

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 628.112.24

АВТУШКО
Павел Александрович

**ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ И РЕАГЕНТНОЙ
РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН
С ЗАТРУБНЫМИ СИСТЕМАМИ ПРОМЫВКИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация,
строительные системы охраны водных ресурсов**

Минск, 2015

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель: **Ивашечкин Владимир Васильевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидротехническое и энергетическое строительство» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **Михневич Эдуард Иванович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Белорусского национального технического университета

Житенев Борис Николаевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Брестского государственного технического университета

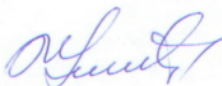
Оппонирующая организация: ОАО «Белгорхимпром»

Защита состоится « 19 » июня 2015 г. в 16⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.10 Белорусского национального технического университета по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, e-mail tg_v_73@tut.by, тел. ученого секретаря (017) 265-97-29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « » мая 2015 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций



Нестеров Л. В.

© Автушко П.А., 2015

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Хозяйственно-питьевое водоснабжение Республики Беларусь основано на подземных водах, для добычи которых в стране пробурено более 36 тысяч водозаборных скважин. Вместе с тем, в настоящее время около 90 % скважин эксплуатационного фонда работает со сниженной производительностью, а их средний срок службы редко превышает 18 – 20 лет, что существенно ниже расчетных показателей. Это связано с трудностью удаления при регенерации скважин продуктов химического коагулирования: труднорастворимых соединений ($Fe(OH)_3$; $Mn(OH)_2$; $CaCO_3$ и др.), закупоривающих фильтр и поры гравийной обсыпки. Исследования показали, что уже через 3 – 5 лет после начала эксплуатации удельный дебит скважин снижается на 25 – 30 %, что приводит к росту энергозатрат на добычу воды и требует проведения ремонтных мероприятий. Традиционные методы регенерации скважин типовых конструкций реализуются посредством достаточно трудоемких импульсных и реагентных обработок фильтра со стороны его внутренней поверхности. Успешность таких обработок недостаточна, так как основная масса отложений сосредоточена снаружи фильтра в гравийной обсыпке и при обработках изнутри фильтров полностью не удаляется. Отложения накапливаются и упрочняются, а скважина становится неремонтопригодной. В этой связи разработка новых технических решений по созданию долговечных скважин на воду и способов их регенерации, способствующих повышению эффективности работы водозаборов подземных вод, представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

Решить данную проблему можно путем разработки и внедрения в системах водоснабжения современных ремонтнопригодных скважин с затрубными системами промывки, включающими специальные циркуляционные трубки, установленные на внешнем контуре гравийного фильтра. Такую систему монтируют снаружи фильтровой колонны при сооружении скважины, и она обеспечивает возможность гидродинамической и циркуляционной реагентной регенерации всей гравийной обсыпки, чем достигается более высокая эффективность удаления отложений. Однако, недостаточная изученность основных закономерностей и технологических возможностей процесса регенерации таких скважин, а также недостаток ис-

следований в этой области сдерживают переоснащение водозаборов скважинами современных конструкций. В этой связи выбранное направление исследований является актуальным.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Работа проводилась в соответствии с приоритетным направлением научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 гг. (Перечень утвержден Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585) – энергообеспечение, энергосбережение, энергоэффективность, энергоэффективные технологии (п. 1.6 энергосбережение, энергоэффективные технологии).

Работа проводилась в рамках проекта № ГБ 11 – 163 «Разработка оптимальной конструкции и технологии регенерации энергосберегающей водозаборной скважины нового типа, оснащенной затрубной системой циркуляционной промывки» (ГР № 20113531) по плану Минобразования Республики Беларусь (2011 г.) и ГНТП «Жилищно-коммунальное хозяйство» по заданию 1.02 «Провести исследования, разработать и внедрить водозаборную скважину новой конструкции с системой затрубной циркуляционной регенерации и извлекаемым фильтром» (ГР №20120218) по плану Минжилкомхоза Республики Беларусь (2011–2013 гг.).

Цель и задачи исследования. Цель работы – восстановление производительности водозаборных скважин с затрубными системами промывки методами гидродинамической и реагентной регенерации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать конструкции скважин, оборудованных затрубными системами промывки гравийных фильтров: с уширенным контуром гравийной обсыпки, с кожуховым фильтром и с фильтром, установленным «впотай».
2. Выявить закономерности движения фильтрационного потока при затрубной гидродинамической промывке гравийных фильтров водозаборных скважин.
3. Провести теоретические и экспериментальные исследования параметров циркуляционного фильтрационного потока с раство-

ренным реагентом в прифильтровой зоне скважин в безнапорных пластах, оборудованных затрубными системами промывки.

4. Исследовать кинетику выщелачивания кольматирующих отложений с применением непрерывной и поэтапной закачки реагента в затрубную систему, разработать методику расчета необходимого количества реагента для обработки гравийного фильтра и установить продолжительность процесса декольматации.

5. Разработать технологии гидродинамической и реагентной регенерации водозаборных скважин с затрубными системами промывки и испытать в полевых условиях опытный образец установки для ремонта таких скважин. Оценить экономический эффект от внедрения.

Объект исследования – скважины систем водоснабжения и глубинного водопонижения.

Предмет исследования – технологические процессы гидродинамической и реагентной регенерации водозаборных скважин с затрубными системами промывки.

Научная новизна заключается в получении зависимостей для расчета пьезометрических напоров в прифильтровой зоне скважин при затрубной гидродинамической и циркуляционной реагентной промывке гравийных фильтров, разработке методик расчета продолжительности выщелачивания кольматирующих отложений при периодической и непрерывной подаче раствора реагента в циркуляционные трубки, обосновании конструктивных параметров затрубных систем и разработке технологий гидродинамической и реагентной промывки фильтров.

Положения, выносимые на защиту:

1. Новые формулы для расчета полей пьезометрических напоров, возникающих при затрубной гидродинамической промывке прифильтровых зон скважин со сниженной водопроницаемостью, пробуренных в напорном и безнапорном пластах, позволяющие при различных соотношениях расходов закачки и откачки определять скорости и градиенты фильтрационного потока, обеспечивающие эффективное удаление загрязнений.

2. Зависимость для расчета понижений уровня и построения гидродинамической сетки фильтрационного потока, возникающего при затрубной циркуляционной реагентной промывке скважины в безнапорном пласте в условиях равенства расходов закачки и откачки,

позволяющая определять конструктивные параметры и количество циркуляционных трубок, обеспечивающих регенерацию фильтра.

3. Методики расчета продолжительности процесса затрубной реагентной регенерации гравийной обсыпки способами поэтапных закачек и циркуляционной промывки, основанные на полученных зависимостях для расчета изменения удельного объема отложений и концентрации солей в реагенте, позволяющие разработать необходимые режимы регенерации гравийных фильтров скважин в зависимости от параметров пласта, начальной степени кольматажа и условий подачи реагента.

4. Технологии гидродинамической и реагентной регенерации водозаборных скважин с затрубными системами промывки, обеспечивающие высокую степень декольматации гравийных фильтров и стабильную работу скважин во времени.

Личный вклад соискателя ученой степени. Совместно с руководителем диссертационной работы доктором техн. наук, доцентом Ивашечкиным В.В. определены цель и задачи исследований, разработаны теоретические основы предлагаемых способов затрубной регенерации скважин, выполнено планирование и проведение экспериментов, а также написание печатных работ. Совместно с канд. физ.-мат. наук, доцентом Веремеюком В. В. решены системы уравнений, описывающие кинетику растворения кольматанта в режимах поэтапных закачек и циркуляционной промывки. При этом личный вклад соискателя состоит в: обзоре научно-технической литературы; разработке конструкций опытных установок; обобщении и анализе результатов экспериментов; обработке результатов моделирования на ЭВМ процессов растворения отложений; обосновании технологических схем, параметров оборудования и режимов затрубной регенерации скважин.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные положения и результаты исследований, включенные в диссертацию, доложены и обсуждены на следующих конференциях: Международных научно-технических конференциях (МНТК) «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 2008-2010, 2012-2014 гг.), конгрессе «Вода – 2010» (Минск), 4-м Международном Водном форуме (Минск, 2010), VII Международной научно-практической конференции (МНПК) курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспе-

чение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (Минск, 2013), XI МНПК «Перспективные разработки науки и техники» (Перемишль (Польша, 2013) и VIII НТК «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии» (Санкт-Петербург, 2014).

Новая конструкция скважины на воду включена в ТКП 17.04-21-2010 «Правила проектирования, сооружения (строительства), ликвидации и консервации буровых скважин различного назначения (за исключением нефтяных и газовых)».

Опубликование результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 26 научных работах, в том числе в 8 статьях в рецензируемых журналах, включенных в Перечень ВАК Республики Беларусь и Российской Федерации (всего 3,3 авторских листа), в 14 статьях и тезисах докладов на конференциях, 4 патентах Республики Беларусь на изобретения (всего 1,4 авторских листа).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации 157 страниц. Работа содержит 107 страниц машинописного текста, 53 рисунка на 20 страницах, 6 таблиц на 2 страницах, список используемых источников в количестве 114 наименований на 10 страницах, включая 26 авторских работ, и 7 приложений на 18 страницах.

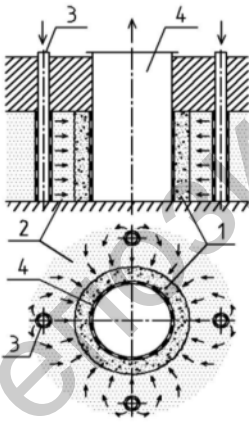
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе диссертационной работы приведен анализ типовых конструкций скважин на воду, а также методов и оборудования для их регенерации. Описаны конструкции скважин с затрубными системами промывки и обоснована необходимость разработки эффективных технологий их текущего ремонта.

Показано, что в Республике Беларусь скважины на воду в основном оборудованы гравийными фильтрами, которые по результатам исследований «ВНИИВОДГЕО» (Гаврилко В.М., Алексеев В.С.) в связи с их относительно длительной и устойчивой работой, отнесены к наиболее эффективному типу. Тем не менее, производительность водозаборных скважин в процессе эксплуатации постепенно снижается. Это обусловлено накоплением в порах грунта и на водо-

приемной поверхности фильтра труднорастворимых отложений, образующих так называемое «кольматационное кольцо», которое у длительно эксплуатирующихся без ремонтных мероприятий скважин может охватывать всю гравийную обсыпку.

Анализ типовых конструкций существующих скважин и традиционных способов их регенерации показал, что процесс декольматации гравийных фильтров здесь реализуют посредством внутрифильтровых обработок импульсами давления или реагентами. Учитывая, что импульсные методы не позволяют полностью извлекать кольматант, в практике текущего ремонта скважин все чаще прибегают к реагентной регенерации. Установлено, что наибольшей эффективностью характеризуются способы с вертикальной и горизонтальной циркуляцией реагента. Оба способа предполагают разделение фильтра изнутри на камеры (секции, сектора). При этом реагент задавливают в прифильтровую зону через нагнетательные камеры и, создавая разрежение во всасывающих камерах, возвращают его обратно в фильтр. К недостаткам предложенных способов следует отнести утечку реагента в пласт и неравномерность обработки закольматированной зоны из-за сложных криволинейных траекторий



- 1 – «кольматационное кольцо»;
- 2 – гравийная обсыпка;
- 3 – затрубная система;
- 4 – фильтр скважины

Рисунок 1. – Схема затрубной промывки скважины

движения промывных потоков, что не гарантирует полное удаление отложений. Кроме того, реализация предложенных технологий на скважинах требует использования сложного технологического оборудования и привлечения специализированных ремонтных организаций.

Для повышения эффективности ремонтных мероприятий за счет минимизации потерь реагента и создания радиально направленного промывного потока через «кольматационное кольцо» Ивашекиным В. В. была предложена конструкция скважины с фильтром на сплошной колонне, оборудованном затрубной системой промывки (рисунок 1).

Такая система состоит из нескольких перфорированных трубок, устанавливаемых на внешнем контуре гравийной обсыпки. Учитывая, что устройство скважин с фильтрами на сплошной колонне не всегда оправдано по техническим и экономическим причинам, автором диссертации предложены новые конструкции высокодебитных водозаборных скважин с затрубными системами промывки: с фильтром, установленным «впотаю» [заявка на патент Республики Беларусь от 2013]; с уширенным контуром гравийной обсыпки [патент Республики Беларусь №17098]; с кожуховым фильтром [заявка на патент Республики Беларусь №а 20130387 от 28.03.2013].

Затрубная система промывки устанавливается в новых скважинах на этапе их сооружения и является встроенным элементом оборудования для диагностики и регенерации гравийной обсыпки. В скважинах таких конструкций можно осуществлять воздействия на «кольматационное кольцо» с двух сторон: с внутренней (традиционные способы регенерации) и с наружной (затрубная гидродинамическая и реагентная промывка), что повышает эффективность обработок.

Затрубную промывку можно выполнять водой или реагентами, при этом не требуется применение технологического оборудования индивидуального исполнения и привлечение сторонних фирм. Установка для затрубной регенерации состоит из стандартного погружного насоса или эрлифта, бака, трубопроводов и насоса системы закачки, которые имеются в распоряжении практически у любой эксплуатирующей организации. Вместе с тем, недостаточная теоретическая и экспериментальная изученность процессов декольматации, отсутствие методик расчета конструктивных параметров скважин, подбора технологического оборудования и режимов обработки, сдерживают внедрение скважин новой конструкции на водозаборах. Исходя из этого, сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе приведены теоретические исследования фильтрационного потока при затрубной гидродинамической и циркуляционной реагентной промывках гравийных фильтров.

Для удаления остатков бурового раствора при освоении новых скважин и для регенерации снизивших дебит скважин, закольматированных рыхлыми отложениями, предложен способ безреагентной гидродинамической промывки, обеспечивающий интенсивный суффозионный вынос загрязнений, когда в затрубную систему непрерывно подают чистую воду и одновременно производят откачку

ках прифилтровой зоны регенерируемых скважин, пробуренных в напорном и безнапорном водоносных пластах, получены зависимости

$$S = \frac{Q_H}{4\pi k_\phi m} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{\rho_i^2}{r_a^2} + 2\varepsilon\beta_Q \left[\ln \frac{R_{II}}{r_a} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) \ln \frac{R}{r_c} \right] \right], \quad (1)$$

$$S = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q_n}{2\pi \cdot k_\phi \cdot n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{\rho_i^2}{R^2}} - \sqrt{h_e^2 + \frac{Q_n}{2\pi \cdot k_\phi} \ln \frac{r_a^2}{R^2}} + \left[h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{Q_{nl}}{\pi \cdot k} \left[\ln \frac{R_{II}}{r_a} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) \ln \frac{R}{r_c} \right]} \right], \quad (2)$$

где k_ϕ , k – коэффициенты фильтрации соответственно прифилтровой зоны и пласта; m – мощность напорного водоносного пласта; n – количество циркуляционных трубок; r_a , ρ_i – расстояния от точки, в которой определяется понижение, до скважины и i -й циркуляционной трубки соответственно; $\beta_Q = Q_{nl}/Q_n$; $\varepsilon = k_\phi/k$; R_{II} – радиус влияния скважины; R – расстояние от оси скважины до циркуляционных трубок; r_c – радиус фильтра; h_e – статическая глубина грунтовых вод.

Циркуляционная реагентная промывка. В соответствии с методом наложения фильтрационных течений понижение S в любой точке прифилтровой зоны определяется суммой понижения S_o и повышения S_n соответственно при откачке из скважины и закачке в затрубную систему расходов $Q_c = Q_n$, т.е. $S = S_o - S_n$. Используются допущения: зона кольматации однородная и имеет постоянную сниженную проницаемость; циркуляционные трубки работают в режиме нагнетательных скважин; скважина и трубки являются совершенными по характеру вскрытия водоносного пласта. Для описания квазиустановившегося промывного фильтрационного потока и расчета понижений уровня в различных точках прифилтровой зоны регенерируемых скважин, пробуренных в безнапорных водоносных пластах (см. рисунок 2, б), получена зависимость

$$S = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{2\pi \cdot k_\phi \cdot n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{\rho_i^2}{R^2}} - \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{2\pi \cdot k_\phi} \ln \frac{r_a^2}{R^2}}. \quad (3)$$

Зависимости (1), (2) и (3) после преобразования в декартовую систему координат позволяют построить гидродинамические сетки фильтрации. Примеры таких сеток, построенных с использованием выражения (3) для затрубных систем промывки, включающих 4 и 6 циркуляционных трубок, представлены на рисунке 3.

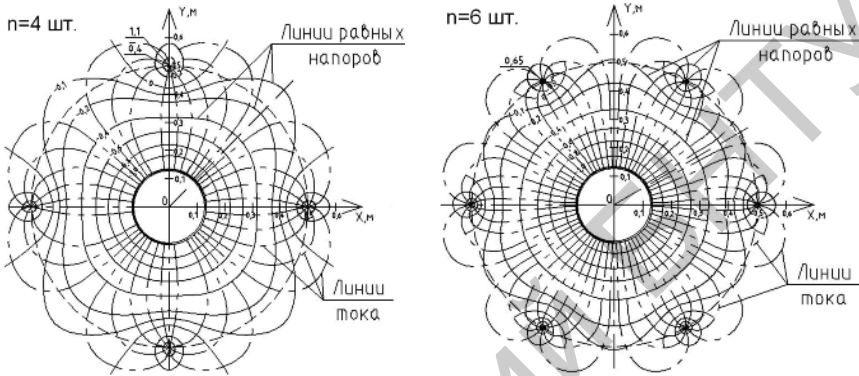


Рисунок 3. – Гидродинамические сетки фильтрации при затрубной циркуляционной реагентной промывке скважин в безнапорных водоносных пластах ($R=0,5$ м; $h_c=10$ м; $Q=0,006$ м³/с; $k_0=0,1$ м/с)

Для определения оптимального количества циркуляционных трубок проведен анализ полей скоростей промывного фильтрационного потока по гидродинамическим сеткам. Установлено, что при количестве трубок от 1 до 3 шт. фильтрационный поток является крайне неоднородным и на периферийных участках зоны кольматации его скорости незначительны. С увеличением числа циркуляционных трубок улучшается охват «кольматационного кольца» потоками промывной жидкости, но при этом увеличивается стоимость затрубной системы. После обработки гидродинамических сеток с количеством трубок от 2 до 8 шт. при $Q=\text{const}$, $k_0=\text{const}$ и $h_c=\text{const}$ для скважин, сооружаемых в безнапорных пластах, рекомендовано количество трубок в диапазоне от 4 до 6 шт.

В третьей главе рассмотрена кинетика выщелачивания кольматирующих отложений при затрубной реагентной регенерации гравийных фильтров, приведена методика расчета количества соляной кислоты для декольматации скважин.

При регенерации скважины способом поэтапных закачек в гравийную обсыпку по циркуляционным трубкам порциями подают свежий реагент, выдерживают его там заданное время (в статических условиях), а затем удаляют вместе с продуктами реакции. Для расчета продолжительности выщелачивания отложений использована система уравнений: обобщенное уравнение кинетики и уравнение баланса вещества

$$\begin{cases} \frac{db}{dt} = -\frac{B_i}{\rho_{oc}} f(b) \cdot (C_m - C), & (4) \\ \frac{d(n_k \cdot C)}{dt} + \rho_{oc} \frac{db}{dt} = 0, & (5) \end{cases}$$

где b – удельный объем кольтматирующих отложений; t – время; $B_i = 2D\omega_o/d_o$; $f(b) = (1+ab)^{1/3}$; $\alpha = l/(1-n_o)$; n_o , ω_o , d_o – соответственно пористость, удельная поверхность и размер частиц незакольматированной гравийной обсыпки; D – коэффициент молекулярной диффузии; C_m , C – соответственно максимальная и текущая концентрации солей в реагенте; n_k – текущая пористость гравийной обсыпки; ρ_{oc} – плотность кольтматирующих отложений.

Решение системы уравнений (4) и (5), полученное при начальных условиях $b(0) = N_o$, $C(0) = C_o$, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} F(b) - F(N_o) = -\frac{B_i}{\rho_{oc}} t, & b > b_{крит}, & (6) \\ C = \rho_{oc} - \frac{(n_o - N_o) \cdot (\rho_{oc} - C_o)}{n_o - b}, & & (7) \end{cases}$$

где N_o , C_o – соответственно начальный удельный объем отложений и начальная концентрация солей в реагенте; $F(b)$ – функция (приведена в диссертации); $b_{крит} = N_o - [(n_o - N_o) \cdot (C_m - C_o)] / (\rho_{oc} - C_m)$.

Установлено, что для полного растворения отложений в гравийной обсыпке необходимо несколько этапов закачки раствора реагента. Рациональная продолжительность выдерживания порции реагента в статических условиях равна $T_{фин} = -\rho_{oc} [F(b_{фин}) - F(N_o)] / B_i$,

где $b_{фин} = [N_0(\rho_{oc} - C_0) - n_0(K \cdot C_m - C_0)] / (\rho_{oc} - K \cdot C_m)$. Величина K принимается в интервале от 0,995 до 0,999 и выражает отклонение C от C_m в пределах от 0,5 до 0,1 %. Расчет процесса декольматации, учитывающий также эффект экранизации поверхности частиц грунта пузырьками газа и долю нерастворимых соединений в составе осадка (учитываются коэффициентами η и ζ), реализован на ЭВМ. На рисунке 4 для обычных скважинных условий при $N_0=0,1$ представлены результаты расчета изменения во времени относительного удельного объема отложений для нескольких характерных размеров частиц грунта (точками на графиках обозначены границы этапов обработки).

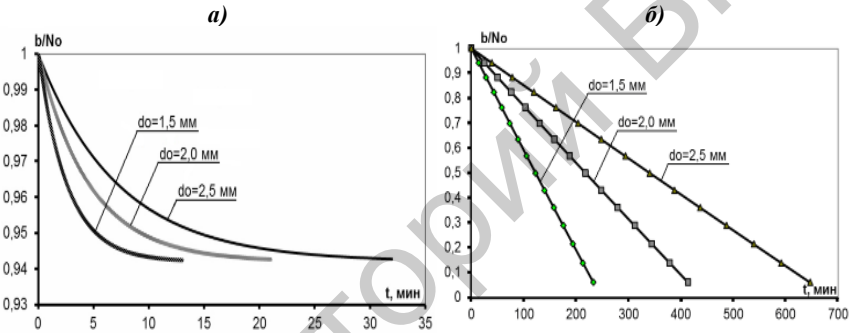


Рисунок 4. – Графики $b/No = f(t)$ при обработке скважины способом поэтапных закачек реагента для: а) – первого этапа; б) – полного цикла ($b_{фин}/No = 0,1$; $n_0 = 0,35$; $N_0 = 0,1$; $\eta = 0,95$; $\zeta = 0,95$; $C_0 = 0,1$ кг/м³; $D = 0,5 \cdot 10^{-9}$ м²/с; $C_m = 50$ кг/м³; $\rho_{oc} = 2200$ кг/м³; $K = C/C_m = 0,995$)

Анализ графиков (см. рисунок 4, а) показывает, что остаточный относительный объем отложений b/No в пределах одного этапа обработки уменьшается по нелинейной зависимости. Общее время регенерации зависит от крупности частиц гравийной обсыпки и составляет от 4 до 11 часов, а число этапов обработки с продолжительностью 15...30 минут может достигать 14 (см. рисунок 4, б).

При затрубной циркуляционной реагентной промывке в обсыпке создают радиальный поток реагента, направленный к фильтру (см. рисунок 1). Математическая модель процесса описана системой двух уравнений: кинетики, движения и сохранения массы

реагента с кольматантом. Для скважин с обсыпкой крупностью $d_o=0,5 \dots 4$ мм при $N_o=0,1$ и $m=6$ м полная продолжительность регенерации составляет от 30 до 70 минут.

Для теоретического расчета удельного расхода соляной кислоты K_c применили методику, основанную на балансе химических реакций взаимодействия основных компонентов кольматанта с реагентом, и опытные данные о химическом составе отложений, приведенные в работах Гаврилко В. М., Алексеева В. С. и Ивашечкина В. В. В результате получили регрессионную зависимость вида

$$K_c = 0,03171 + 0,01103 x_1 + 0,01259 x_2 + 0,01334 x_3, \quad (11)$$

где x_1 ; x_2 ; x_3 – массовые доли MnO , CaO и Fe_2O_3 соответственно, выраженные в процентах.

Расчет коэффициента K_c по выражению (11) не требует проведения дорогостоящего детального химического анализа проб кольматанта. Для расчета K_c достаточно анализа, представленного в виде трех оксидов: MnO , CaO и Fe_2O_3 . Определив K_c и массу отложений в гравийной обсыпке, используя циркуляционные трубки в качестве пьезометров, можно рассчитать количество соляной кислоты, необходимое для декольматации скважины.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям технологических процессов затрубной промывки гравийных фильтров и установлению сходимости полученных данных с расчетами.

Приведены результаты лабораторных исследований процесса выщелачивания цементированного железосодержащего осадка способом затрубной циркуляционной реагентной промывки. В качестве реагента использовали чистящее средство «Дескам» (содержит 20% HCl). Исследования выполнены на модели водозаборной скважины в напорном пласте (рисунок 7), при этом кольцевая зона искусственной кольматации толщиной $\delta=70$ мм была представлена смесью кварцевого песка, цемента и кольматанта, извлеченного из скважины №36 водозабора «Северный» г. Жодино. По окончании обработки, удельный дебит модели скважины увеличился и составил 95 % от первоначального. По результатам выполненных вскрышных работ установлено практически полное удаление коль-

матирующих отложений, что подтвердило эффективность проведенной регенерации.

Приведены результаты лабораторных исследований промывного фильтрационного потока жидкости, возникающего при затрубной гидродинамической и циркуляционной реагентной промывке. Экспериментальные данные представлены в виде показаний пьезометров, установленных на главной линии тока ОХ между скважиной и циркуляционной трубкой (см. рисунок 3). Наложение среднеарифметических значений пьезометрических напоров с доверительными границами случайной погрешности измерений ($P=0,95$) на теоретические графики показало приемлемую сходимость результатов (рисунок 8). Наибольшее расхождение установлено только в прифильтровой зоне циркуляционных трубок, что объясняется их гидравлическим сопротивлением.

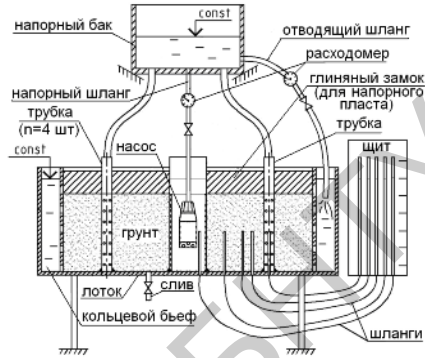


Рисунок 7. – Схема лабораторной установки



Рисунок 8. – Сопоставление результатов лабораторных исследований и расчетов при определении понижений S в профиле ОХ ($R=0,3$ м; $k_{\phi}=0,007$ м/с; $n=4$): а) - по формуле (1) при $Q_n=0,235$ л/с; $Q_{nl}=0,156$ л/с; $Q_c=0,391$ л/с; $m=0,35$ м; $R_n=0,6$ м; $\beta_Q=0,664$; $\varepsilon=1$; б) - по формуле (2) при $Q_n=0,235$ л/с; $Q_{nl}=0,179$ л/с; $Q_c=0,414$ л/с; $h_c=0,46$ м; $R_n=0,6$ м; $\beta_Q=0,762$; $\varepsilon=1$; в) - по формуле (3) при $Q=0,385$ л/с; $h_c=0,46$ м

На водозаборной скважине №2/2011 в д. Узла проведены натурные гидравлические исследования водопоглощения затрубной системы промывки, включающей четыре полиэтиленовые циркуляционные трубки диаметром 20 мм, при закачке в них воды с расходом Q и напором H . В результате исследований, для одной отдельной трубки и для всей системы были получены графики $Q=f(H)$, описанные функцией вида $Q=a_jH$, где $a_1=0,011$ л/(с·м), $a_2=0,015$ л/(с·м) и $a_3=0,055$ л/(с·м). Полученные экспериментальные данные представлены на рисунке 9.

График 1 характеризует гидравлическое сопротивление одной трубки в начале закачки, а график 2 – по ее окончанию. График 3 характеризует сопротивление всей затрубной системы. Увеличение значения параметра a_1 до a_2 по окончанию опытов объясняется уменьшением гидравлического сопротивления гравийной обсыпки, произошедшим в результате ее частичной промывки.

На фильтрационно-суффозионном приборе выполнено моделирование процесса гидродинамической промывки крупнозернистого песка, искусственно закольматированного мелкодисперсным осадком скорых фильтров станции обезжелезивания «Острова». Установлено, что промывка со скоростью фильтрации $v = 8,7$ мм/с обеспечивает удаление осадка, но характеризуется значительной продолжительностью (более 2 ч.). Для сокращения времени промывки гравийной обсыпки в 1,5-3 раза необходимы скорости $v > 11 \dots 20$ мм/с.

Пятая глава посвящена разработке технологий гидродинамической и реагентной регенерации водозаборных скважин с затрубными системами промывки. Приведен анализ технологических схем и методик расчета производительности насосного оборудования для промывки. Представлены результаты внедрения скважин новых конструкций и опытно-промышленных испытаний оборудования для их регенерации.

Классификация способов регенерации водозаборных скважин с затрубными системами промывки и условия их применения представлены на рисунке 10.

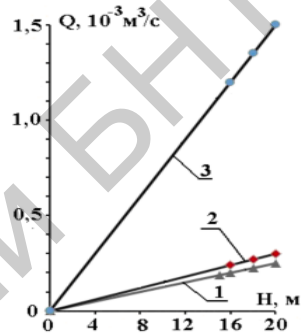


Рисунок 9. – Графики зависимости $Q = f(H)$

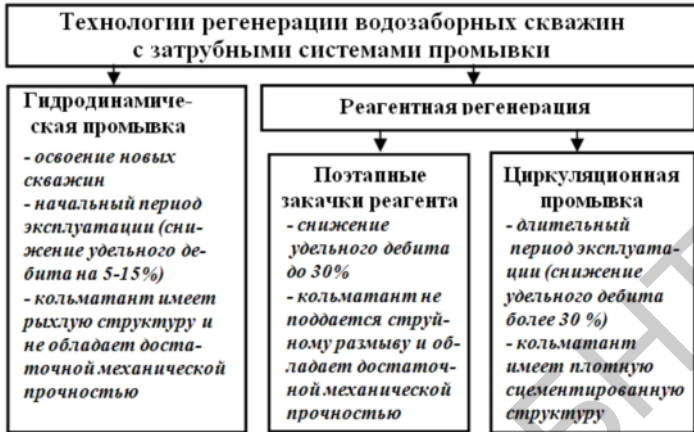
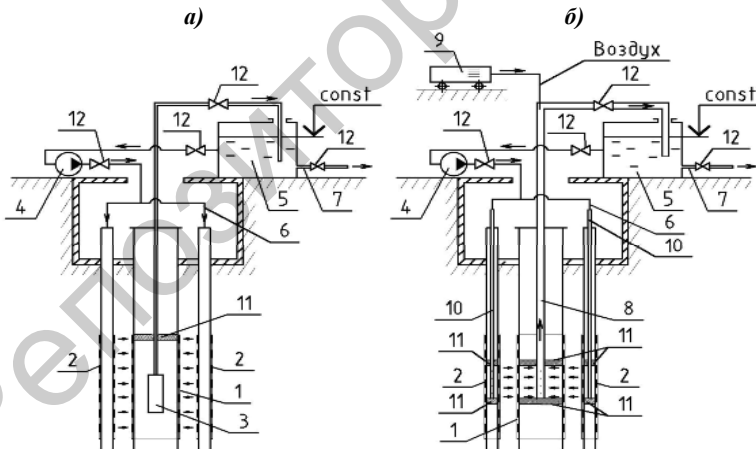


Рисунок 10. – Классификация технологий регенерации скважин с затрубными системами промывки и условия их применения

Предложены следующие технологические схемы обработки скважин: по всей длине фильтра; поинтервально (рисунок 11).



- 1 – фильтр; 2 – затрубная система; 3 – погружной насос;
 4 – насос системы промывки; 5 – емкость; 6 – распределительная система; 7 – слив; 8 – эрлифт; 9 – компрессор; 10 – заливочная труба;
 11 – манжета (пакер); 12 – задвижка

a) – промывка по всей длине фильтра; *б)* – поинтервальная промывка

Рисунок 11. – Технологические схемы затрубной промывки скважин

Химический состав и структуру отложений рекомендовано определять по образцам, отобраным с поверхности насосного оборудования скважины или в процессе импульсных обработок фильтров.

Гидродинамическая промывка. Определив структуру отложений в ремонтируемой скважине, назначают требуемую скорость $v_{тр}$ промывного фильтрационного потока (для мелкодисперсного железистого осадка $v_{тр}=11...20$ мм/с) на внешней границе «кольматационного кольца», принимая его толщину $\delta = 10...30$ мм. Определяют требуемый промывной расход по формуле $Q_c = 2\pi R_k l_\phi$, где R_k – внешний радиус «кольматационного кольца»; l_ϕ – длина фильтра. Назначив расход $Q_{пл}$, забираемый из пласта ($Q_{пл}$ не должен превышать фактический дебит скважины), определяют расход, подаваемый в затрубную систему: $Q_n = Q_c - Q_{пл}$. Используя формулы (1) или (2), определяют пьезометрический уровень в циркуляционных трубках и графическим методом подбирают насос системы промывки, предварительно рассчитав потери напора. Подачу насоса регулируют задвижкой. Продолжительность обработки уточняют в процессе регенерации по контролируемым показателям: мутности воды, откачиваемой из ствола скважины; стабилизации давления в напорной линии системы закачки.

Поэтапные закачки реагента. Используя циркуляционные трубки в качестве пьезометров, полевыми методами определяют остаточную пористость прифильтровой зоны и количество кольматанта в гравийной обсыпке. Необходимое количество реагента рекомендовано определять с использованием зависимости (11), предварительно определив химический состав кольматанта. Принимая, что после заливки реагента в прифильтровую зону весь объем пор заполняется жидкостью, вычисляют средний объем одной порции реагента. Количество этапов обработки и продолжительность выдерживания реагента в обсыпке определяют по формулам (6) и (7).

Циркуляционная реагентная промывка. Количество, состав кольматанта и остаточную пористость обсыпки определяют аналогично, как в предыдущем способе. Задавшись величиной расхода Q_c (следует принимать в пределах от 0,15 до 1 л/с на 1 м.п. фильтра), определяют продолжительность процесса регенерации, используя формулу (10). Определив пьезометрический уровень в циркуляционных трубках по выражению (3), подбирают реагентный насос системы закачки. Момент окончания обработки определяют по

стабилизации электрического сопротивления раствора реагента в скважине.

Спроектирована и изготовлена установка для затрубной регенерации скважин. Промышленное внедрение технологии гидродинамической промывки проведено на скважинах, оборудованных затрубными системами, № 2/2011 в д. Узла Мядельского района и №2.10 системы глубинного водопонижения строящейся Полоцкой ГЭС. В результате обработки скважины в д. Узла ее производительность увеличилась с 2 м³/ч до 7,5 м³/ч. Промывка скважины №2.10, характеризующейся незначительной степенью кольтматации, позволила увеличить дебит с 0,237 м³/ч до 0,252 м³/ч.

Для извлечения образовавшейся на этапе бурения песчаной пробки на скважине в д. Узла проведены опытно-промышленные испытания гидроэлеваторной установки с регулируемым соплом и размывающим насадком. В результате ремонта дебит скважины увеличился с 7,5 м³/ч до 8,5 м³/ч.

Результаты диссертационной работы внедрены в лекционный курс по дисциплинам «Техника и технология строительно-монтажных работ» и «Производство гидротехнических работ» для студентов, обучающихся по специальностям I-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» и I-70 04 01 «Водохозяйственное строительство».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основе анализа известных конструкций водозаборных скважин и способов их текущего ремонта разработаны новые конструкции высокодебитных скважин с затрубными системами промывки гравийных фильтров: с уширенным контуром гравийной обсыпки (патент №17098); с фильтром, установленным «впотай»; кожуховым фильтром [3, 9, 10, 12, 13, 15, 21-26].

2. Предложены формулы для расчета полей пьезометрических напоров в прифилтровой зоне при гидродинамической промывке фильтров скважин с затрубными системами в напорном и безнапорном водоносных пластах, при различном соотношении расходов закачки и откачки, позволяющие определять скорости и градиенты фильтрационного потока в любой точке гравийной обсыпки с по-

стоянной и измененной проницаемостями, напор насосного оборудования для регенерации и обосновывать расходы воды, необходимые для эффективной декольматации скважин. Установлено, что для удаления мелкодисперсного железистого осадка при снижении водопроницаемости обсыпки на 20 – 40 % относительно первоначальной необходимы скорости фильтрационного потока в диапазоне от 11 до 20 мм/с [5, 16, 20].

3. Получено уравнение, описывающее квазиустановившийся промывной фильтрационный поток, возникающий при затрубной реагентной циркуляционной промывке скважин в безнапорных пластах. Решение уравнения позволяет определить (при равенстве расходов закачки и откачки) понижение уровня в заданной точке при фильтровой зоне и построить гидродинамическую сетку фильтрации, необходимую для подбора насосного оборудования. Для новых скважин в безнапорных пластах приведено обоснование конструктивных параметров затрубной системы промывки и рекомендовано количество циркуляционных трубок от 4 до 6 шт. [1- 4, 11, 14].

4. Разработаны методики расчета продолжительности процесса затрубной реагентной регенерации гравийной обсыпки скважин (для достижения степени декольматации 95-97 %) при периодической и непрерывной подаче раствора реагента в циркуляционные трубки, основанные на полученных зависимостях для расчета изменения удельного объема отложений и концентрации солей в реагенте, позволяющие назначать необходимые режимы регенерации гравийных фильтров скважин в зависимости от параметров пласта, начальной степени кольматажа и условий подачи реагента. Установлено, что удельный расход соляной кислоты для реагентной регенерации скважин зависит преимущественно от содержания в отложениях химических соединений, включающих *Fe*, *Mn* и *Ca*. Для определения коэффициента K_c , позволяющего рассчитать потребное количество кислоты (по известной массе кольматанта в скважине), получена линейная регрессионная зависимость, основанная на использовании количественных данных о составе отложений, представленных в виде оксидов *MnO*, *CaO* и *Fe₂O₃* [6, 7, 8, 17, 22].

5. По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологии гидродинамической и реагентной регенерации водозаборных скважин с затрубными системами промывки, обеспечивающие эффективное удаление кольматирующих

отложений. Разработана методика определения производительности насосного оборудования установки для регенерации скважин. На водозаборе в д. Узла и на строящейся Полоцкой ГЭС проведен текущий ремонт скважин способом гидродинамической промывки по всей длине фильтра с применением разработанного опытного образца установки для затрубной регенерации. В результате проведенных опытно-промышленных испытаний удельный дебит скважин увеличился в 3,9 раза и на 6,3 % соответственно, что подтвердило эффективность разработанной технологии [3, 6, 8, 19, 20].

6. Разработан и изготовлен экспериментальный образец гидроэлеватора с регулируемым соплом и размывающим насадком для извлечения песчаных пробок из скважин. Устройство прошло успешные испытания в полевых условиях на водозаборной скважине в д. Узла Мядельского района. В результате размыва и извлечения песчаной пробки, образовавшейся на этапе бурения, дебит скважины увеличился с $7,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $8,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, что дало положительный экономический эффект и доказало эффективность предложенной технологии ремонта пескующих скважин [18, 21].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанные конструкции скважин с затрубными системами промывки могут использоваться проектными и строительными организациями для модернизации и повышения долговечности водозаборов подземных вод. Новая конструкция скважины включена в ТКП 17.04-21-2010 «Правила проектирования, сооружения (строительства), ликвидации и консервации скважин различного назначения (за исключением нефтяных и газовых)».

2. Разработанные технологии регенерации водозаборных скважин с затрубными системами промывки и конструкция гидроэлеватора с регулируемым соплом и размывающим насадком могут использоваться эксплуатирующими и ремонтными организациями для продления срока службы водозаборов, поддержания стабильного режима их работы и уменьшения эксплуатационных затрат.

3. Разработанные технологии затрубной гидродинамической и реагентной регенерации скважин, позволяющие повысить эффективность работы водозаборов, могут быть использованы для обособления и разработки комбинированных способов текущего ремон-

та, основанных на использовании вибрационного воздействия, газового взрыва, пневмоимпульса или электроразряда.

4. Результаты диссертационной работы внедрены:

- на скважине системы глубинного водопонижения котлована Полоцкой ГЭС, пробуренной в рамках реализации инвестиционного проекта «Строительство Полоцкой ГЭС на реке Западная Двина Витебской области»;

- на артезианской скважине водозабора д. Узла Мядельского района Минской области, пробуренной в рамках реализации программы «Чистая Вода» на 2011-2015 гг.;

- в учебный процесс по дисциплинам «Техника и технология строительно-монтажных работ» и «Производство гидротехнических работ».

Экономический эффект от внедрения технологии безреагентной гидродинамической промывки на скважине в д. Узла составил Br38,2568 млн. по состоянию на 01.08.2012 г. Ожидаемый годовой экономический эффект при промывке системы глубинного водопонижения на примере Полоцкой ГЭС при незначительной степени кольматации скважин составит Br25,9 млн. по состоянию на 01.07.2014 г.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в рецензируемых журналах

1. Ивашечкин, В.В. Циркуляционная регенерация водозаборной скважины, оснащенной затрубной системой реагентной промывки/ В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко // Мелиорация. – 2010. – № 1(63). – С. 70 –77.

2. Ивашечкин, В.В. Экспериментальные исследования скважины, оснащенной затрубной системой реагентной промывки / В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко, Д. М. Коледюк // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг.объединений СНГ.–2011.– № 1. – С. 80 – 87.

3. Ивашечкин, В.В. Сооружение и ремонт водозаборной скважины с системой циркуляционной регенерации / В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2011. – № 4.– С. 64 – 73.

4. Автушко, П.А. Циркуляционная регенерация дренажных скважин, оснащенных затрубной системой реагентной промывки/ П.А. Автушко, В.В. Ивашечкин, В.В. Веремеинок // Гидротехническое строительство. – 2013. – №5. – С. 45 – 51.

5. Ивашечкин, В.В. Исследование установившегося движения жидкости в прифильтровой зоне скважины при ее регенерации с помощью трубчатой зафильтровой системы промывки/ В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко, А.М. Шейко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ.– 2013.– №5.– С. 85 – 94.

6. Ивашечкин, В.В. Моделирование процесса реагентной регенерации скважин, оборудованных затрубными системами промывки/ В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко, В.В. Веремеинок, // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2013. – №6 – С. 80 – 87.

7. Автушко, П. А. Расчет количества реагента для восстановления производительности скважин на воду/П.А. Автушко, В.В. Ивашечкин, В.В. Веремеинок//Мелиорация.– 2014.–№ 1(71).–С.164–170.

8. Ивашечкин, В.В. Расчет технологических параметров затрубной реагентной циркуляционной промывки гравийных фильтров водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, В.В. Веремеинок, П.А. Автушко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2014. – № 6. – С. 83–93.

Статьи из сборников тезисов докладов и материалов конференций

9. Ивашечкин, В. В. Гидродинамика подводного газового взрыва в закольматированной водозаборной скважине / В. В. Ивашечкин, П.А. Автушко, А.И. Бловацкая, Е.И. Евсюкова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-ой Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2008 г.: в 2 т. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 2. – С. 12.

10. Ивашечкин, В.В. Повышение долговечности водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 7-ой Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2009 г.: в 2 т. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 12.

11. Ивашечкин, В.В. Водозаборная скважина новой конструкции с затрубной системой реагентной регенерации/ В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, П.А. Автушко // Вода. – Минск, 2010. – № 5(156). – С. 7–9.

12. Ивашечкин, В.В. Энергосберегающая конструкция водозаборной скважины/ В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко, Д.М. Коледюк // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 8-ой Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2010 г.: в 2 т. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Т.2. – С. 130.

13. Ивашечкин, В.В. Модернизация водозаборов подземных вод путем бурения долговечных энергосберегающих скважин новой конструкции / В. В. Ивашечкин, П.А. Автушко // Стратегические проблемы охраны и использования водных ресурсов: матер. 4-ого Междунар. Водного форума, Минск, 12 - 13 октября 2010 / Минприроды Республики Беларусь [и др.]. – Минск, 2010. – С. 148 – 152.

14. Автушко, П. А. Циркуляционная регенерация дренажной скважины, оснащенной затрубной системой реагентной промывки / П. А. Автушко// Наука – образованию, производству, экономике: материалы 10-ой Междунар. науч.-практ. конф., Минск 2012 г.: в 4 т. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2012. – Т. 2., – С. 171.

15. Ивашечкин, В.В. Технология сооружения водозаборных скважин с затрубными системами реагентной промывки/В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко, А.Н. Кондратович // Наука – образованию,

производству, экономике: материалы 10-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2012 г.: в 4 т. / БНТУ; редкол.: Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2012. – Т. 2., – С. 170.

16. Автушко, П.А. Гидродинамическая промывка прифилтровой зоны водозаборной скважины, оборудованной затрубной системой циркуляционной регенерации/ П.А. Автушко, В.В. Ивашечкин // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сборник материалов VII международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов)., Минск, 4-5 апреля 2013.: – в 2 ч./КИИ; редкол.: И.И. Полевода [и др.].–Минск,2013.–Ч.1.,с. 120.

17. Ивашечкин, В.В. Кинетика растворения отложений методом «реагентной ванны» в скважинах, оборудованных затрубными системами промывки/ В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 4 т., Минск, 2013 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2013. – Т. 2., – С. 110.

18. Ивашечкин, В. В. Лабораторные испытания гидроэлеватора для извлечения песчаных пробок из скважин /В. В. Ивашечкин, П.А. Автушко, А.Н. Курч, А.А. Антипова, Н.А. Рудьман, Ю.А. Бобкова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 4 т., Минск, 2013 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.].– Минск, 2013. – Т. 2., – С. 109.

19. Автушко, П.А. Технология текущего ремонта скважин, оборудованных затрубными системами промывки/ П.А. Автушко, В.В. Ивашечкин// Перспективные разработки науки и техники: матер. XI Междунар. научно-практической конференции, Перемишль (Польша), 07-15 ноября 2013 / Nauka I studia, 2013. – С. 44 – 47.

20. Автушко, П.А. Артезианские скважины с повышенным сроком службы / П.А. Автушко, В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович // Вода. – Минск, 2014. – №1 (196). – С. 2 – 4.

21. Ивашечкин, В.В. Натурные испытания гидроэлеватора для извлечения песчаных пробок из скважин / В. В. Ивашечкин, П.А. Автушко, А.Н. Кондратович, А.И. Притька, Ю. С. Машук, А.Н. Курч // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 4 т., Минск, 2014 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2014. – Т. 1., – С.128.

22. Автушко, П.А. Теоретические исследования кинетики растворения кольматирующих отложений при затрубной циркуляционной регенерации скважин/ П. А. Автушко, В. В. Ивашечкин, Ю. С. Машук, А.Н. Курч // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 4 т., Минск, 2014 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.].– Минск, 2014. – Т. 1., – С. 134.

Патенты на изобретения

23. Конструкция водозаборной скважины при роторном бурении: пат. 17098 Респ. Беларусь, МПКС1, Е21В43/00/ В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко; заявитель Белор. Нац. Техн. ун-т. - №а20101726; заявл. 01.12.2010, опубл. 26/12/2012//Афіцыйны бюл. №2 / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – №2.

24. Устройство для реагентной обработки скважины на воду: пат. 16996 Респ. Беларусь, МПКС1, Е03В3/15, В03В 03/00 /П.А. Автушко, В.В. Ивашечкин, А.В. Автушко; заявитель Белор. Нац. Техн. ун-т. - №а20101725; заявл. 01.12.2010//Афіцыйны бюл. №2 / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – №2.

25. Устройство для обследования водозаборной скважины: пат. 18713 Респ. Беларусь, МПКС2, Е21В47/00/ В. В. Ивашечкин, П.А. Автушко; заявитель Белор. Нац. Техн. ун-т. - №а20111722; заявл. 13.12.2011// Афіцыйны бюл. №5 / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – №5.

26. Устройство для тампонирования поврежденного участка обсадной трубы или фильтра водозаборной скважины: пат. 18849 Респ. Беларусь, МПКС2 Е21В29/00, Е21В33/00 В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко; заявитель Белор. Нац. Техн. ун-т. - №а20111723; заявл. 13.12.2011// Афіцыйны бюл. №6 / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – №6.

РЭЗІЮМЭ

Аўтушка Павел Аляксандравіч

Тэхналогіі гідрадынамічнай і реагентнай рэгенерацыі водазаборных свідравін з затрубнымі сістэмамі прамывання

Ключавыя словы: рэгенерацыя, цыркуляцыя, фільтрацыя, реагент, кальматаж, фільтр, свідравіна, затрубная сістэма прамывання, тэхналогія.

Мэта работы – аднаўленне прадукцыйнасці водазаборных свідравін з затрубнымі сістэмамі прамывання метадамі гідрадынамічнай і реагентнай рэгенерацыі.

Метады даследавання і апаратура: для навуковых даследаванняў ужываліся камп’ютэрнае мадэляванне, лабараторны і натурны эксперыменты, прыборы і абсталяванне для вывучэння фільтрацыйных уласцівасцяў грунтоў.

Атрыманая залежнасць для разліку п’езаметрычных напораў ў прыфільтравай зоне свідравін пры затрубным гідрадынамічным і цыркуляцыйным реагентным прамыванні жвіровых фільтраў. Распрацаваныя метадыкі разліку працягласці растварэння кальматуючага асадку да дасягнення запатрабаванай ступені дэкальматацыі (95-97%) пры перыядычнай і бесперапыннай падачы раствора реагента ў цыркуляцыйныя трубка. Прыведзенае абгрунтаванне канструктыўных параметраў затрубных сістэм і распрацаваныя тэхналогіі гідрадынамічнага і реагентнага прамывання, якія забяспечваюць эфектыўную ачыстку фільтра і прыфільтравай зоны ад кальматуючага асадку. Эканамічны эффект ад укаранення тэхналогіі гідрадынамічнай рэгенерацыі на свідравіне ў в. Узла складае Br38,2568 млн. па стане на 01.08.2012 г.

Распрацаваныя тэхналогіі затрубнай рэгенерацыі водазаборных свідравін могуць прымяняцца для падтрымання стабільнага рэжыму эксплуатацыі падземных водазабораў шляхам правядзення эфектыўных рамонтных мерапрыемстваў з мінімальным шкодным уздзеяннем на навакольнае асяроддзе.

Галіна прымянення распрацаваных тэхналогій – сістэмы камунальнага водазабеспячэння і глыбіннага водапаніжэння.

РЕЗЮМЕ

Автушко Павел Александрович

Технологии гидродинамической и реагентной регенерации водозаборных скважин с затрубными системами промывки

Ключевые слова: регенерация, циркуляция, фильтрация, реагент, кольматаж, фильтр, скважина, затрубная система промывки, технология.

Цель работы – восстановление производительности водозаборных скважин с затрубными системами промывки методами гидродинамической и реагентной регенерации.

Методы исследования и аппаратура: для научных исследований применялись компьютерное моделирование, лабораторный и натурный эксперименты, приборы и оборудование для изучения фильтрационных свойств грунтов.

Получены зависимости для расчета пьезометрических напоров в прифильтровой зоне скважин при затрубной гидродинамической и циркуляционной реагентной промывке гравийных фильтров. Разработаны методики расчета продолжительности растворения кольматирующего осадка до достижения требуемой степени декольматации (95-97%) при периодической и непрерывной подаче раствора реагента в циркуляционные трубки. Приведено обоснование конструктивных параметров затрубных систем и разработаны технологии гидродинамической и реагентной промывки, обеспечивающие эффективную очистку фильтра и прифильтровой зоны от кольматирующего осадка. Экономический эффект от внедрения технологии гидродинамической промывки на скважине в д. Узла составил Br38,2568 млн. по состоянию на 01.08.2012 г.

Разработанные технологии затрубной регенерации водозаборных скважин могут применяться для поддержания стабильного режима эксплуатации водозаборов подземных вод путем проведения эффективных ремонтных мероприятий с минимальным вредным воздействием на окружающую среду.

Область применения разработанных технологий – системы коммунального водоснабжения и глубинного водопонижения.

SUMMARY

Autushka Pavel

Technology of hydrodynamic and reagent regeneration of water wells equipped with annular cleaning systems

Keywords: regeneration, circulation, filtration, reagent, colmatation, filter, well, annular cleaning system, technology.

Purpose of this work: restore performance of water intake wells equipped with the annular cleaning systems by using the methods of hydrodynamic and reagent regeneration.

Research methods and equipment: during the scientific research, computer modeling, laboratory and field experiments, instruments and equipment for studying the soil filtration properties were used.

There were obtained dependencies allowing to calculate the piezometric pressures in the pre-filter zone of a well in the process of annular hydrodynamic and circulatory reagent cleaning of gravel filters. Methods we developed to calculate the dissolution times of colmatation sediment required to achieve the desired degree of decolmatation (95-97%) with periodic and continuous supply of reagent solution in the circulatory pipes. Construction parameters of annular system were explained, technologies of hydrodynamic and reagent cleaning providing effective cleaning of filter and pre-filter zones from colmatation sediments were developed. The economic effect from introducing the technology of hydrodynamic cleaning at a well in the village of Uzla was Br38,2568 million as of 01.08.2012.

The developed technologies of annular regeneration of water wells may be used for sustaining stable operating conditions of groundwater intake wells by effective maintenance activities with minimal adverse effects on the environment.

The scope of created technologies includes systems of public water supply, as well as vertical drainage.

Научное издание

АВТУШКО

Павел Александрович

**ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ И РЕАГЕНТНОЙ
РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН
С ЗАТРУБНЫМИ СИСТЕМАМИ ПРОМЫВКИ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация,
строительные системы охраны водных ресурсов**

Подписано в печать 14.05.2015

Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,8. Уч.-изд. л. 1,41. Тираж 70. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий №1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.