

РЕАГЕНТНАЯ ДЕКОЛЬМАЦИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН МЕТОДОМ СВАБИРОВАНИЯ В ЗАМКНУТЫХ КАМЕРАХ

В.В. Ивашечкин¹, доктор технических наук, профессор

А.М. Шейко¹, кандидат технических наук, доцент

Ю.А. Медведева¹, ассистент

г. Минск, Беларусь

А.Н. Глинская², младший научный сотрудник

И.Е. Иванова¹, аспирант

¹ Белорусский национальный технический университет

² РУП «Центральный научно-исследовательский институт

комплексного использования водных ресурсов»

г. Минск, Беларусь

Аннотация

В статье рассматривается циркуляционная реагентная обработка фильтров водозаборных скважин способом свабирования. Описывается и проводится расчет влияния конструктивных размеров погружного устройства и режимов регенерации фильтра на параметры фильтрационного потока в гравийной обсыпке водозаборной скважины.

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

Abstract

V.V. Ivashechkin, A.M. Sheiko, Ju.A. Medvedeva, A.N. Glinskaya, I.E. Ivanova

REAGENT DECOLMATION OF WATER INTAKE WELLS USING SWABBING IN CLOSED CAMERA

The circulation reagent treatment of water wells filters by swabbing method is described. It is shown and calculated how constructive dimensions of submersible device and filter regeneration affect parameters of filtration flow in gravel backfilling of water intake well.

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

Введение

В процессе эксплуатации удельный дебит скважин снижается по причине уменьшения проницаемости фильтра и прифильтровой зоны, из-за протекания кольматационных процессов. Обеспечить добычу воды на прежнем уровне можно применением технологий восстановления работоспособности старых скважин. Затраты на увеличение производительности уже существующих скважин меньше затрат на перебурирование скважин и составляют от 5 до 10 % от стоимости новой скважины. Эксплуатация скважины без проведения профилактических и ремонтных мероприятий не только приводит к снижению ее дебита, но и влечет за собой перерасход электроэнергии на подъем воды.

Для восстановления дебита водозаборных скважин путем удаления остатков бурового раствора и продуктов химического кольматажа, представленных солевыми и железистыми отложениями, широко применяются механические, гидродинамические, импульсные, вибрационные, реагентные и комбинированные методы. Каждый метод имеет свою область применения. Например, свабирование, относя-

щееся к гидродинамическому методу и представляющее собой подъем поршня (сваба) в фильтре, обеспечивает создание депрессии на водоносный пласт, и как результат – разрушение и вынос только малопрочных отложений из фильтра и гравийной обсыпки [1–3]. Импульсный метод регенерации в большинстве случаев только разрушает прочный кольматирующий осадок, но не извлекает его за пределы прифильтровой зоны [4–5]. Реагентный метод регенерации, за счет растворения отложений лучше восстанавливает структуру, пористость и проницаемость, прилегающих к фильтру пород, обеспечивает больший межремонтный период, но экономически оправдан при длительных сроках эксплуатации скважин, когда импульсные методы уже неэффективны [4–6]. Применяются три основных реагентных способа регенерации: 1) реагентная ванна; 2) циклическое задавливание реагента за контур фильтра сжатым воздухом; 3) циркуляция реагента в прифильтровой зоне скважины. Реагентная ванна и циклическое задавливание реагента не всегда обеспечивают полное извлечение кольматирующего осадка из прифильтровой зоны и фильтра скважины из-за неравномерности

обработки. Циркуляционные способы регенерации скважин наиболее перспективны, так как они могут обеспечить необходимую глубину и равномерность очистки в длительно эксплуатирующихся скважинах при цементированности кольматирующего осадка и значительной глубине его распространения [7]. Традиционные циркуляционные способы предполагают установку в погружном устройстве для регенерации специального реагентного осевого насоса с электродвигателем, который постоянно находится в реагентной среде и закачивает ее в нагнетательную секцию фильтра, а забирает из всасывающей секции, причем секции соединены друг с другом только через гравийную обсыпку [6].

Недостатки циркуляционных способов, сдерживающих их применение на практике:

1) сложность применяемого технологического оборудования, особенно погружного устройства, обеспечивающего циркуляцию реагента, которое не является универсальным и не может применяться в фильтрах различных диаметров;

2) необходимость в последующем монтаже эрлифта для удаления продуктов реакции, приводящем к удорожанию обработок.

Предложено также для создания циркуляции реагента размещать в погружных устройствах для регенерации специальные поршневые насосы с системой рабочих камер и клапанов [8,9]. Однако при тех же недостатках наблюдаются значительные гидравлические потери напора в рабочих камерах и клапанах при перемещениях поршня, что не позволяет создать нужный перепад давления между полостями нагнетания и всасывания для создания интенсивного фильтрационного потока реагента в гравийной обсыпке.

Из вышеуказанного следует, что дальнейшее совершенствование технологий циркуляционной регенерации, обеспечивающих равномерное удаление кольматирующего осадка, является актуальной научно-технической задачей.

Основная часть

В БНТУ предложено осуществлять циркуляционную реагентную обработку фильтров водозаборных скважин способом свабиrowания, проводимого поинтервально на участке фильтра, ограниченного двумя пакерами и заполненного реагентом. Это позволяет монтировать погружное устройство, содер-

жащее поршень (сваб), на водоподъемных трубах эрлифта, и использовать для привода сваба то же грузоподъемное устройство, что и для монтажа эрлифта. Перемещая вверх сваб непосредственно в фильтре между двух пакеров, можно создать избыточное давление над свабом, которое инициирует фильтрационный поток реагента, огибающий сваб по гравийной обсыпке и направленный под сваб в зону пониженного давления. В этом заключается основное отличие предлагаемого способа от свабиrowания в открытом стволе под статическим уровнем, когда перепад давления при подъеме сваба определяется статическим напором воды в пласте, поэтому при небольших глубинах свабиrowание в открытом стволе неэффективно [1].

Целью настоящей работы является установление влияния конструктивных размеров погружного устройства и режимов регенерации фильтра на параметры фильтрационного потока в гравийной обсыпке.

Приводятся теоретические основы расчета нового способа реагентной обработки скважин.

Схема обработки участка гравийного фильтра, ограниченного пакерами, представлена на рисунке 1.

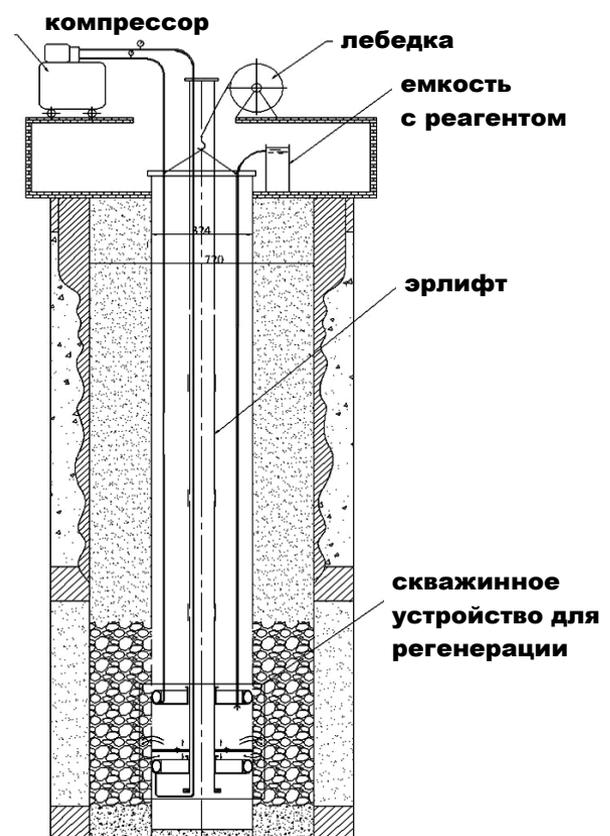


Рисунок 1. – Схема реагентной обработки фильтра на основе метода линейного свабиrowания в замкнутой камере

Установка для регенерации скважин включает в себя лебедку, компрессор, емкость с реагентом, эрлифт, собранный из водоподъемных труб с муфтовыми соединениями и устройство для регенерации, смонтированное в нижней части эрлифта.

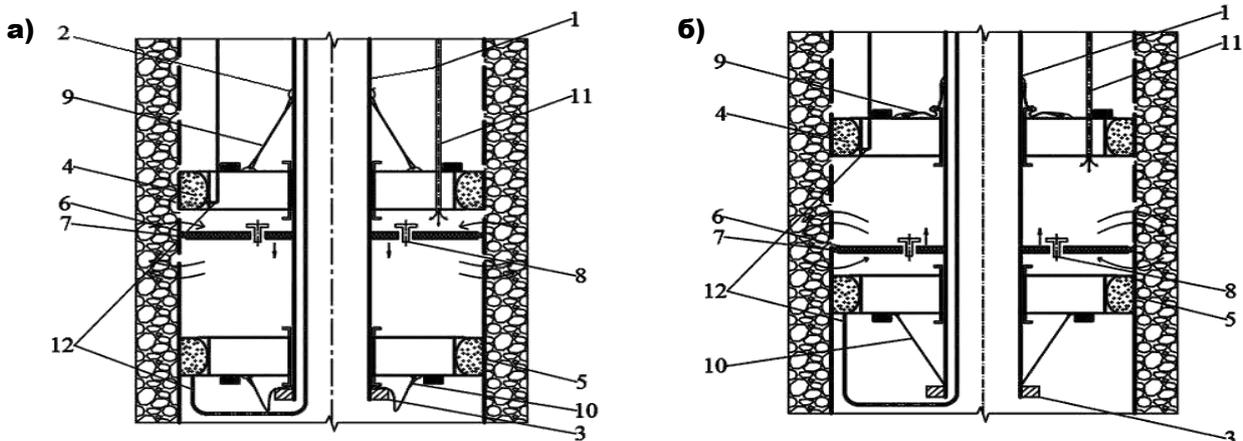
В фильтре искусственно создают рабочую камеру, в которой принудительно перемещают сваб вверх (рабочий ход) с заданной скоростью. В верхней полости рабочей камеры над диском создается избыточное давление, а в нижней полости под диском – пониженное давление. Под действием перепада давлений поток реагента из верхней полости огибает сваб по гравийной обсыпке, производя растворение и вынос кольматирующих отложений. При достижении верхней точки сваб под действием собственного веса и веса труб (штанг), на которых он жестко закреплен, перемещается в нижнюю точку (свободный ход). Рабочие ходы повторяют до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень регенерации участка фильтра. Затем скважинное устройство для регенерации, содержащее два пакера и сваб, жестко закрепленный на трубе, перемещают на новый участок фильтра и процесс повторяют. Предлагаемый способ обработки по сравнению с линейным свабированием, осуществляемым без пакеров и реагента, повышает продольную и радиальную скорости реагента в гравийной обсыпке, снижает его утечки в ствол скважины, интенсифицирует процессы растворения и удаления кольматанта.

Скважинное устройство для регенерации показано на рисунке 2. Устройство включает в себя

штангу с верхним и нижним упорами, верхний и нижний пневматические пакеры, сваб с кольцевой манжетой и обратными клапанами, верхнюю и нижнюю тросовые подвески, шланг для подачи реагента, воздухопроводы.

Сваб жестко прикреплен к штанге, закрепленной на нижней водоподъемной трубе. Штанга установлена относительно пневматических пакеров с возможностью перемещения. Ход пакеров вдоль штанги ограничен упорами и тросовыми подвесками. При спуске в фильтр скважины пневматические пакеры находятся в транспортном положении, при этом их пневмокамеры сообщаются с атмосферой. Устройство для регенерации опускают в нижнюю часть фильтра, останавливают лебедку, фиксируют пакеры, подавая в них сжатый воздух от компрессора. При этом в исходном положении нижний пакер находится на нижнем упоре (верхняя тросовая подвеска растянута), а сваб находится в верхней точке (рисунк 2, а). Затем лебедкой опускают водоподъемные трубы и штангу вниз на такое расстояние, чтобы сваб сместился в нижнюю точку рабочей камеры. При своем движении вниз сваб вытесняет реагент из нижней полости рабочей камеры через клапаны в верхнюю полость рабочей камеры (холостой ход). Некоторая часть реагента вытесняется из фильтра и огибает сваб по гравийной обсыпке.

Из крайнего нижнего положения (рисунк 2,б) сваб лебедкой поднимают вверх с заданной скоростью (рабочий ход). Под действием избыточного давления в верхней полости рабочей камеры реагент



1. – штанга; 2. – верхний упор; 3. – нижний упор; 4. – верхний пневматический пакер; 5. – нижний пневматический пакер; 6. – сваб; 7. – кольцевая манжета; 8. – обратный клапан; 9. – верхняя тросовая подвеска; 10. – нижняя тросовая подвеска; 11. – шланг для подачи реагента, 12. – шланги для подачи воздуха

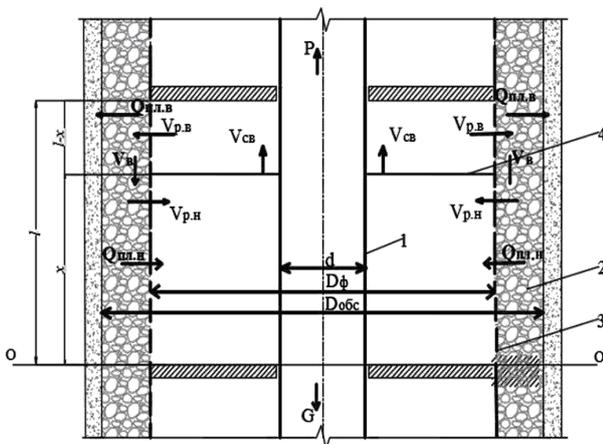
а) – начальное положение сваба при ходе «вниз»; б) – начальное положение сваба при ходе «вверх»

Рисунок 2. – Скважинное устройство для регенерации

частично вытесняется в пласт, однако благодаря созданию пониженного давления под свабом, большая часть расхода реагента огибает сваб по гравийной обсыпке и поступает в нижнюю полость рабочей камеры. Одновременно сюда привлекается дополнительный расход из пласта. После достижения верхней точки, сваб опускают (холостой ход). Движения сваба повторяют до стабилизации электропроводности на участке обработки, измеряемой датчиком (на рисунке не показан). Так как очистка осуществляется поинтервально, то на следующий уровень перемещение происходит следующим образом: камеры пакеров сдувают и поднятием штанги с пакером устройство перемещается на необходимую отметку. Толкателем для верхнепакера служит сваб, а для нижнего пакера – нижний упор штанги. Реагент из емкости подают в рабочую камеру, процесс повторяют, пока не обработают весь фильтр. После этого, не доставая устройство для регенерации, подают в водоподъемные трубы сжатый воздух и производят через штангу эрлифтную откачку продуктов реакции.

Расчет параметров фильтрационного потока

Рассмотрим расчетную схему свабирования между двумя неподвижными пакерами (рисунок 3). Установим взаимосвязь между скоростью движения сваба $v_{св}$ в рабочей камере и параметрами фильтрационного потока: радиальной v_r и вертикальной v_e скоростями фильтрационного потока в гравийной обсыпке. Начало отсчета плоскость 0-0 расположим на уровне нижнего пакера. Будем задавать шаг движения диска x_1 . Пусть сваб движется вверх со скоростью $v_{св}$.



1.– штанга; 2. – равийная обсыпка;
3. – фильтр; 4 - сваб

Рисунок 3. – Расчетная схема регенерации участка фильтра

Из уравнения неразрывности следует, что расход жидкости $Q_в$, вытесняемый свабом из верхней полости рабочей камеры при его подъеме, равен расходу $Q_н$, поступающему в нижнюю полость рабочей камеры:

$$Q_в = Q_н = v_{св} \cdot \omega_{св}, \tag{1}$$

где $\omega_{св}$ – рабочая площадь диска, равная

$$\omega_{св} = \frac{\pi}{4} (d_{\phi}^2 - d^2),$$

d_{ϕ} – внутренний диаметр фильтра,

d – диаметр штанги.

При движении сваба вверх в верхней полости рабочей камеры создается избыточное положительное давления $\Delta p_в$, а в нижней полости – отрицательное давление ($-\Delta p_н$) по отношению к гидростатическому давлению $p_г$, определяемому давлением столба жидкости высотой H и плотностью ρ , т.е. $p_г = \rho g H$. Под действием избыточного давления $\Delta p_в$ жидкость вытесняется из верхней камеры в пласт с расходом $Q_{в.пл.}$, а под действием перепада давления между камерами $\Delta p_{в-н}$ перетекает по гравийной обсыпке из верхней полости-в нижнюю с расходом $Q_{пер.в-н}$.

Перепад давления между полостями:

$$\Delta p_{в-н} = \Delta p_в - (-\Delta p_н) = \Delta p_в + \Delta p_н. \tag{2}$$

Баланс расходов в верхней камере

$$Q_в = Q_{пл.в.} + Q_{пер.в-н}. \tag{3}$$

Баланс расходов в нижней камере:

$$Q_н = Q_{пл.н.} + Q_{пер.в-н}, \tag{4}$$

где $Q_{пл.н.}$ – расход, поступающий из пласта в нижнюю камеру.

Так как согласно формуле (1) $Q_в = Q_н$, приравняем (3) и (4) и получаем, что расходы жидкости, нагнетаемой в пласт из верхней камеры и забираемой из пласта в нижнюю камеру, равны между собой:

$$Q_{пл.в.} = Q_{пл.н.} \tag{5}$$

Расход протекания $Q_{пер.в-н}$ определяем по формуле:

$$Q_{пер.в-н} = \omega_{обс} \cdot v_{г}, \tag{6}$$

где $\omega_{обс}$ – поперечное сечение гравийной обсыпки с наружным диаметром $D_{обс}$, равное

$$\omega_{обс} = \frac{\pi}{4}(D_{обс}^2 - D_{\phi}^2),$$

D_{ϕ} – внешний диаметр фильтра.

Учитывая, что процесс свабирования осуществляется с высокими скоростями перемещения сваба $0,1 \text{ м/с} < v_{двс} < 0,4 \text{ м/с}$, фильтрационный поток огибающий диск по гравийной обсыпке, будет иметь турбулентный режим движения. Тогда вертикальную скорость v_B фильтрационного потока на уровне сваба в гравийной обсыпке будем находить для случая турбулентной фильтрации при квадратичном сопротивлении [11]:

$$v_B = k \cdot \sqrt{l} = k \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{в-н}}{\rho g \delta}}, \quad (7)$$

откуда с учетом (6)

$$Q_{пер.в-н} = \omega_{обс} \cdot k \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{в-н}}{\rho g \delta}}, \quad (8)$$

где l – гидравлический уклон; k – коэффициент турбулентной фильтрации материала гравийной обсыпки; δ – длина пути фильтрации.

Расход, поступающий в нижнюю полость рабочей камеры из пласта $Q_{пл.н}$, найдем через удельный дебит скважины q , полученный по результатам натурных испытаний. Сделаем допущения о том, что:

1) дебит скважины Q меняется пропорционально глубине понижения статического уровня S , т.е. удельный дебит скважины $q = Q/S = const$;

2) приток воды из пласта при испытании скважины откачкой перед работами по регенерации равномерно распределен по длине фильтра.

Отсюда следует, что если удельный дебит скважины, имеющей фильтр длиной L_{ϕ} равен q , то удельный дебит участка обработки q_n длиной x равен:

$$q_n = \frac{q}{L_{\phi}} \cdot x. \quad (9)$$

Тогда зная, что удельный дебит q_n – это расход, приходящийся на один метр понижения напора в нижней камере, получим:

$$\frac{\Delta p_n}{\rho g} = \frac{Q_{пл.н}}{q_n}, \text{ откуда}$$

$$\Delta p_n = \rho g \frac{Q_{пл.н} \cdot L_{\phi}}{q \cdot x}. \quad (10)$$

Допустим, что гидравлические сопротивления одного и того же участка фильтра при заборе жидкости через него из пласта и при нагнетании жидкости через него в пласт равны. Тогда по аналогии для верхней полости камеры длиной $(l-x)$ получим:

$$q_v = \frac{q}{L_{\phi}} \cdot (l-x), \quad (11)$$

$$\text{откуда} \quad \Delta p_v = \rho g \frac{Q_{пл.в} \cdot L_{\phi}}{q \cdot (l-x)}. \quad (12)$$

Выразим из (8) $\Delta p_{в-н}$:

$$\Delta p_{в-н} = \frac{\rho \cdot g \cdot \delta}{k^2 \cdot \omega_{обс}^2} Q_{пер.в-н}^2 \quad (13)$$

Подставим (10), (12) и (13) в (2), получим:

$$\begin{aligned} \frac{\rho \cdot g \cdot \delta}{k^2 \cdot \omega_{обс}^2} Q_{пер.в-н}^2 &= \\ &= \rho g \frac{Q_{пл.в} \cdot L_{\phi}}{q \cdot (l-x)} + \rho g \frac{Q_{пл.н} \cdot L_{\phi}}{q \cdot x}. \end{aligned}$$

Так как согласно (5) $Q_{пл.в} = Q_{пл.н}$, получим:

$$\frac{\delta \cdot Q_{пер.в-н}^2}{k^2 \cdot \omega_{обс}^2} = Q_{пл.в} \cdot \frac{L_{\phi} \cdot l}{q \cdot x(l-x)}.$$

Выразим $Q_{пл.в}$, получим

$$\begin{aligned} Q_{пл.в} &= \left(\frac{\delta \cdot q \cdot x(l-x)}{k^2 \cdot \omega_{обс}^2 \cdot L_{\phi} \cdot l} \right) \cdot Q_{пер.в-н}^2 = \\ &= a \cdot Q_{пер.в-н}^2. \end{aligned} \quad (14)$$

Подставим (14) в формулу (3), получим квадратное уравнение относительно расхода перетекания из верхней полости в нижнюю $Q_{пер.в-н}$:

$$a \cdot Q_{пер.в-н}^2 + Q_{пер.в-н} - Q_a = 0. \quad (15)$$

Так как расход $Q_{пер.в-н}$ является величиной положительной, решением уравнения (15) является выражение:

$$Q_{пер.в-н} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4a \cdot Q_a}}{2a}.$$

Зная $Q_{пер.в-н}$, вертикальную скорость v_B в гравийной обсыпке напротив сваба найдем из формулы (6):

$$v_B = \frac{Q_{пер.в-н}}{\omega_{обс}}. \quad (16)$$

Радиальную скорость $v_{P.B.}$ в верхней полости камеры с учетом формулы (14):

$$v_{P.B.} = \frac{Q_{пл.в}}{\omega_в} = \frac{a \cdot Q_{пер.в-н}^2}{\pi \cdot D_{\phi} \cdot (l - x)}, \quad (17)$$

где $\omega_в$ – площадь наружной боковой поверхности фильтра напротив верхней полости камеры, равная $\omega_в = \pi \cdot D_{\phi} \cdot (l - x)$.

Тяговое усилие P лебедки, необходимое для перемещения диска с заданной скоростью, равно:

$$P = \frac{g(m_{тр} \cdot l_{тр} + m_{устр})}{\eta_{мех}} + (\Delta p_{в-н} + \Delta p_{в.пл.}) \cdot \omega_{дис}, \quad (18)$$

где $m_{тр}$ – масса 1 метра погонного водоподъемных труб; $l_{тр}$ – общая длина водоподъемных труб; $m_{устр}$ – масса устройства для регенерации без пакеров; $\eta_{мех}$ – механический КПД, учитывающий трение манжеты пакера о стенки фильтра.

Пример

Рассчитаем режимы регенерации для скважины глубиной 65м, которая снизила удельный дебит с $q=20$ м²/ч до $q=5$ м²/ч= $0,00139$ м²/с.

Дано: Внутренний диаметр фильтра $d_{\phi}=0,305$ м; внешний диаметр фильтра $D_{\phi}=0,34$ м; наружный диаметр гравийной обсыпки $D_{обс}=0,54$ м; диаметр

штанги $d=0,04$ м; водоподъемные трубы – стальные электросварные длиной $l_{тр}=60$ м, диаметром 102 мм с толщиной стенки 5 мм, массой 1м.п. равной $m_{тр}=12$ кг; масса устройства для регенерации $m_{устр}=30$ кг; длина фильтра $L_{\phi}=18$ м; коэффициент фильтрации материала гравийной обсыпки (гравий с зернами размером 2мм), равный $k=3$ см/с= $0,03$ м/с [11].

Назначим шаг вычислений $x_1=0,1$ м. Проведем расчеты в интервале $l-x_1$. Зададим длину участка обработки $l=1$ м.

Зададим путь фильтрации при обтекании диска, равный двойной толщине гравийной обсыпки:

$$\delta = (D_{обс} - D_{\phi}) = 0,54 - 0,34 = 0,2 \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения гравийной обсыпки:

$$\omega_{обс} = \frac{3,14}{4} (0,54^2 - 0,34^2) = 0,138.$$

Площадь наружной боковой поверхности фильтра $\omega_в$ напротив верхней полости камеры:

$$\omega_в = \pi \cdot D_{\phi} \cdot (l - x) = 3,14 \cdot 0,34(1 - 0,1) = 0,96 \text{ м}^2.$$

Находим переменную a :

$$a = \frac{\delta \cdot q \cdot x(l-x)}{k^2 \cdot \omega_{обс}^2 \cdot L_{\phi} \cdot l} = \frac{0,2 \cdot 0,00139 \cdot 0,1(1-0,1)}{0,03^2 \cdot 0,14^2 \cdot 18 \cdot 1} = 0,0788 \text{ (с/м}^3\text{)}.$$

Площадь сваба равна:

$$\omega_{св} = \frac{3,14}{4} (0,305^2 - 0,04^2) = 0,071 \text{ м}^2.$$

Определим расход жидкости в верхней камере при скорости подъема сваба $v_{св}=0,4$ м/с

$$Q_в = v_{св} \cdot \omega_{св} = 0,4 \cdot 0,071 = 0,0287 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Определяем расход перетекания:

$$Q_{пер.в-н} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4a \cdot Q_в}}{2a} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4 \cdot 0,0788 \cdot 0,029}}{2 \cdot 0,0788} = 0,0286 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Определяем вертикальную скорость фильтрационного потока:

$$v_B = \frac{Q_{пер.в-н}}{\omega_{обс}} = \frac{0,0286}{0,138} = 0,207(м/с).$$

Определяем радиальную скорость фильтрационного потока:

$$v_{P.B.} = \frac{Q_{пл.в}}{\omega_в} = \frac{a \cdot Q_{пер.в-н}^2}{\omega_в} = \frac{0,0788 \cdot 0,0296^2}{0,96} = 0,00007(м/с).$$

Расход, поступающий в пласт из верхней камеры, и забираемый из пласта нижней камерой, выразим из формулы (3):

$$Q_{пл.в} = Q_в - Q_{пер.в-н} = 0,0297 - 0,0296 = 0,0001 м^3/с.$$

Давление в верхней камере находим по формуле (10):

$$\Delta p_в = 1000 \cdot 9,8 \frac{0,000106 \cdot 18}{0,00139 \cdot (1-0,1)} = 14946 Па.$$

Перепад давления при перетекании из верхней полости в нижнюю находим по формуле (11):

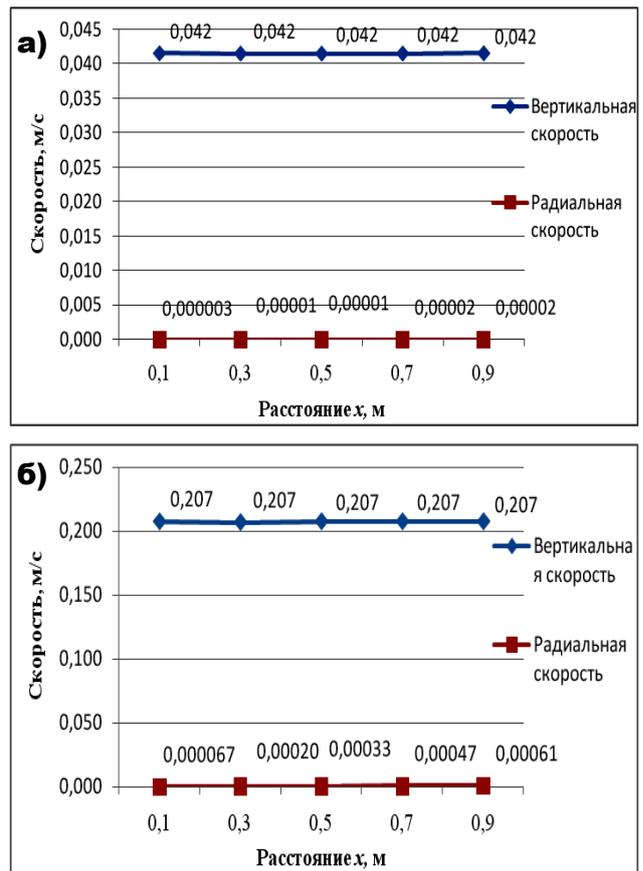
$$\Delta p_{в-н} = \frac{\rho \cdot g \cdot \delta}{k^2 \cdot \omega_{обс}^2} Q_{пер.в-н}^2 = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,2}{0,03^2 \cdot 0,14^2} \cdot 0,0286^2 = 93600 Па.$$

Зная давление в верхней камере, находим тяговое усилие P лебедки на шаге x_1 по формуле (18):

$$P = \frac{9,8(12 \cdot 60 + 30)}{0,9} + (93600 + 14947) \cdot 0,072 = 15957 Н \approx 15,9 кН.$$

Результаты расчетов параметров фильтрационного потока при скоростях сваба $v_{св}=0,08$ м/с и $v_{св}=0,4$ м/с (шаг вычислений $x_1=0,1$ м на участке обработки $l=1$ м) представлены на рисунке 4.

Из графиков следует, что вертикальная скорость $v_в$ остается неизменной на участке обработки при постоянной скорости подъема сваба $v_{св}=const$, а радиальная скорость v_p в гравийной обсыпке напротив верхней камеры равномерно возрастает по мере



а) $v_{св}=0,08$ м/с; б) $v_{св}=0,4$ м/с

Рисунок 4. – График зависимости вертикальной $v_в=f(x)$ и радиальной $v_p=f(x)$ скоростей в гравийной обсыпке верхней камеры от высоты подъема сваба x при различных скоростях движения сваба

подъема сваба и сокращения площади нагнетания. Сравнение значений радиальной и вертикальной скоростей показывает, что вертикальная скорость значительно (более чем на порядок) превышает радиальную скорость при заданных фильтрационных параметрах фильтра и гравийной обсыпки. Отсюда следует, что основной вклад в интенсификацию растворения и выноса кольматирующих отложений будет вносить вертикальный фильтрационный поток, так как согласно Веригину Н.Н. коэффициент массопереноса при растворении отложений пропорционален скорости фильтрации в степени $1/2$, т.е. $\beta_1 \sim v^{0,5}$ [11]. Алексеевым В.С., Коммунаром Г.М. теоретически и экспериментально доказано, что за счет увеличения скорости движения реагента интенсифицируется процесс растворения и выноса продуктов реакции из прифильтровой закольматированной зоны скважины [12].

На рисунке 5 представлена зависимость вертикальной скорости в гравийной обсыпке напротив свабы от скорости подъема свабы – $v_v = f(v_{св})$.

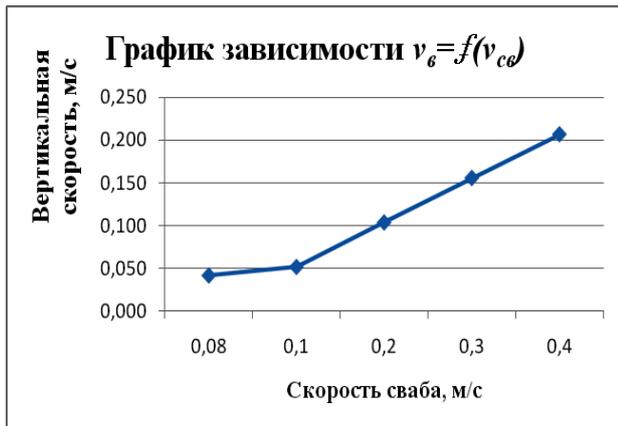


Рисунок 5. – График зависимости $v_v = f(v_{св})$

Из графика следует, что при возрастании скорости свабы с 8 до 40 см/с, вертикальная скорость

промывного фильтрационного потока в обсыпке напротив свабы увеличивается с 4 см/с до 20 см/с, т.е. прямо пропорционально.

Выводы

Разработана конструкция установки для поинтервальной реагентной декольматации фильтров на основе метода линейного свабирования в замкнутой камере, заполненной реагентом.

Разработана методика расчета гидродинамических параметров фильтрационного потока в гравийной обсыпке в зависимости от конструктивных параметров погружного устройства для регенерации, фильтрационных параметров гравийного фильтра и режимов обработки.

Получены аналитические зависимости для расчета радиальной и вертикальной скорости фильтрационного потока в гравийной обсыпке, рассмотрен пример расчета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Квашнин, Г.П. Технология вскрытия и освоения водоносных пластов / Г.П.Квашнин. – М. : Недра, 1987. – 247с.
2. Тугай, А.М. Водоснабжение из подземных источников / А.М. Тугай, И.Т. Прокопчук // Справочник. – Киев.: Урожай, 1990. – 264 с.
3. Analysis of development Methods for gravel envelope wells [Electronic resource]. – Режим доступа: <http://roscoemoss.com/technical-resources/publications/> – Дата доступа 22.11.14.
4. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду / Д.Н. Башкатов [и др.] – М. : Недра, 1988. – 268 с.
5. Алексеев, В.С. Восстановление дебита водозаборных скважин / В.С. Алексеев, В.Т. Гребенников. – М. : «Агропромиздат», 1987. – 239 с.
6. Houben, G. Regenerierung und sanierung von Brunnen / G. Houben, C. Treskatis. – Munchen: Oldenbourgindustriever, 2003. – 280 s.
7. Шейко, А.М. Циркуляционно-реагентная регенерация скважин на воду: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04, 05.23.16 / А.М. Шейко. – Минск, 2008. –135 с.
8. Устройство для реагентной обработки скважин на воду: а. с. 1597423 SU, Е ОЗ В 3/15 / В.Т. Гребенников, В. Е. Воропанов, Ю.А. Качура, К.Г. Иванищев, В.А. Попов; Всесоюзный НИИ ВОДГЕО. – № 4348781/23-33; заявл. 25.12.87; опубл. 07.10.90 // Производ.-издательский комбинат «Патент». – 1990.
9. Устройство для реагентной обработки скважины на воду: пат. 16996 / П.А. Автушко, В.В. Ивашечкин, А.В. Автушко. – Опубл. 01.12.2010
10. Курганов, А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. под общ. Ред. А.М. Курганова – Л. : Стройиздат. Ленингр. отд., 1986. – 449 с.
11. Веригин, Н.Н. О кинетике растворения солей при фильтрации воды в грунтах / Н.Н. Веригин – М : Госстройиздат, 1957. – С. 84-113.
12. Алексеев, В.С. Кинетика растворения кольматанта в прифильтровых зонах скважин / В. С. Алексеев, Г. М. Коммунар, В. Т. Гребенников // М. : НИИ ВОДГЕО. – 1977. – Вып. 70. – С. 30-33.

Поступила 23.05.2018