borehole, which increases its reliability, durability and uninterrupted water supply to the consumer. A method for calculating the hydraulic parameters of a two-column two-filter water intake well is presented in the paper. It is based on dependencies for calculating the main geometric dimensions for a given design flow rate and hydrogeological characteristics of an aquifer, as well as formulas for determining a decrease in a well for a given period of operation when one and two pumps operate simultaneously. The basics of designing a well of the proposed design are outlined in the paper. The paper considers an example of calculation for a new well design instead of an existing typical well that has reduced its specific flow rate.

Keywords: water well, colmatation, water supply, near-filter zone, grouting, hydrodynamics

For citation: Ivashechkin V. V., Medvedeva J. A., Kondratovich A. N., Satsuta E. S. (2021) Basics of Calculation and Design of Two-Column Two-Filter Water Intake Wells. *Science and Technique*. 20 (5), 410–419. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-5-410-419> (in Russian)

Адрес для переписки

Ивашечкин Владимир Васильевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-30-13
ivashechkin_vlad@mail.ru

Address for correspondence

Ivashechkin Vladimir V.
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-30-13
ivashechkin_vlad@mail.ru

Введение

Водозаборные скважины являются наиболее распространенным типом водоприемных сооружений во всем мире. Основные требования к скважине заключаются в следующем. Водоприемная ее часть должна оказывать наименьшее сопротивление при входе воды в скважину из водоносного пласта; фильтр не должен быть подвержен механической или химической коагуляции, а также должен быть устойчивым против коррозии.

Известен ряд типовых конструкций водозаборных скважин [1–3]. Конструктивно типовая скважина на воду состоит из одной эксплуатационной колонны, кондуктора, технических колонн труб, цементной защиты и фильтра. Эти элементы применяют в том или ином сочетании в зависимости от выбранного способа бурения, глубины скважины, гидрогеологических условий местности, требований эксплуатации и санитарной защиты, а также целевого назначения скважины.

При интенсивной работе водозабора фильтр скважины с течением времени начинает коагулироваться. Особенности притока воды в фильтр водозаборной скважины, связанные с неравномерностью нагрузки его водоприемной поверхности по высоте, предопределили необходимость такого конструктивного их выполнения, которое в полной мере обеспечивало бы каптаж водоносного пласта по всей мощности.

Для интенсификации водоотбора, когда требуется получить максимальную производительность в заданной точке водоносного пласта, а также выровнять нагрузку на фильтр по всей его высоте, предложена разработанная В. П. Ткаченко скважина двухколонной конструкции [4]. Недостатком данной конструкции является то, что при капитальном ремонте такой скважины невозможно извлечь и заменить ее фильтр. Поэтому в случае значительного снижения производительности, когда текущие ремонты оказываются неэффективными, эту скважину тампонируют и перебуривают, что сужает область ее применения.

Для водоснабжения могут применяться также бесфильтровые многоствольные скважины, основным конструктивным отличием которых является наличие водоприемной каверны [5, 6]. При эксплуатации бесфильтровых

скважин необходимо учитывать вероятность их временного пескования в период пуска или остановки глубинных насосов. Их нельзя устраивать при предполагаемом прогрессирующем снижении пьезометрических напоров каптируемого водоносного пласта, так как это может вызвать обрушение кровли. Кроме того, устройство бесфильтровых скважин под влиянием сработки запасов подземных вод и выноса значительных объемов пород при размыве каверны может вызвать локальные просадки поверхности земли, что является весьма неблагоприятным процессом. Все это накладывает ряд ограничений и сужает область применения таких скважин.

Срок службы скважин напрямую зависит от суммарного количества прошедшей через фильтр воды. Несмотря на применение мероприятий по регенерации фильтров, отложения накапливаются и не удаляются при обработках. Вышедшую из строя скважину тампонируют, сооружают новую, а в эксплуатируемом подземном горизонте остаются корродирующие металлоконструкции. Это указывает на недостаточную эффективность имеющихся методов регенерации и недолговечность существующих типовых конструкций скважин. Поэтому для повышения надежности и долговечности водозаборов подземных вод и обеспечения бесперебойной подачи воды потребителю часто предусматривают устройство двух водозаборных скважин – основной и резервной, работающих поочередно и благодаря этому имеющих повышенный срок службы [1].

В БНТУ разработана конструкция двухколонной двухфильтровой водозаборной скважины повышенной надежности [7]. В отличие от известных двухколонных скважин предлагаемая конструкция имеет два фильтра и способна совмещать в себе одновременно рабочую и резервную скважины, находящиеся в одном буровом стволе, что повышает ее надежность, долговечность и бесперебойность подачи воды потребителю. Применение конструкции двухствольной скважины позволяет:

- увеличить срок службы рабочей и резервной скважин за счет эффективной регенерации их фильтров, размещенных в одном буровом стволе вместе с циркуляционными трубками, которые служат для обеспечения циркуляционно-реагентной обработки;

– осуществлять бесперебойную подачу воды потребителю, имея в каждом стволе отдельный электронасосный агрегат;

– установить в скважине два насосных агрегата, которые могут иметь разную производительность, тем самым обеспечивая возможность ступенчатого регулирования;

– уменьшить площади отчуждаемых под строительство земель, так как рабочая и резервная скважины сооружаются в одной санитарной зоне;

– обеспечить снижение капиталовложений по сравнению с сооружением двух отдельно расположенных скважин (один павильон вместо двух, одна буровая площадка вместо двух, меньшая длина коммуникаций и т. д.).

В литературе отсутствует методика расчета двухколонных двухфильтровых водозаборных

скважин, что сдерживает их применение на практике. Поэтому целью исследований являлась разработка основ расчета и проектирования подобных скважин.

Конструкция скважины

Скважина, разработанная в БНТУ (рис. 1), состоит из: кондуктора с затрубной цементацией; первого ствола, имеющего в своем составе эксплуатационную колонну, фильтр с рабочей частью и отстойник; второго ствола, имеющего в составе эксплуатационную колонну, фильтр с рабочей частью и отстойник; верхнего и нижнего соединительных патрубков; гравийной обсыпки; песчаной засыпки; глиняного замка; закачных трубок с перфорацией, выполненных напротив рабочей части фильтров.

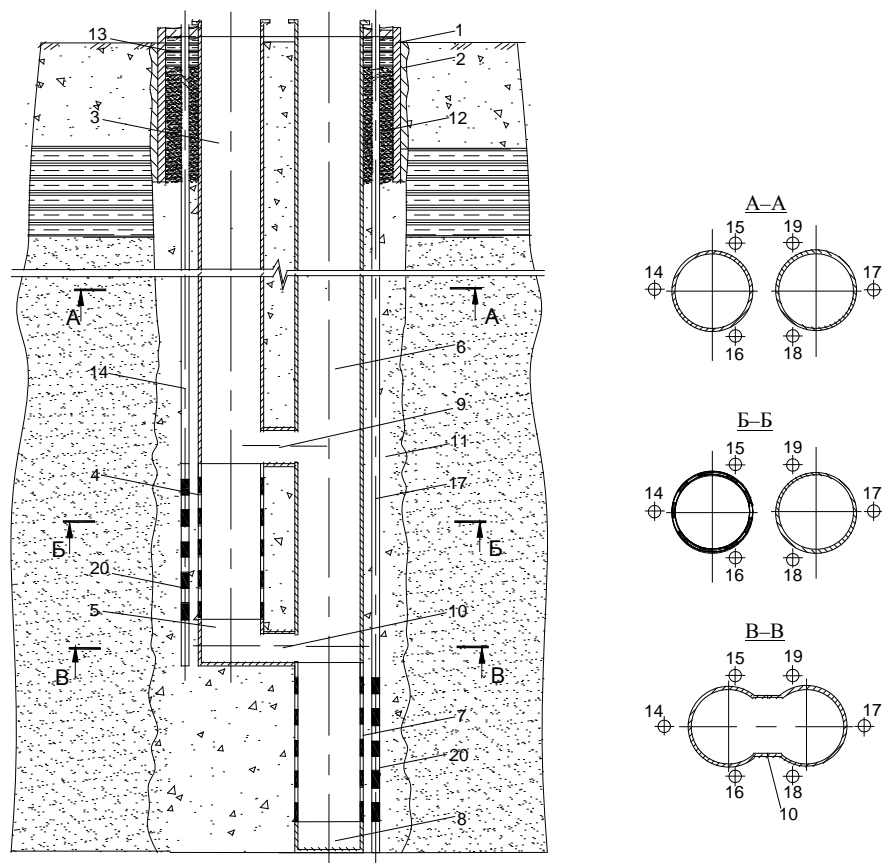


Рис. 1. Конструкция двухколонной двухуровневой водозаборной скважины: 1 – кондуктор; 2 – затрубная цементация; 3, 6 – эксплуатационная колонна первого и второго стволов; 4, 7 – фильтр первого и второго стволов с рабочей частью; 5, 8 – отстойник первого и второго стволов; 9, 10 – верхний и нижний соединительные патрубки; 11 – гравийная обсыпка; 12 – песчаная засыпка; 13 – глиняный замок; 14–19 – закачные трубки; 20 – перфорация

Fig. 1. Construction of two-column two-level water well: 1 – conductor; 2 – annular cementation; 3, 6 – production casing of the first and second wellbores; 4, 7 – filter of the first and second wellbores with working part; 5, 8 – sump of the first and second wellbores; 9, 10 – upper and lower connecting pipes; 11 – gravel packing; 12 – sand filling; 13 – clay lock; 14–19 – injection tubes; 20 – perforation

В скважине смонтированы два насоса по одному в каждой эксплуатационной колонне.

Для проведения декольматации каждого из гравийных фильтров предусмотрена система затрубной регенерации, включающая нагнетательные трубки для создания циркуляции реагента.

Основные расчетные зависимости

Определение длины рабочей части фильтра. Исходя из того, что оба фильтра гидравлически связаны между собой с помощью верхнего и нижнего соединительных патрубков, при индивидуальной работе любого из насосов будут работать оба фильтра. Это значит, что рабочая длина фильтра l_{ϕ} при индивидуальной работе насоса определится по формуле

$$l_{\phi} = l_{\phi 1} + l_{\phi 2}, \quad (1)$$

где $l_{\phi 1}$, $l_{\phi 2}$ – длина фильтра первого и второго стволов.

Длину рабочей части фильтра принимаем из условия обеспечения допустимой скорости воды на входе в него $v_{\phi, \text{доп}}$ и определяем по зависимости [3]

$$l_{\phi, \text{доп}} = \frac{Q_c}{\pi d_{\phi} v_{\phi, \text{доп}}}, \quad (2)$$

где Q_c – расчетная производительность скважины, $\text{м}^3/\text{сут.}$; d_{ϕ} – внешний диаметр гравийного фильтра скважины, м ; $v_{\phi, \text{доп}}$ – допустимая скорость воды на входе в фильтр, $\text{м}/\text{сут.}$

При отсутствии достоверных данных о составе водовмещающих пород допустимую скорость на входе в фильтр определяют по приближенной формуле С. К. Абрамова

$$v_{\phi, \text{доп}} = 65 \sqrt[3]{k}, \quad (3)$$

где k – коэффициент фильтрации водоносных пород пласта, $\text{м}/\text{сут.}$

Для гравийных фильтров используют зависимость

$$v_{\phi, \text{доп}} = 1000k \left(\frac{d_{\text{ср.пл}}}{d_{\text{ср.обс}}} \right)^2, \quad (4)$$

где $d_{\text{ср.пл}}$, $d_{\text{ср.обс}}$ – средний диаметр частиц пласта и обсыпки.

Расчет понижения уровня воды в скважине при работе одного насоса. Понижение в скважине с постоянным дебитом можно определить по формуле [8]

$$s_0 = \frac{Q_c \left(\ln \frac{R}{r_0} + \zeta_1 + \zeta_2 \right)}{2\pi k m}, \quad (5)$$

где r_0 – радиус скважины; R – радиус влияния скважины, который в предварительных расчетах принимается в зависимости от крупности частиц водоносных пород пласта: для песка: мелкого ($d = 0,10-0,25$ мм) $R = 50-100$ м, средней крупности ($d = 0,25-0,50$ мм) $R = 100-300$ м, крупного ($d = 0,5-1,0$ мм) $R = 300-400$ м, гравелистого ($d = 1,0-2,0$ мм) $R = 400-500$ м; для гравия: мелкого ($d = 2,0-3,0$ мм) $R = 400-600$ м, среднего ($d = 3,0-5,0$ мм) $R = 600-1500$ м, крупного ($d = 5,0-10,0$ мм) $R = 1500-3000$ м [3]; ζ_1 – поправка на несовершенство скважины по степени вскрытия пласта (l_{ϕ}/m); ζ_2 – то же по характеру вскрытия пласта, учитывающая дополнительное фильтрационное сопротивление; m – мощность пласта.

В [8] приведены значения поправки $\zeta_1 = f(l_{\phi}/m; m/r_c)$ как для случаев, когда водоприемная часть скважины примыкает к кровле или подошве пласта, так и для случаев расположения приемной части приблизительно посередине пласта. Поправка ζ_2 может быть приближенно определена по преобразованной формуле С. К. Абрамова [3]

$$\zeta_2 = \frac{0,2Ak^{0,5}m}{Q_c} \sqrt{s_0 v_{\phi, \text{доп}}}, \quad (6)$$

где A – параметр фильтрационного сопротивления, который может приниматься в пределах: 6–8 – для дырчатых и щелевых фильтров, 8–10 – для каркасно-стержневых фильтров с проволочной обмоткой и гравийной обсыпкой, 10–15 – для фильтров из штампованного листа с песчано-гравийной обсыпкой, 15–25 – для сетчатых фильтров.

Начальный динамический уровень воды $H_{\text{дин.нач}}$ в скважине при этом будет находиться на глубине

$$H_{\text{дин.нач}} = H_{\text{ст}} + s_0, \quad (7)$$

где $H_{\text{ст}}$ – статический уровень воды в скважине.

При длительной работе скважины с постоянным дебитом ее радиус влияния возрастает за счет сработки запасов подземных вод в пласте. Сопротивление пласта, характеризующее величиной $\ln(R/r_0)$, постоянно увеличивается, поэтому динамический уровень в скважине будет понижаться. При расчете дополнительного понижения уровня s_{0t} в несовершенной скважине на заданный срок эксплуатации ($t = 25$ лет) ограничиваются оценкой сопротивления только по степени вскрытия пласта ($\zeta_2 = 0$) и используют формулу [8]

$$s_{0t} = \frac{Q_c (R_{c0} + \zeta_1)}{4\pi km}, \quad (8)$$

где R_{c0} – безразмерное сопротивление при действии совершенной скважины.

Величину безразмерного сопротивления находят по формуле

$$R_{c0} = 2 \ln \frac{r_{\text{вл}}}{r_0}, \quad (9)$$

где $r_{\text{вл}}$ – параметр, зависящий от времени,

$$r_{\text{вл}} = 1,5\sqrt{at}, \quad (10)$$

где a – коэффициент пьезопроводности пласта, $a = km/\mu$; μ – коэффициент упругой водоотдачи; t – срок эксплуатации скважины.

Конечный динамический уровень при этом будет находиться на глубине

$$H_{\text{дин.кон}} = H_{\text{дин.нач}} + s_{0t}. \quad (11)$$

При известных гидравлических параметрах опорных скважин в районе строительства расчетное рабочее понижение определяют через их средний удельный дебит q

$$s_0 = Q_c / q. \quad (12)$$

Расчет понижения уровня воды в скважине при одновременной работе двух насосов. Если два насоса работают одновременно, каждый из стволов работает как самостоятельная скважина. Ствол с верхним фильтром в дальнейшем

будем именовать верхней скважиной, а ствол с нижним фильтром – нижней. Характеристикам верхней скважины присвоим индекс I, а нижней – индекс II. Для расчета понижений s_I и s_{II} в обеих скважинах при одновременной работе двух насосов с подачами Q_I и Q_{II} соответственно приведем предлагаемую конструкцию к расчетной схеме (рис. 2), где условно примем, что фильтры обоих стволов имеют общую вертикальную ось.

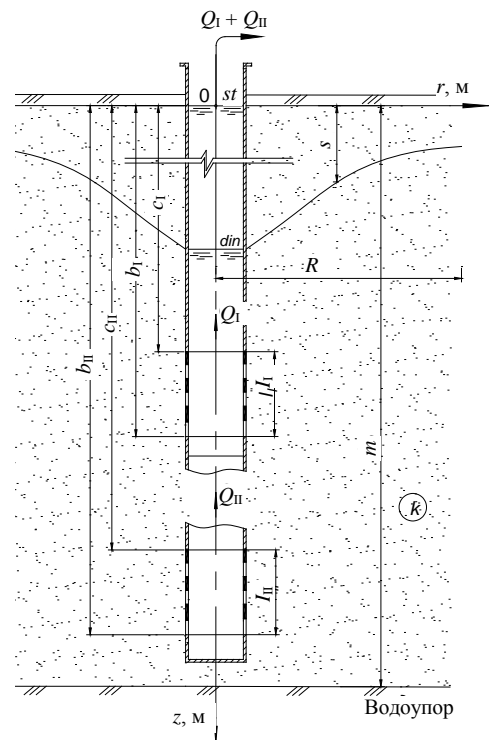


Рис. 2. Расчетная схема двухуровневой скважины

Fig. 2. Design scheme of two-level well

Когда водоносный пласт имеет водоупор, т. е. два фильтра работают в однородном водоносном пласте, понижение уровня воды в верхней скважине, в том числе под влиянием работы нижней, может быть представлено в следующем виде [9]:

$$s_I = \frac{Q_I}{2\pi km} \left(\ln \frac{R}{r_0} + \zeta_I + \varphi_{II} \right), \quad (13)$$

где r_0 – радиус фильтра; ζ_I – дополнительное сопротивление на несовершенство верхней скважины; φ_{II} – коэффициент, связанный с влиянием нижней скважины.

Дополнительное сопротивление

$$\zeta_I = \frac{1-l'}{c'} \left(\ln \frac{l_1}{r_0} - \varepsilon \right), \quad (14)$$

где $\varepsilon = f(b'; l')$; $b' = \frac{m-b_I}{m-l_1}$; $l' = \frac{l_1}{m}$; $b_I = c_I + l_1$ – расстояние нижнего конца верхнего фильтра от кровли пласта; $c' = \frac{c_I + l_1}{c_I}$.

Приняв $z = b_I$, значение φ_{II} представим в следующем виде:

$$\varphi_{II} = \frac{1,15}{\lambda} \left(\frac{m}{l_{II}} \zeta_{II} + \log \frac{R^2}{\beta_{II}} \right), \quad (15)$$

где $\beta_{II} = (2m - b_I)(m + b_I)$; $\zeta_{II} = \log \frac{b_{II}^2 - b_I^2}{c_{II}^2 - b_I^2} + \log \frac{2m - c_{II} - b_I}{2m - b_{II} - b_I}$; $b_{II} = c_{II} + l_{II}$ (рис. 2).

Если длина фильтра нижней скважины l_{II} невелика по сравнению с мощностью водоносного пласта, вторым слагаемым в уравнении по определению ζ_{II} можно пренебречь,

$$\text{т. е. } \zeta_{II} = \log \frac{b_{II}^2 - b_I^2}{c_{II}^2 - b_I^2}.$$

Таким образом, формула дебита верхней скважины запишется в следующем виде:

$$Q_I = \frac{2\pi k m s_I}{2,3 \log \frac{R}{r_0} + \zeta_I + \varphi_{II}}. \quad (16)$$

Аналогичным путем могут быть получены формулы для расчета дебита нижней скважины и понижения уровня в ней:

$$Q_{II} = \frac{2\pi k m s_{II}}{2,3 \log \frac{R}{r_0} + \zeta_{II} + \varphi_I}; \quad (17)$$

$$s_{II} = \frac{Q_{II}}{2\pi k m} \left(2,3 \log \frac{R}{r_0} + \zeta_{II} + \varphi_I \right), \quad (18)$$

где ζ_{II} – дополнительное сопротивление на несовершенство нижней скважины; φ_I – коэффициент, связанный с влиянием верхней скважины,

$$\varphi_I = 1,15\lambda \left(\frac{m}{l_I} \zeta_I + \log \frac{R^2}{\beta_I} \right), \quad (19)$$

$$\beta_I = (2m - c_{II})(m + c_{II});$$

$$\zeta_I = \log \frac{c_{II}^2 - b_I^2}{c_I^2 - c_{II}^2} + \log \frac{2m - c_I - c_{II}}{2m - b_I - c_I}.$$

Если длина фильтра верхней скважины l_I мала по сравнению с мощностью водоносного пласта, то вторым слагаемым в уравнении по определению ζ_I можно пренебречь. Тогда

$$\zeta_I = \log \frac{c_{II}^2 - b_I^2}{c_I^2 - c_{II}^2}.$$

Пример. Требуется запроектировать двух-колонную скважину в санатории-профилактории БНТУ, который находится на берегу Заславского водохранилища в 10 км от г. Минска, вблизи д. Приморье Минского района. Здесь с 1966 г. эксплуатируется одиночная типовая водозаборная скважина № 13642/66 производительностью $Q = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$, значительно снизившая свой удельный дебит, что привело к росту затрат электроэнергии на подъем и подачу воды. Это вызвало необходимость ее обследования с целью оценки ее технического состояния. Перспективным планом развития санатория-профилактория предусмотрено строительство бассейна и второго жилого корпуса, что требует увеличения производительности скважины и модернизации системы водоснабжения санатория. Производительность проектируемой скважины принимаем $Q_c = 15 \text{ м}^3/\text{ч} = 360 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Конструкции существующей и проектируемой буровых скважин представлены на рис. 3.

Глубина существующей скважины 39,5 м. Она каптирует воду из верхних четвертичных отложений, представленных днепровско-сожским водно-ледниковым комплексом, который распространен на глубине от 12,0 до 39,5 м. Отложения перекрыты двухметровым слоем красного суглинка с валунами в интервале 10–12 м. Водовмещающие породы представлены разнозернистым песком с гравием и галькой в интервале 12–16 м, гравием с галькой и валунами в интервале 16–38 м, мелкозернистыми песками в интервале 38,0–39,5 м. Водоносный горизонт напорный, статический уровень расположен выше кровли водоносного горизонта на отметке 10 м.

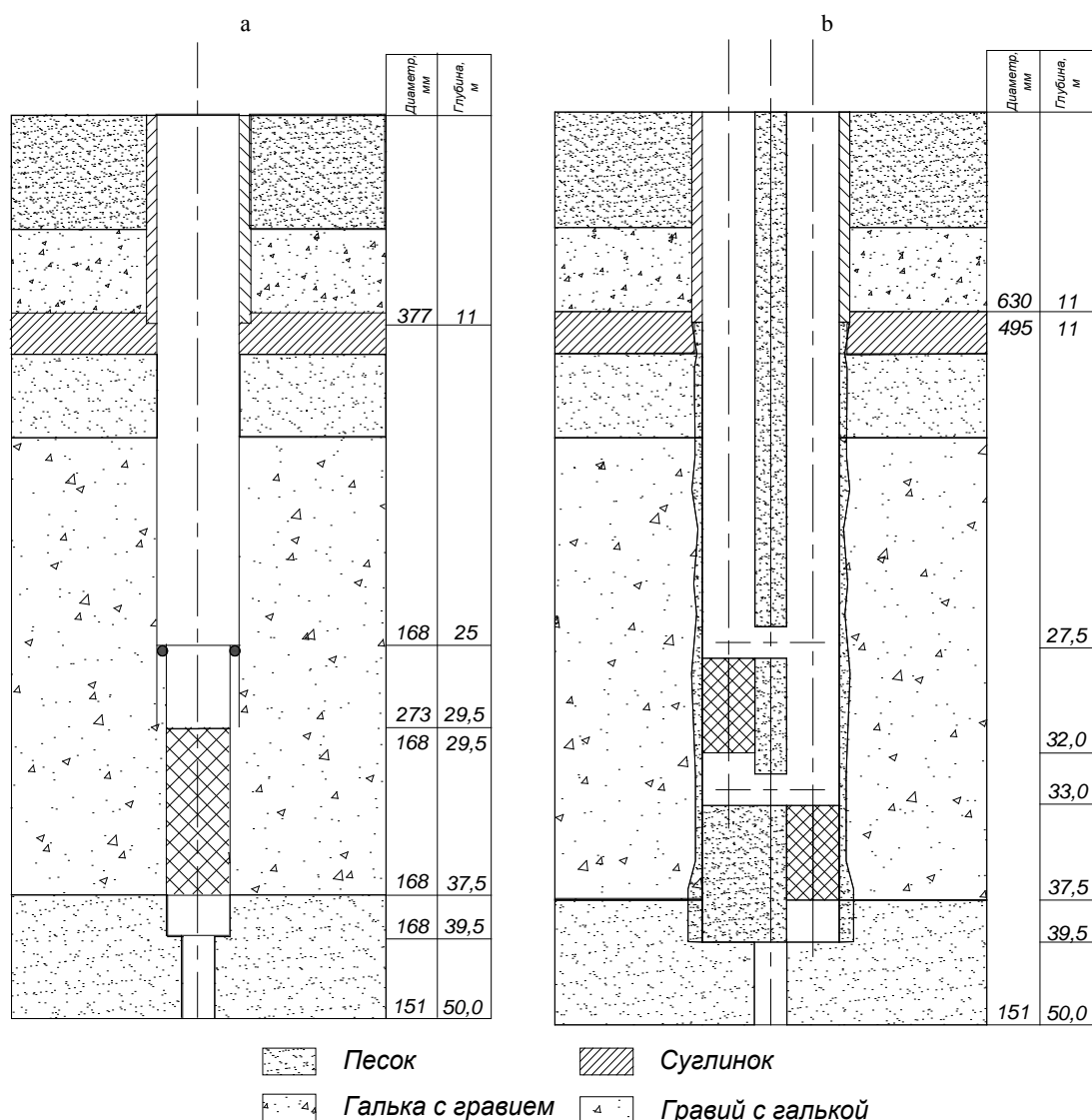


Рис. 3. Геолого-литологические разрезы буровых скважин: а – существующей № 13642/66; б – проектируемой
 Fig. 3. Geological and lithological sections of boreholes: a – existing No 13642/66; b – projected

Результаты обследования существующей скважины представлены в табл. 1.

Заключение по результатам обследования скважины. Продолжительность работы скважины составляет 54 года, что более чем в два раза превышает нормативный срок эксплуатации подобных сооружений (25 лет). За этот период удельный дебит скважины снизился с $q_0 = 10,00$ до $q_1 = 0,46$ м²/ч, т. е. в 21,7 раза. Произошло значительное снижение динамического уровня воды в стволе скважины, что привело к росту затрат электроэнергии на подъем воды. Скважина работает неэффективно вследствие того, что на ней не проводились работы по восстановлению производительности.

Фильтр – в аварийном состоянии в результате коррозии латунного сетчатого полотна, находящегося на трубчатом дырчатом каркасе. Можно также констатировать, что проведение работ по восстановлению производительности скважины в настоящее время нецелесообразно, так как связано с риском разрушения сетчатого фильтра из-за его естественной коррозии за время эксплуатации. Дальнейшая эксплуатация скважины связана с еще большим снижением ее производительности из-за прогрессирующей кольматации фильтра, с высокой вероятностью его разрушения и выхода скважины из строя. Скважина полностью выработала свой ресурс и подлежит перебурированию.

Результаты обследования скважины
Well survey results

Год строительства – 1966 г.		
Тип фильтра – сетчатый, с гравийной обсыпкой, на трубчатом перфорированном каркасе		
Рабочий интервал фильтра согласно паспорту 29,5–37,5 м, длина фильтра $l_{\phi} = 8$ м		
Диаметр фильтра – 168 мм		
Диаметр эксплуатационной колонны – 273 мм		
Параметр	Паспортные данные	Результат обследования
Глубина скважины, м	39,5	39,5
Статический уровень, м	10	10
Динамический уровень, м	12	23
Дебит, м ³ /ч	20	6
Понижение уровня, м	2	13
Удельный дебит, м ³ /ч/м	$q_0 = 10$	$q_1 = 0,46$
Изменение удельного дебита, разы	21,7	
Тип насоса	Эрлифт	ЭЦВ 6-6.5-55
Загрузка насоса, м	25,0	24,5
Диаметр водоподъемных труб, мм	114	64
Состояние станции управления насосом	–	Удовлетворительное

Конструкция двухколонной скважины

На рис. 3б показан геолого-литологический разрез двухколонной скважины. Для обеспечения бесперебойности подачи воды в профилакторий скважину снабжаем двумя фильтровыми колоннами, в каждой из которых будет установлен погружной насос. Это позволяет при выходе из строя одного из них включить в работу другой и осуществлять непрерывную подачу воды потребителю. Фильтры смещаем относительно друг друга, чтобы из пласта к каждому из них при работе своего насоса формировался отдельный фильтрационный поток. Так как объем выпадающих из воды отложений пропорционален объему прошедшей через гравийный фильтр воды, это позволит снизить интенсивность кольматации гравийной обсыпки напротив каждого из фильтров в процессе эксплуатации и повысить долговечность скважины. При расположении фильтров напротив друг друга будет формироваться общий фильтрационный поток, что может привести к интенсивному зарастанию интервала установки гравийных фильтров.

Бурение скважины. Вначале бурят разведочный ствол долотом диаметром $D = 151$ мм на глубину 50 м. Глубина скважины принимается 39,5 м. Разведочный ствол разбуривают долотом диаметром 680 мм от поверхности земли до глубины 5 м. Устанавливается съемный кондуктор диаметром 630 мм и длиной 5 м. Далее скважину бурят на глубину от 5,0 до 10,5 м трехшарошечным долотом диаметром 580 мм. Устанавливают и цементируют кондуктор диаметром 530 мм и длиной 12 м. Затем в кондуктор опускают трехшарошечное долото диаметром 495 мм и бурят скважину до глубины 39,5 м роторным способом с обратной промывкой. Конструкция фильтра принята в соответствии с [10]. Рабочая часть фильтра представляет собой трубчатый проволочный фильтр с трубчатым дырчатым каркасом диаметром 168 мм с проволочной обмоткой из нержавеющей стали толщиной профильной проволоки 3 мм. Наружный диаметр рабочей части фильтра 184 мм. Марка фильтра ФТП-168-3000 в соответствии с [10], выпускает его ОАО «Завод Промбурвод».

Водоносный горизонт в верхней части слагают разнозернистые пески с гравием и галь-

кой, в нижней – гравийно-галечные отложения. Средний коэффициент фильтрации водоносных пород пласта принимаем для песков средней крупности и гравелистых $k = 30$ м/сут. [8, табл. III.3].

Находим значение допустимой скорости

$$v_{\phi, \text{доп}} = 65\sqrt[3]{k} = 65\sqrt[3]{30} = 357,5 \text{ м/сут.}$$

Длину рабочей части фильтра рассчитываем по (2). Так как проволочный фильтр обсыпается снаружи гравийной обсыпкой, внешний диаметр гравийного фильтра $d_{\phi} = 495$ мм = 0,495 м, тогда его минимальная длина

$$l_{\phi, \text{доп}} = \frac{Q_c}{\pi d_{\phi} v_{\phi, \text{доп}}} = \frac{360}{3,14 \cdot 0,495 \cdot 357,5} = 0,65 \text{ м.}$$

Учитывая неоднородность состава водовмещающих пород и возможный кольматаж фильтра и гравийной обсыпки, с запасом принимаем $l_{\phi 1} = l_{\phi 2} = 4,5$ м общей длиной $l_{\phi} = 9,0$ м. Размещаем первый фильтр в интервале 27,5–32,0 м, второй – в интервале 33,0–37,5 м.

Подбор материала для обсыпки производим из соотношения: $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 8-12$, где d_{50} , D_{50} –

средний диаметр частиц соответственно водоносных пород и материала обсыпки.

Допустимую величину зазора между витками проволоки из опыта сооружения скважин с гравийной обсыпкой определяем по [1].

Расчет понижения уровня воды в скважине. Определяем понижение в скважине по известному удельному дебиту опорной скважины. Удельный дебит принимаем равным паспортному скважины № 13642/66: $q = 10$ м³/ч. Статический уровень $H_{\text{ст}}$, согласно акту обследования, находится на глубине 10 м.

Расчетное рабочее понижение при проектном дебите $Q_c = 15$ м³/ч составит

$$s_0 = Q_c / q = 15/10 = 1,5 \text{ м.}$$

Начальный динамический уровень при этом будет находиться на глубине

$$H_{\text{дин.нач}} = H_{\text{ст}} + s_0 = 10 + 1,5 = 11,5 \text{ м.}$$

Коэффициент фильтрации водовмещающих пород $k = 30$ м/сут. [8, табл. III.3]. Проектная мощность песков в расчетах принята $m = 26$ м.

Коэффициент упругой водоотдачи $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$ принимаем для гравелистых песков [8, табл. III.2]. Расчет произведен для напорного водоносного горизонта $km = 30 \cdot 26 = 780$ м²/сут., коэффициент пьезопроводности $a = km/\mu = 780/(4 \cdot 10^{-3}) = 19,5 \cdot 10^4$ м²/сут., радиус скважины принимаем $r_0 = 0,09$ м, время эксплуатации $t = 25$ лет $\approx 10^4$ сут., производительность $Q_c = 15$ м³/ч = 360 м³/сут. Поправка на несовершенство скважины по степени вскрытия пласта $\zeta_1 = 7,5$ при $l_{\phi}/m = 9/26 = 0,35$; $m/r_0 = 26/0,09 = 288$ [8, рис. IV.10].

Тогда дополнительное понижение уровня s_{0t} в проектируемой скважине на заданный срок эксплуатации ($t = 25$ лет) согласно (8) составит

$$s_{0t} = \frac{Q_c (R_{c0} + \zeta_1)}{4\pi km} = \frac{360 \left(2 \ln \frac{1,5\sqrt{19,5 \cdot 10^8} + 7,5}{0,09} + 7,5 \right)}{4 \cdot 3,14 \cdot 30 \cdot 26} = 1,25 \text{ м.}$$

Таким образом, конечный динамический уровень в конце расчетного срока эксплуатации проектируемой скважины

$$H_{\text{дин.кон}} = H_{\text{дин.нач}} + s_{0t} = 11,5 + 1,25 = 12,75 \text{ м.}$$

Поскольку верх фильтра находится на отметке 27,5 м, а динамический уровень через 25 лет снизится до отметки 12,75 м, работа скважины будет обеспечена в напорных условиях с затопленным фильтром.

ВЫВОДЫ

1. Предложена конструкция двухколонной двухфильтровой водозаборной скважины, вмещающей в себе рабочую и резервную скважины, находящиеся в одном буровом стволе, которую можно широко применять в области водоснабжения. По сравнению с типовой скважиной предлагаемая конструкция обладает повышенной надежностью и долговечностью, обеспечивает бесперебойность подачи воды потребителю.

2. Разработана методика расчета гидравлических параметров двухколонной двухфильтровой водозаборной скважины при работе одного и двух насосов одновременно.

3. Рассмотрен пример и изложены основы проектирования скважины предлагаемой конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скважинные водозаборы. Правила проектирования: ТКП 45-4.01-199–2010 (02250). Введ. 01.01.2011. Минск: Минстройархитектуры, 2011. 80 с.
2. Абрамов, С. К. Забор воды из подземного источника / С. К. Абрамов, В. С. Алексеев. М.: Колос, 1980. 239 с.
3. Старинский, В. П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов / В. П. Старинский, Л. Г. Михайлик. Минск: Высш. шк., 1989. 269 с.
4. Водозаборная скважина: а. с. 1448002SU, МКИ Е 03В 3/18 / В. П. Ткаченко. Опубл. 30.12.1988.
5. Плотников, Н. А. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод / Н. А. Плотников, В. С. Алексеев. М.: Стройиздат, 1990. 256 с.
6. Богомолов, Г. В. Бесфильтровые водозаборные скважины в рыхлых породах (теория и практика устройства) / Г. В. Богомолов, Р. А. Станкевич. Минск: Наука и техника, 1975. 152 с.
7. Медведева, Ю. А. Двухуровневая скважина для забора подземных вод / Ю. А. Медведева, В. В. Ивашечкин, Е. С. Сацута // Вода. Газ. Тепло-2020: матер. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Бел. нац. техн. ун-та, 100-летию каф. «Гидротехн. и энергет. стр-во, водный транспорт и гидравлика», 90-летию каф. «Теплогасоснаб. и вент.» / редкол. С. В. Харитончик [и др.]. Минск: БНТУ, 2020. С. 188–192.
8. Проектирование водозаборов подземных вод / А. И. Арцев [и др.], под ред. Ф. М. Бочевера. М.: Стройиздат, 1976. 292 с.
9. Линзы пресных вод пустыни: методы исследования, оценки ресурсов и эксплуатации / Акад. наук СССР. Ин-т географии. Упр. геологии и охраны недр при Совете Министров Туркм. ССР. Всесоюз. ин-т гидрогеологии и инж. геологии «ВСЕГИНГЕО» М-ва геологии и охраны недр СССР; редкол. В. Н. Кунин (отв. ред.) и др. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. 379 с.
10. Фильтры водозаборных скважин: ТУ РБ 0918241.084–96. Минск, 1996. 3 с.

Поступила 30.03.2021

Подписана в печать 27.05.2021

Опубликована онлайн 30.09.2021

REFERENCES

1. ТКП [Technical Code of Common Practice] 45-4.01-199–2010 (02250). *Downhole Water Intakes. Design Rules*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2011. 80 (in Russian).
2. Abramov S. K., Alekseev V. S. (1980) *Water Intake from an Underground Source*. Moscow, Kolos Publ. 239 (in Russian).
3. Starinsky V. P., Mikhailik L. G. (1989) *Water Intake and Treatment Facilities of Municipal Water Supply Systems*. Minsk, Vysshaya Shkola Publ. 269 (in Russian).
4. Tkachenko V. P. (1988) *Water well*. Inventor's Certificate No 1448002SU (in Russian).
5. Plotnikov N. A., Alekseev V. S. (1990) *Design and Operation of Groundwater Intakes*. Moscow, Stroiizdat Publ. 256 (in Russian).
6. Bogomolov G. V., Stankevich R. A. (1975) *Filterless Water Wells in Loose Rocks (Theory and Practice of the Device)*. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ. 152 (in Russian).
7. Medvedeva Yu. A., Ivashchkin V. V., Satsuta E. S. (2020) Two-Level Well for Groundwater Intake. *Water. Gas. Heat-2020: Proceedings of International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Belarusian National Technical University, the 100th Anniversary of "Hydraulic and Power Engineering, Water Transport and Hydraulics" Department, the 90th anniversary of "Heat and Gas Supply and Ventilation" Department*. Minsk, Belarusian National Technical University, 188–192 (in Russian).
8. Artsev A. I., Bochever F. M., Lapshin N. N., Oradovskaya O. E., Khokhlatov E. M. (1976) *Design of Groundwater Intakes*. Moscow, Stroiizdat Publ. 292 (in Russian).
9. Kumin V. N. (ed.) (1963) *Desert Freshwater Lenses: Research Methods, Resource Assessment and Exploitation*. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 379 (in Russian).
10. TU RB [Technical Specifications – Republic of Belarus] 0918241.084–96. *Water Well Filters*. Minsk, 1996. 3 (in Russian).

Received: 30.03.2021

Accepted: 27.05.2021

Published online: 30.09.2021