

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 628.114

ИВАШЕЧКИН
Владимир Васильевич

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН
ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ И ГАЗОИМПУЛЬСНЫМИ МЕТОДАМИ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук

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

Минск, 2012

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный консультант- **Михневич Эдуард Иванович**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Водоснабжение и
водоотведение» Белорусского национального
технического университета

Официальные оппоненты: **Войтов Игорь Витальевич**, доктор
технических наук, председатель
Государственного комитета по науке и
технологиям Республики Беларусь;

Первов Алексей Германович, доктор
технических наук, профессор, профессор
кафедры «Водоснабжение» Московского
государственного строительного университета;

Русецкий Алик Павлович,
доктор технических наук, ведущий научный
сотрудник РУП «Институт мелиорации»

Оппонирующая организация- Государственное научное учреждение
«Институт природопользования»

Защита состоится «24» февраля 2012 г. в 14⁰⁰ 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, тел. ученого секретаря (017) 265-97-29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского
национального технического университета.

Автореферат разослан « » января 2012 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций

Нестеров Л.В.

ВВЕДЕНИЕ

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения в Республике Беларусь в основном используются подземные воды. По данным Департамента по геологии Минприроды, на балансе водопользователей в настоящее время находится более 36 тысяч разведочно-эксплуатационных скважин. При этом значительная часть из них функционирует неэффективно со сниженными дебитами и высокими энергозатратами на подъем воды из-за явлений химического, биологического, механического колюматажа фильтров и прифильтровых зон. Проводимые профилактические мероприятия по повышению равномерности эксплуатации скважин, предупреждению аэрации подземных вод и др. несколько замедляют, но не исключают химический колюматж, который принято считать неизбежным процессом. Поэтому эффективная работа водозаборов подземных вод возможна только при условии регулярной своевременной регенерации скважин, обеспечивающей полное удаление отложений из их фильтров и прифильтровых зон. Ситуация осложняется тем, что эксплуатируемые и вновь сооружаемые скважины имеют недостаточно ремонтпригодные конструкции, в которых деколюматация фильтров и прифильтровых зон может производиться только изнутри фильтров, в то время как отложения находятся на их наружной поверхности, в толще гравийной обсыпки и водоносных пород. Известные методы импульсной и реагентной деколюматации фильтров скважин такие, как электрогидроудар, пневмовзрыв, реагентная ванна, а также сочетание этих методов, при цементированности и значительной глубине проникновения отложений не обеспечивают полную степень их удаления. Поэтому фактический срок службы большинства скважин не превышает 16–19 лет, что существенно ниже их расчетного срока эксплуатации. Недопустимо снизившие дебит скважины тампонируют и перебуривают, что требует привлечения значительных финансовых средств. Ежегодно в Республике Беларусь сооружается более 520 скважин. В условиях роста цен на строительство и эксплуатацию скважин, проблема поддержания их начальной производительности в процессе многолетней эксплуатации остается нерешенной и представляет собой актуальную научно-практическую проблему, имеющую важное народнохозяйственное значение.

Для решения этой проблемы в диссертации разработаны новые конструкции долговечных ремонтпригодных скважин с затрубными системами реагентной циркуляционной регенерации и эффективные циркуляционно – реагентные, газоимпульсные и комбинированные газоимпульсно-реагентные технологии регенерации скважин типовых конструкций.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Работа выполнялась в течение 1985–2011 гг. в рамках отраслевых планов и научно-технических программ: по планам Минжилкомхоза БССР – ГР № 01850078237 (1985–1986 гг.); заданий 04.04.09.Т «Разработать и освоить технологию ремонта и технического обслуживания водозаборных скважин» и 04.04.09.01.И «Разработать и создать нормокомплект по диагностике, ремонту и техническому обслуживанию водозаборных скважин» общесоюзной программы 0.85.01, утвержденной постановлением ГКНТ СССР №555 от 30.10.1985 – ГР №01860124791 (1986–1990 гг.); по планам Минобразования Республики Беларусь: ГБ 06–107 – ГР № 20061392 (2006 г.) и ГБ 11–163 – ГР № 20113531(2011 г.), а также в рамках внутривузовских госбюджетных тем (1985–2011 гг.); по планам Минжилкомхоза Республики Беларусь: ГНТП «Городское хозяйство» 2006–2007 гг. – ГР № 2007623 и ГНТП «Жилищно-коммунальное хозяйство» (2011–2012 гг.).

Цель и задачи исследования. Целью работы является научно-техническое обоснование и технологическое обеспечение восстановления производительности водозаборных скважин методами циркуляционной и газоимпульсной декольматации фильтров и прифильтровых зон.

Объект исследования – водозаборные скважины.

Предмет исследования – кольматаж фильтров, технологии циркуляционной, газоимпульсной, реагентной и комбинированной регенерации скважин.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

1. На основе исследования состава кольматирующих отложений фильтров скважин разработать методику расчета коэффициента удельного расхода реагентов на растворение отложений.

2. Выполнить анализ сроков службы, рациональных межремонтных периодов водозаборных скважин и разработать методику расчета изменения во времени суммарной производительности действующего водозабора подземных вод с учетом кольматажа и взаимовлияния скважин.

3. Обосновать конструктивные параметры скважины, оснащенной затрубной системой циркуляционной реагентной регенерации. Исследовать процесс выщелачивания кольматирующих отложений дитионитом натрия для обоснования продолжительности процесса регенерации.

4. Разработать методику расчета конструктивных параметров секторного устройства циркуляционной реагентной регенерации, которое делит фильтр скважины на нагнетательные и всасывающие секторы, и технологию регенерации скважин с помощью секторного устройства.

5. Исследовать пульсации продуктов газового взрыва в скважине и распространение волн давления в ее прифильтровой зоне при сжигании газообразных энергоносителей в открытой снизу и замкнутых взрывных камерах с эластичными оболочками с целью определения параметров взрывов, достаточных для разрушения кольматирующих отложений.

6. Разработать методику расчета величины динамической нагрузки, действующей на стенку фильтра, закольматированного рыхлыми и слабосцементированными отложениями, при его газоимпульсной обработке в замкнутой секции с воздушным колпаком и методику расчета предельных давлений и необходимых энергозатрат декольматации прочносцементированных отложений при газоимпульсной обработке фильтра в замкнутой секции малого объема.

7. Разработать и внедрить технологии и оборудование для циркуляционной, газоимпульсной и комбинированной газоимпульсно-реагентной регенерации скважин на основе подводного взрыва газовых смесей, энергии расширения газа, полученного при испарении жидкого азота.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика определения коэффициента удельного расхода соляной кислоты для растворения кольматанта, основанная на учете баланса веществ, вступающих в реакции взаимодействия основных компонентов кольматанта с соляной кислотой, позволяющая определить дозу солянокислотного реагента для регенерации скважины с использованием данных химического анализа кольматанта, представленного в виде оксидов основных элементов.

2. Расчет конструктивных параметров водозаборной скважины, оснащенной затрубной системой горизонтальной циркуляционной реагентной регенерации, состоящей из циркуляционных нагнетательных трубок, размещенных в гравийной обсыпке фильтра, позволяющий определить необходимое количество, размеры и размещение трубок, обеспечивающих эффективную регенерацию скважины за счет доставки реагента во все точки гравийной обсыпки при заданной скорости фильтрационного потока.

3. Расчет параметров скважинного секторного устройства горизонтальной циркуляционной реагентной регенерации, основным отличием которого является наличие нагнетательных и всасывающих секторов, разделенных вертикальными пакерами, позволяющий определить количество секторов, учесть параметры фильтра и прифильтровой зоны при подборе погружного циркуляционного насоса, входящего в состав секторного устройства. Технология поинтервальной регенерации с использованием этого устройства, обеспечивающая при заданной скорости циркуляции равномерную очистку фильтра и прифильтровой зоны от кольматирующего осадка.

4. Аналитические зависимости для расчета давления и скорости движения продуктов взрыва во времени, амплитудно-временных параметров волн давления на стенке фильтра и в прифильтровой зоне скважины при подводных газовых взрывах в цилиндрических и сферических взрывных камерах с эластичными оболочками, учитывающие силы инерции, трения, параметры скважины и пласта, позволяющие разработать необходимые режимы газоимпульсной регенерации фильтров скважин без разобщения зоны обработки пакерами.

5. Аналитические зависимости для расчета величины динамической нагрузки на стенку фильтра при разрушении рыхлых и слабосцементированных отложений и для определения предельных давлений и необходимых энергозатрат при разрушении прочносцементированных отложений, позволяющие разработать режимы газоимпульсной регенерации фильтров скважин для указанных видов отложений при разобщении зоны обработки пакерами.

6. Технологии газоимпульсной и комбинированной газоимпульсно-реагентной регенерации скважин на основе подводного взрыва газовых смесей, энергии расширения сжатого газа, полученного при испарении жидкого азота, экспериментальные данные и результаты внедрения созданного технологического оборудования.

Личный вклад соискателя. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены автором как самостоятельно, так и в соавторстве. При этом автору лично принадлежат: выбор научно-технического направления; разработка методик проведения экспериментов и конструкций опытных установок; научное руководство и участие в исследованиях; разработка теоретических основ предлагаемых методов регенерации скважин и фильтров водоподготовки; научное обоснование параметров и режимов работы технологического оборудования; анализ и обработка результатов исследования; написание печатных работ, научно-технических отчетов и описаний к изобретениям. Научные положения, выносимые на защиту (кроме положения 3, разработанного с аспирантом А.М. Шейко), разработаны автором лично.

Совместными являются научно-производственные результаты, связанные с выполнением госбюджетных и хоздоговорных НИР, где автор являлся руководителем или ответственным исполнителем. Работы, связанные с внедрением технологий и оборудования регенерации и дезинфекции скважин, проведены совместно с А.Н. Кондратовичем, А.Д. Гуриновичем, А.М. Шейко, В.Н. Ануфриевым. Опубликованные по теме диссертации работы выполнены автором лично и в соавторстве. Основные соавторы опубликованных работ: А.М. Шейко, А.Н. Кондратович, А.Д. Гуринович, Д.А. Козлов, В.В. Верременюк.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертации докладывались на следующих научно-технических конференциях, семинарах и конгрессах: Всесоюзном семинаре «Сооружение и эксплуатация водозаборов подземных вод» в МДНТП им Ф. Э. Дзержинского (Москва, 1991), Научно-технической конференции «Регенерация водозаборных скважин» (Нюрнберг, ФРГ, 1994 г.), 4-й МК «Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность» (Кемерово, 2001 г.), НТК профессорско-преподавательского состава БНТУ (Минск 1988–2002 гг.), МК «Наука - образованию, производству, экономике» (Минск, 2003–2011 гг.), МК «Современное оборудование и технологии в проектировании, строительстве и эксплуатации систем водоснабжения из подземных источников» (Москва, 2005 г.), МК «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (Гродно, 2005 г.), 3-й МК «Аграрная энергетика в XXI столетии» (Минск, 2005 г.), 13-й и 16-й МК «Прикладные задачи математики и механики» (Севастополь, 2005 г. и 2008 г.), 7-м Международном конгрессе ЭКВАТЭК–2006 «Вода: экология и технология» (Москва, 2006 г.), 1-й восточно-европейской конференции специалистов водного сектора (Минск, 2009 г.), Конгрессах «Вода – 2002, 2003, 2010» (Минск), 3-м и 4-м Международных Водных форумах (Минск 2008 и 2010 гг.). Новая конструкция водозаборной скважины включена в ТКП 17.04-21-2010.

Опубликованность результатов диссертации. По материалам диссертационных исследований опубликовано: 114 работ, в том числе 2 монографии (30 авторских листов), 78 статей (39 – в рецензируемых журналах, включенных в Перечень ВАК Беларуси, всего 15 авторских листов, 13 – в научно-технических и научно-практических журналах, 26 – в сборниках материалов конференций), 2 тезиса докладов на конференциях, 9 патентов, 23 авторских свидетельства на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации 314 страниц. Работа содержит 195 страниц машинописного текста, 95 рисунков на 34 страницах, 25 таблиц на 9 страницах, библиографический список в количестве 228 наименований на 20 страницах, включая 117 авторских работ и 11 приложений на 56 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе рассмотрено современное состояние теории и практики восстановления производительности скважин на воду, выявлены проблемы и намечены пути их решения.

Значительный вклад в разработку методов интенсификации водоотбора из подземных источников и их научное обоснование внесли Гаврилко В.М., Алексеев В.С., Гуринович А.Д., Тесля В.Г., Гребенников В.Т., Романенко В.А., Ловля С.А., Щеголев Е.Ю., Андреев К.Н., Школьный Н.П. и др.

Анализ применяемых в настоящее время типовых конструкций водозаборных скважин показал, что они недостаточно ремонтпригодны, так как реагентные и импульсные методы регенерации, осуществляемые здесь изнутри фильтров, не всегда эффективны. Из-за неполного удаления отложений, их накопления и упрочнения, в длительно эксплуатирующихся скважинах радиус зон кольматажа достигает 0,5 м, а прочность цементированных кольматирующими отложениями песков в кольцевой зоне, прилегающей к фильтру, возрастает до 2 МПа. Скважины работают неэффективно, их эксплуатация становится нецелесообразной. Это указывает на необходимость исследования и разработки новых ремонтпригодных конструкций скважин, оснащенных затрубными системами циркуляционной реагентной регенерации.

Установлено, что известные технологические схемы вертикальной секционной циркуляционной реагентной регенерации, предполагающие деление фильтра по высоте на закачную и откачную секции, из-за характера циркуляции не обеспечивают равномерную очистку прифилтровых зон скважин, закольматированных цементированными осадками. Это обуславливает необходимость разработки более эффективных циркуляционных методов регенерации с горизонтальной секторной циркуляцией реагента.

Анализ разрушающих факторов импульсных методов регенерации скважин показал, что электрогидроударный и пневмоимпульсный методы не универсальны для создания мощных волновых и динамических воздействий на цементированный кольматант и нетехнологичны при работе в реагентах. Это указывает на актуальность разработки газоимпульсных и комбинированных методов на основе взрывов водородно-кислородной газовой смеси (ВКГС) состава 2:1, полученной электролизом воды в скважинном устройстве, хлор-водородной газовой смеси (ХВГС), энергии расширения сжатого газа, полученного при испарении жидкого азота, имеющих широкий спектр разрушающих факторов, в том числе и имплозию.

Изучение теоретических подходов к расчету импульсного воздействия на фильтр и прифилтровую зону скважин показало, что известная методика расчета энергии единичного импульса и общих энергозатрат декольматации фильтров является недостаточно точной, так как она учитывает только энергию одного из разрушающих факторов – ударной волны – и поэтому нуждается в совершенствовании с учетом характера воздействия на отложения.

Вторая глава посвящена разработке методики расчета удельного расхода реагентов на растворение кольматирующих отложений, исследованию

интенсивности снижения удельного дебита скважин и суммарной производительности водозаборов подземных вод в результате кольматажа.

Анализы проб кольматирующих отложений скважин подтвердили многокомпонентность их состава с преобладающим содержанием оксидов железа, иногда превышающим 80 % (в пересчете на Fe_2O_3). Тестирование показало, что реагенты – нейтрализаторы: HCl , нетоксичные кислотные чистящие средства «Дескам» и «МСК» (ТУ РБ 37430824.001-97) с 20 %-м содержанием соляной кислоты по массе являются эффективными реагентами для растворения железистых кольматирующих отложений.

Разработана методика расчета коэффициента удельного расхода K_c соляной кислоты, входящего в формулу для определения ее массы M_{HCl} (в пересчете на хлористый водород 100 % концентрации), необходимой для декольматации скважины: $M_{\text{HCl}} = 1,2 \cdot K_c \cdot M_K$, где M_K - масса кольматанта в скважине. Методика основана на учете баланса веществ, вступающих в реакции взаимодействия основных компонентов кольматирующих отложений с соляной кислотой, и данных химического анализа отложений. Исходили из того, что содержание Fe_2O_3 в химическом анализе дает количественную характеристику суммы всех железосодержащих соединений: $\text{Fe}(\text{OH})_3$, Fe_2O_3 , FePO_4 , FeS , процент CaO , MnO , MgO – карбонатов: CaCO_3 , MnCO_3 , MgCO_3 , а потери при прокаливании (900°C) характеризуют количество веществ, которые удаляются при разложении карбонатов. Коэффициент K_c определяли как массу кислоты m_{HCl} (пересчитанную на хлористый водород 100 % концентрации), необходимую для растворения кольматанта единичной массы m_K .

$$\hat{E}_n = m_{\text{HCl}} / m_e = (m'_{\text{HCl}} + m''_{\text{HCl}}) / m_K, \quad (1)$$

где m'_{HCl} и m''_{HCl} – массы соляной кислоты, идущие на растворение соответственно карбонатов и железосодержащих соединений.

Приведена полная методика расчета K_c и результаты лабораторных исследований по растворению соляной кислотой железистых отложений скважины № 18б водозабора «Зеленовка» г. Минска. Величина относительного отклонения расчетного и экспериментального значений K_c составила 2,7 %.

По материалам УП «Минскводоканал» проанализировано распределение по сроку службы и относительным частотам этого распределения у 224 полностью вышедших из строя скважин. Установлено, что средний срок службы основной массы скважин не превышает 16–19 лет, что указывает на низкую долговечность скважин типовых конструкций. Основными причинами выхода их из строя являются кольматаж и пескование, обусловленные неэффективностью регенерации и несоблюдением режимов эксплуатации.

Исследована интенсивность снижения удельного дебита скважин 11 водозаборов подземных вод г. Минска. Данные изменения удельного дебита каждой скважины во времени аппроксимировали экспоненциальной функцией (формула Н.Д. Бессонова) $q_t = q_0 \cdot e^{-\beta t}$, где q_t , q_0 – текущий и начальный удельные дебиты; β – коэффициент, учитывающий изменения удельного дебита в связи с кольматажем (коэффициент старения скважины); t – время. Рациональный межремонтный период определяли как период снижения начального удельного дебита q_0 на 25 %. Установлено, что минимальные значения коэффициента старения – $\beta = 0,019$ 1/год и максимальные значения рационального срока регенерации – $t_p = 14,6$ года получены для скважин верхнепротерозойского водоносного горизонта. Для скважин днепровско-сожского водоносного горизонта эти показатели значительно хуже: $\beta = 0,068 - 0,14$ и $t_p = 4,2 - 2,1$ года. Значения t_p по водозаборах г. Минска лежат в диапазоне от 2 до 6,5 лет (в среднем 3,4 года) и зависят от гидрогеологических условий, конструкций фильтров, но мало зависят от абсолютных значений показателя Ризнера и количества железа в воде.

На основе использования методов комплексного расчета систем подачи воды и прогноза снижения дебита скважин с учетом кольматажа, предложена методика расчета изменения во времени суммарной производительности действующего водозабора подземных вод. Система уравнений динамического равновесия водозабора (см. рисунок 1, а) состоит из N уравнений, равных числу скважин водозабора ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) с неизвестными дебитами Q_n :

$$v_n Q_n^2 + Q_n e^{\beta_n t} / \left[q_n \left(1 - \sum_{j=1}^n \nabla \alpha_{j,n} \right) \right] + \Delta S_n(t) + H_n + Z_n + \Delta H_n - a_n = 0, \quad (2)$$

где a_n , v_n – коэффициенты характеристики насоса $H=f(Q)$; q_n – удельный дебит скважины на момент обследования при её одиночной работе; $\left(\sum_{j=1}^n \nabla \alpha_{j,n} \right)$ – суммарный коэффициент снижения дебита, определяемый по методу М.Е. Альтовского, равный сумме коэффициентов снижения дебита $\alpha_{j,n}$ всех j -х скважин, взаимодействующих с n -й скважиной (индекс ∇ указывает на то, что из суммы исключен член $j = n$); $\Delta S_n(t)$ – дополнительное понижение уровня в n -й скважине, обусловленное общей сработкой запасов подземных вод в пласте; ΔH_n – суммарные потери напора от насоса до бака.

Входящие в формулы значения коэффициентов $\alpha_{j,n}$, β_n , определяют по результатам обследования скважин водозабора. Строится график изменения

суммарной производительности водозабора $Q = f(t)$ (рисунок 1, б). По графику определяют период устойчивой работы T_s водозабора – время снижения производительности Q водозабора до значения, равного фактическому водопотреблению Q_s населённого пункта. Это позволяет планировать мероприятия по регенерации скважин и подбирать погружные насосы по найденным дебитам Q_n и понижениям S_n .

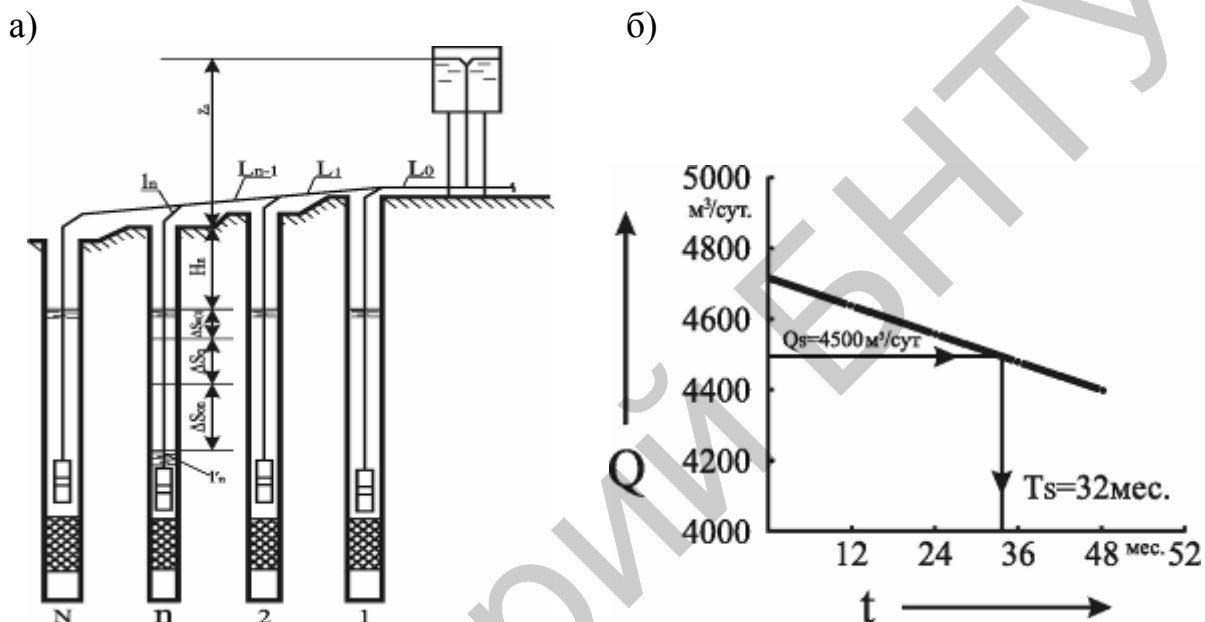


Рисунок 1- Расчетная схема водозабора (а) и график изменения во времени суммарной производительности водозабора г. Щучина (б)

Рассмотрен пример расчета периода устойчивой работы водозабора г. Щучина из восьми скважин, который составил 32 месяца (см. рисунок 1, б).

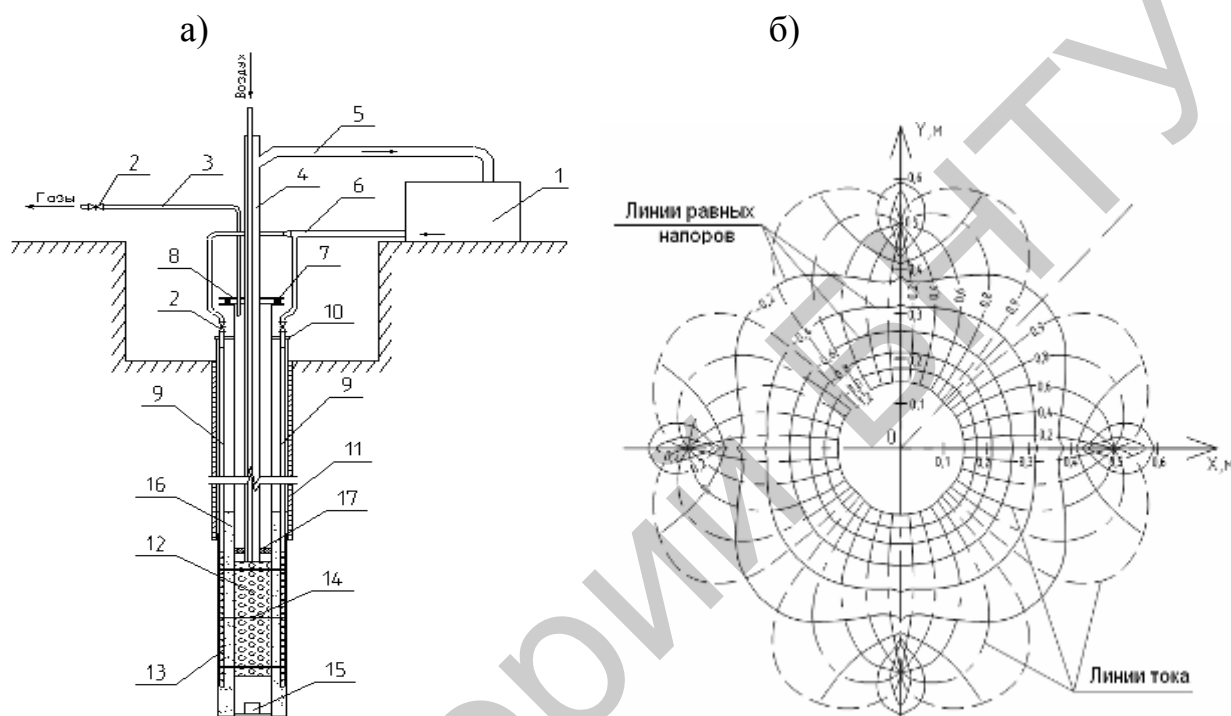
Третья глава посвящена исследованиям методов горизонтальной циркуляционной регенерации скважин новой конструкции с затрубными системами регенерации и скважин типовых конструкций.

Скважина новой конструкции и технологическая схема ее циркуляционной реагентной регенерации представлена на рисунке 2, а.

Скважина содержит затрубную систему регенерации, которая состоит из нескольких циркуляционных трубок, симметрично расположенных на внешнем контуре гравийной обсыпки фильтра и перфорированных в интервале его установки. Трубки выведены на устье скважины и снабжены вентилями. Технология обработки заключается в подаче реагента в каждую n -ю трубку с расходом Q/n из напорного бака, и откачке продуктов растворения кольматанта из фильтра скважины с расходом Q эрлифтом назад в бак. Равенство расходов закачки и откачки обеспечивает непрерывную горизонтальную циркуляцию реагента во всей прифильтровой зоне скважины.

Общий вид гидродинамической сетки фильтрации при закачке жидкости в четыре циркуляционные трубки представлен на рисунке 2, б.

Для обоснования количества трубок и обеспечения необходимой скорости циркуляции реагента в гравийной обсыпке была изучена гидродинамика циркуляционного фильтрационного потока.



1 – напорный бак с реагентом; 2 – вентиль; 3 – труба выпуска газа; 4 – эрлифт; 5,6 – шланги; 7 – уплотнение; 8- герметичный оголовок; 9 – циркуляционные трубки; 10 – плита; 11 – затрубная цементация; 12 – фильтр скважины; 13 – фильтровая часть циркуляционных трубок; 14 – хомуты; 15 – муфта; 16 – фильтрующая засыпка; 17 – пакер

Рисунок 2 – Схема регенерации скважины новой конструкции (патент Республики Беларусь №9453) (а) и общий вид гидродинамической сетки фильтрации (б)

Изменение уровня S в любой точке прифильтровой зоны водозаборной скважины после установления квазиустановившегося движения находили из известного уравнения, полученного на основе метода наложения фильтрационных течений при допущениях о том, что циркуляционные трубки работают в режиме нагнетательных скважин, скважина и трубки являются совершенными по степени и характеру вскрытия водоносного пласта

$$S = \frac{Q}{4\pi Km} \left(\ln \frac{2,25at}{r^2} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{2,25at}{\rho_i^2} \right) = \frac{Q}{4\pi Km} \left(-\ln r^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \rho_i^2 \right), \quad (3)$$

где r – расстояние от водозаборной скважины радиусом r_c до точки, в которой определяется понижение; ρ_i – расстояние от i -й циркуляционной трубки до

точки, в которой определяется понижение; t – время; a, K – коэффициенты пьезопроводности и фильтрации грунта; m – мощность пласта.

Лабораторные исследования циркуляции проводились на установке, которая состояла из радиального фильтрационного лотка диаметром $d = 1,22$ м с моделью фильтра скважины диаметром $d = 125$ мм в центре и четырех циркуляционных трубок $d = 20$ мм, симметрично установленных на радиусе $R = 0,3$ м от оси фильтра. Анализ расчетных и опытных значений напора h пьезометрической линии, построенной для главной линии тока, соединяющей оси фильтра и одной из трубок ($Q = 0,242$ л/с; $K = 0,7$ см/с; $m = 0,3$ м; $R = 0,3$ м), показал, что относительное отклонение этих величин не превышает 7 % (рисунок 3). Это говорит о возможности использования расчетной зависимости (3) для описания поля напоров и построения гидродинамической сетки (см. рисунок 2, б).

После обработки гидродинамических сеток, построенных для затрубных систем с различным количеством n трубок ($n = 2-8$) при $Q = \text{const}$, $Km = \text{const}$, рекомендовано количество трубок в диапазоне от 4 до 5. Общий вид крепления затрубной системы к фильтру и устье скважины представлены на рисунке 4.

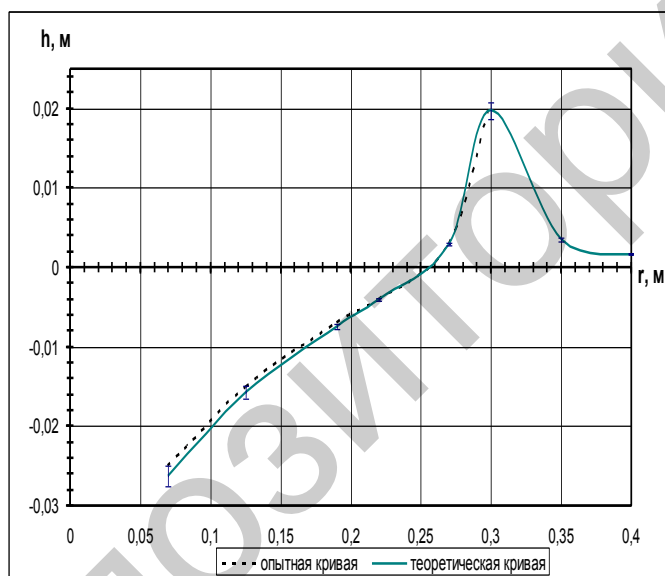


Рисунок 3 – Результаты экспериментальных и теоретических исследований

Рисунок 4 – Фильтр ($D=219$ мм) с затрубной системой регенерации ($d=20$ мм) и устье скважины

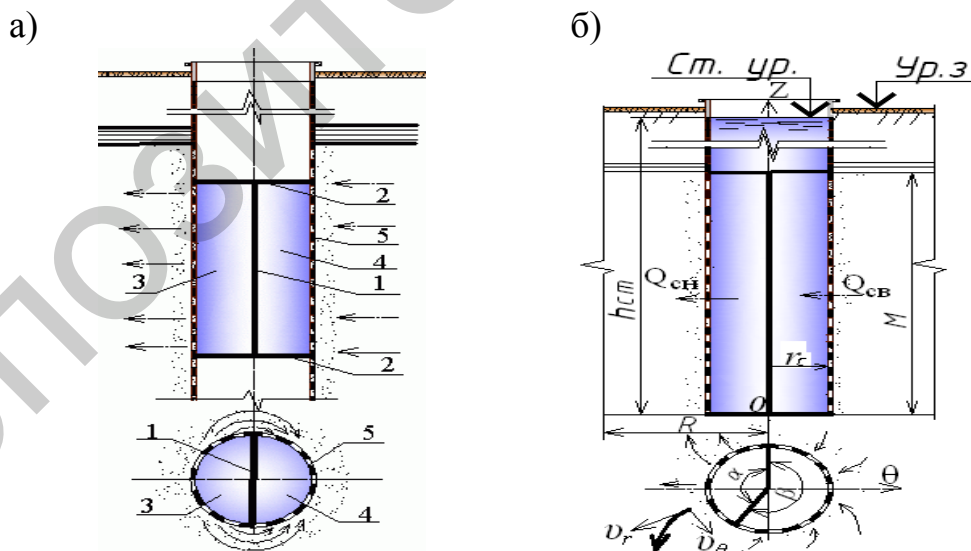
Приведены результаты лабораторных исследований влияния скорости v движения дитионита натрия на время растворения t железистого кольматанта. Установлена логарифмическая регрессионная зависимость следующего вида: $\bar{t} = a \cdot \ln(\bar{v}) + b$, где a, b – коэффициенты, зависящие от состава отложений; $\bar{t} = t/t_{\text{max}}$; $\bar{v} = v/v_{\text{max}}$; t_{max} – максимальная продолжительность процесса выщелачивания; v_{max} – максимальная скорость движения реагента. Зависимость используется для определения общей продолжительности циркуляции реагента при регенерации скважины при заданной скорости фильтрации.

Количество отложившихся осадков M_K в скважине определяют через насыщенность a' порового пространства кольматантом $a' = 1 - (K_{1П} / K_{0П})^{1/3}$, где $K_{0П}$, $K_{1П}$ - соответственно коэффициенты фильтрации пород в прифильтровой зоне скважины в моменты пуска скважины в работу и перед реагентной обработкой, определяемые в процессе откачек по замерам дебита и уровней воды в скважине и циркуляционных трубах. Массу соляной кислоты $M_{НСI}$ для регенерации определяют по найденному значению коэффициента K_c (1).

Произведена оценка эффективности регенерации модели скважины, закольматированной цементированным железистым осадком. Удельный дебит через 65 минут после циркуляции кислотным средством «Дескам» с 20 %-м содержанием HCl составил 95 % от начального.

На основе создания методики расчета конструктивных параметров разработана конструкция новой скважины, технологии ее бурения и капитального ремонта. На водозаборах п. Ждановичи Минского района (см. рисунок 4) и д. Узла Мядельского района в 2011 году пробурены две скважины новой конструкции глубиной 82 м и 46 м. Конструкция скважины включена в ТКП 17.04-21-2010 «Правила проектирования, сооружения, ликвидации буровых скважин различного назначения».

Совместно с аспирантом Шейко А.М. разработана конструкция секторного устройства циркуляционной регенерации (СУЦР), разделяющего фильтр скважины при его регенерации на нагнетающие 3 и всасывающие 4 сектора, образованные вертикальными 1 и горизонтальными пакерами 2 (см. рисунок 5, а).



1,2 – вертикальный и горизонтальный пакеры; 3,4 – нагнетательный и всасывающий секторы; 5 – фильтр скважины

Рисунок 5 - Принципиальная схема секторного устройства (патент Республики Беларусь №10296) (а) и расчетная схема движения жидкости при циркуляции (б)

Жидкость с расходом Q_{CH} из нагнетающего сектора непрерывно поступает в прифильтровую зону и забирается в количестве Q_{CB} всасывающим сектором (см. рисунок 5, б). Скважина предполагается совершенной по степени и характеру вскрытия пласта мощностью M . Движение принято установившимся, давление и скорость зависят от радиуса r и угла θ , т.е. $p = p(r, \theta)$, $v = v(r, \theta)$.

Для описания процесса фильтрации было использовано уравнение Лапласа в цилиндрической системе координат, получено выражение для напора $h(r, \theta)$

$$h(r, \theta) = h_{\text{ст}} - \frac{(Q_{CH} - Q_{CD})}{MK(\alpha + \beta)} \ln \frac{r}{R} + \frac{(\alpha + \beta)}{2\pi^2 MK} \left(\frac{Q_{CH}}{\alpha} + \frac{Q_{CD}}{\beta} \right) \times \\ \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \frac{\left(\left(\frac{R}{r} \right)^{km} - \left(\frac{r}{R} \right)^{km} \right)}{\left(\left(\frac{R}{r_c} \right)^{km} - \left(\frac{r_c}{R} \right)^{km} \right)} \left(\sin(mk\theta) + \sin(mk(\alpha - \theta)) \right), \quad (4)$$

где r_c – радиус скважины; R – радиус контура питания; α , β – углы нагнетательного и всасывающего секторов; необходимое условие: $(\alpha + \beta)m = 2\pi$, где m – число одноименных секторов, $n = 2m$ – их общее количество; K – коэффициент фильтрации грунта; h – напор в пласте; $h_{\text{ст}}$ – статический напор.

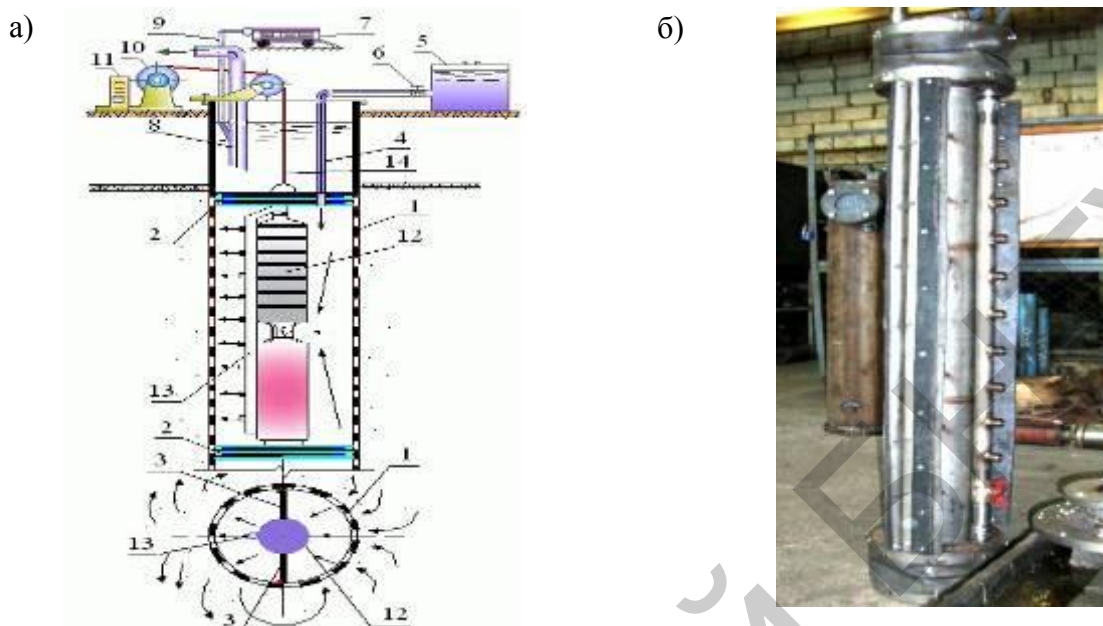
Получены выражения для радиальной v_r и угловой составляющей v_θ вектора скорости, которые позволяют определять скорость $v = \sqrt{v_r^2 + v_\theta^2}$ в любой точке прифильтровой зоны (за исключением точек $\theta = 0$, $\theta = \alpha$ при $r = r_c$).

Установлено, что в случае симметричной схемы циркуляции $Q_{CH} = Q_{CB} = Q_{\text{ц}}$ и $\alpha = \beta$, максимальные скорости движения реагента в прифильтровой зоне при циркуляции имеют место, когда устройство делит фильтр на два сектора ($m = 1$).

Анализ теоретических и опытных значений понижения (повышения) уровней S в пьезометрах модельной скважины показал, что относительная погрешность этих величин при однородном грунте составила 4,7 %. Удельный дебит модельной скважины после циркуляционной регенерации дитионитом натрия в течение 50 минут возрос в 1,5 раза и достиг 79 % от начального.

Разработаны методика определения длины L_y погружного секторного устройства на базе агрегата ЭЦВ из условия обеспечения заданной скорости потока в прифильтровой зоне и технология регенерации скважин с поинтервальной схемой обработки фильтра (рисунок 6, а). На ОАО «Завод Промбурвод» изготовлен опытный образец СУЦР на базе ЭЦВ 5-10-65 (см. рисунок 6, б). В результате опытно-промышленных испытаний технологии с

применением СУЦР на скважине № 21^В водозабора «Боровляны» ее удельный дебит увеличился в 3,1 раза (с 8 до 25 м²/ч).



1 – фильтр скважины; 2 – горизонтальные пакеры; 3 – вертикальная разделительная перегородка; 4 – подводная линия; 5 – емкость; 6 – задвижка; 7 – компрессор; 8 – водоподъемная труба эрлифта; 9 – воздухопроводная труба эрлифта; 10 – лебедка; 11 – пульт управления; 12 – электронасос; 13 – нагнетательный патрубок; 14 – кабель-трос

Рисунок 6 – Схема регенерации скважины (а) и опытный образец СУЦР (б)

Установлено, что при перемешивании подогретого реагента при $t = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 6 часов, степень растворения железа кольматирующих отложений возросла более чем на 40 % по отношению к способу «реагентной ванны» и составила более 90 %. На этой основе разработаны секционные циркуляционные устройства новых конструкций, в которых предусмотрен подогрев и перемешивание реагента (патенты Республики Беларусь № 9930 и № 10294).

Четвертая глава посвящена исследованию методов газоимпульсной регенерации скважин без разобщения участков обработки пакерами.

Для обоснования технологических параметров газоимпульсной регенерации фильтров скважин при обработках в воде и реагентах рассмотрена гидродинамика подводных газовых взрывов в полузамкнутой и замкнутых взрывных камерах с эластичными оболочками.

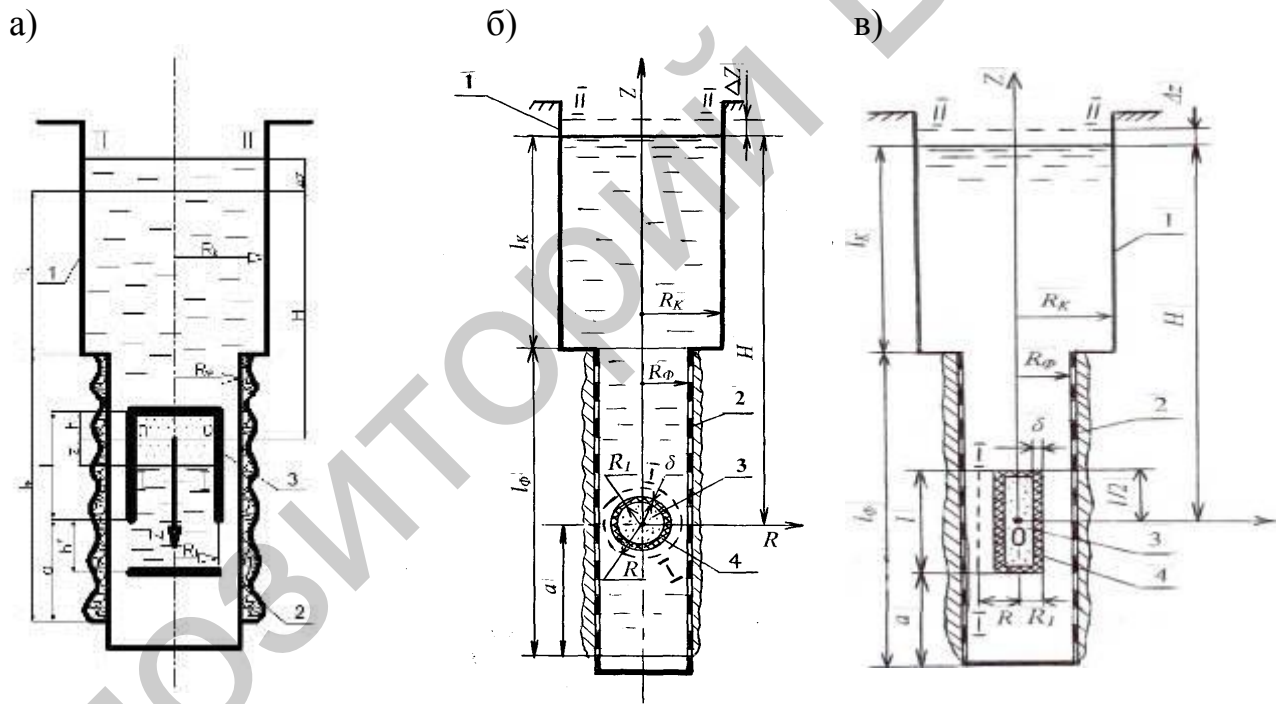
Для описания процесса пульсаций продуктов взрыва в скважине использован 1-й закон термодинамики: начальная энергия продуктов взрыва \mathcal{E}_1 расходуется на увеличение их внутренней энергии W , на работу продуктов взрыва A против сил внешнего давления при увеличении объема продуктов взрыва от V_1 до V и на работу $A_{об}$ деформации оболочки взрывной камеры:

$$W + \int_{V_1}^V p_I dV + A_{o\delta} = \mathcal{E}_1, \quad (5)$$

где p_I – давление на продукты взрыва со стороны жидкости в скважине в процессе пульсаций, которое находили из уравнения Д. Бернулли на случай неустановившегося движения.

Использованы допущения: жидкость несжимаема; стенки скважины и закольматированного фильтра – абсолютно жесткие и непроницаемые; начальное давление продуктов взрыва p_I перед расширением равно давлению взрыва $p_{взр}$ в замкнутом объеме, $p_I = p_{взр} = m'p_0$, где m' – степень повышения начального давления p_0 ; продукты взрыва расширяются по политропному закону $p = p_1(V_1/V)^n$ со средним значением показателя n .

Расчетные схемы пульсаций продуктов взрыва приведены на рисунке 7.



а – полузамкнутая камера; б – сферическая камера; в – цилиндрическая замкнутая камера
1 – колонна; 2 – фильтр; 3 – взрывная камера; 4 – оболочка

Рисунок 7 – Расчетные схемы пульсаций продуктов взрыва

Энергетические уравнения для процесса пульсаций имеют вид:
– для полузамкнутой камеры

$$\int_{\pi R_1^2 h}^{\pi R_1^2 (h+z)} p_I dV + \frac{m'p_0 \pi R_1^2 h^n (h+z)^{1-n}}{n-1} = \frac{m'p_0 \pi R_1^2 h}{n-1}, \quad (6)$$

–для сферической замкнутой камеры

$$\int_{4/3\pi R_1^3}^{4/3\pi R^3} p_1 dV + 8\pi E \delta (R - R_1)^2 + \frac{4m'p_0\pi(R_1 - \delta)^{3n}}{3(n-1)} (R - \delta)^{3(1-n)} = \frac{4m'p_0\pi(R_1 - \delta)^3}{3(n-1)}, \quad (7)$$

–для цилиндрической замкнутой камеры

$$l \int_{\pi R_1^2}^{\pi R^2} p_1 dS + \frac{4\pi E l \delta (R - R_1)^2}{3R_1} + \frac{m'p_0\pi(R_1 - \delta)^{2n} l}{n-1} (R - \delta)^{2(1-n)} = \frac{m'p_0\pi(R_1 - \delta)^2 l}{n-1}, \quad (8)$$

где h – начальная высота слоя энергоносителя в полузамкнутой камере; δ , E – толщина и модуль упругости материала оболочки; R_1 – наружные радиусы камер; S , l – площадь сечения и длина цилиндрической замкнутой камеры.

В результате решения уравнений (6)–(8) численными методами получены зависимости $h = f(t)$ для полузамкнутой камеры и $R = f(t)$ для замкнутых камер с эластичными оболочками.

Изучение пульсаций продуктов взрыва водородно-кислородной газовой смеси (ВКГС) производилось с помощью скоростной фоторегистрации камерой СКС-1М. Сравнение полученных по фотограммам зависимостей скорость-время с расчетными данными показало, что отклонение этих величин для участка разгона продуктов взрыва не превышает 8 %. Далее расчетные кривые лежат выше экспериментальных, что объясняется нестационарным теплообменом и фазовыми переходами в продуктах взрыва ВКГС.

Для исследования процесса распространения волн давления в пласте использовали дифференциальное уравнение упругой фильтрации

$$\frac{1}{a} \frac{\partial \Delta p}{\partial t} = \frac{\partial^2 \Delta p}{\partial R^2} + \frac{b}{R} \frac{\partial \Delta p}{\partial R}, \quad (9)$$

где R – расстояния точки пласта до центра взрыва; $\Delta p(t, R)$ – повышение (понижение) давления $p(t, R)$ в волне по отношению к давлению p_0 ; a – коэффициент пьезопроводности пласта; $b = 1$ – для осесимметричной фильтрации (цилиндрическая замкнутая камера); $b = 2$ – для центрально-симметричной фильтрации (сферическая и полузамкнутая камеры).

Решение уравнения (9) искали при начальных и краевых условиях

$$\begin{cases} \Delta p(0, R) = 0, R \in [R_0; +\infty) \\ \Delta p(t, R_0) = f(t) \\ \Delta p(t, \infty) = 0 \end{cases}, \quad (10)$$

где $R_0 = R_\phi + \delta_\phi$ – наружный радиус фильтра, $\Delta p(t, R_0) = f(t)$ заданное распределение давления на наружной стенке фильтра.

Получены следующие полуэмпирические выражения для $f(t)$
– полузамкнутая камера

$$f(t) = \beta \left(\frac{R_1 - \delta}{R_\phi} \right)^s \left(\frac{h}{l} \right)^\theta \cdot \left(m' p_0 \left(\frac{h}{h(t)} \right)^n - p_0 \right), \quad (11)$$

– сферическая замкнутая камера

$$f(t) = \beta \left(\frac{R_1 - \delta}{R_\phi} \right)^s \cdot \left(m' p_0 \left(\frac{R_1 - \delta}{R(t) - \delta} \right)^{3n} - p_0 \right), \quad (12)$$

– цилиндрическая замкнутая камера

$$f(t) = \beta \left(\frac{l}{2R_\phi \ln[l/(R_1 - \delta)]} \right)^s \cdot \left(m' p_0 \left(\frac{R_1 - \delta}{R(t) - \delta} \right)^{2n} - p_0 \right), \quad (13)$$

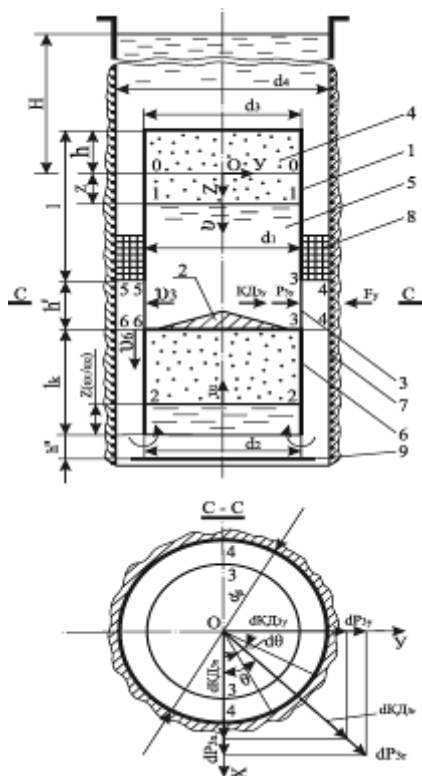
где $h(t)$, $R(t)$ – определялись соответственно как решения уравнений (6)–(8); s – показатель, учитывающий интенсивность затухания давления в полости фильтра, $s = 1,3$ (полузамкнутая камера), $s = 1,5$ (остальные камеры); $\theta = 0,76$; β – степень снижения давления материалом фильтра.

Составлены программы расчета, позволяющие рассчитать давление волны на стенке фильтра и в любой точке прифильтровой зоны, и сравнить его с прочностью закольматированного грунта. Анализ расчетных и экспериментальных значений $\Delta p_1/p_0$ на расстояниях R от оси фильтра показал, что относительная погрешность этих величин не превышает 9 %.

Четвертая глава посвящена исследованию методов газоимпульсной регенерации скважин с разобщением участков обработки пакерами на секции.

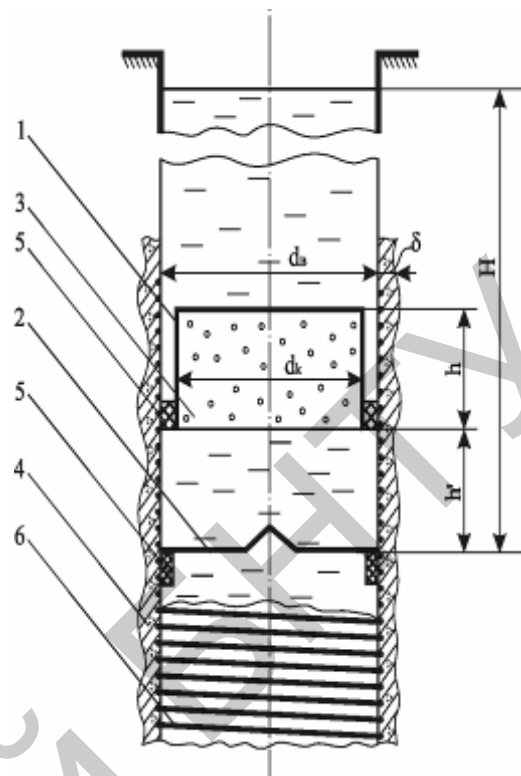
Предложено для усиления динамического воздействия промывного потока при разрушении рыхлых и слабосцементированных отложений применять обработку в замкнутой секции с воздушным колпаком (рисунок 8).

Для усиления растягивающих напряжений при газоимпульсном разрушении прочносцементированного кольматанта предложено использовать замкнутую секцию малого объема, который соизмерим с объемом продуктов взрыва при их максимальном расширении (рисунок 9).



- 1 – корпус; 2 – отражатель; 3 – отверстие;
 4 – камера сгорания; 5 – рабочая камера;
 6 – воздушный колпак; 7 – фильтр; 8 – пакер;
 9 – обтекатель

**Рисунок 8 – Расчетная схема
 газоимпульсной обработки фильтра
 в замкнутой секции с воздушным
 колпаком**



- 1 – корпус взрывной камеры;
 2 – отражатель; 3 – камера сгорания;
 4 – фильтр; 5 – пакеры; 6 – проволочная
 навивка

**Рисунок 9 – Расчетная схема
 газоимпульсной обработки
 фильтра в замкнутой секции
 малого объема**

Выполнены сравнительные расчеты максимальной скорости промывного потока v_{\max} для схемы обработки без разобшения участка фильтра пакерами (см. рисунок 7, а) и для предлагаемой схемы (см. рисунок 8). На основе решения уравнения неустановившегося движения получено выражение для расчета v_{\max} для обработки без пакеров (см. рисунок 7, а). Расчеты показали, что при глубинах $H = (40-120)$ м значения скорости v_{\max} изменяются от 4,6 до 6,9 м/с, что указывает на низкие параметры кинетической энергии промывного потока. Для предлагаемой схемы обработки (см. рисунок 8) получено уравнение движения жидкости в системе взрывная камера – воздушный колпак при следующих допущениях: жидкость несжимаема, стенки скважины абсолютно жесткие:

$$\sum_{i=1}^3 m_i \frac{d^2 z}{dt^2} = P_{\text{р.к.}} - P_{\text{в.к.}} - \sum P_{\text{тр}} , \quad (14)$$

где $\sum_{i=1}^3 m_i \frac{d^2 z}{dt^2}$ – силы инерции жидкости на участке взрывная камера-колпак;
 $P_{p.к.}$ – сила давления в рабочей камере на границе газ-вода (сечение 1-1);
 $P_{в.к.}$ – сила давления со стороны воздушного колпака;
 $\sum P_{тр}$ – равнодействующая сил сопротивления на участке между взрывной камерой и колпаком.

Для конца этапа разгона жидкости при решении уравнения (14) получены выражения для определения максимальной скорости $v = v_{1max}$ в рабочей камере при перемещении $z = z_1$, которые находят из системы уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} v_{1max} &= \sqrt{\frac{1}{L} \left\{ \frac{2p_{\hat{a}\hat{c}\hat{d}}h}{\rho(n-1)} \left[1 - \left(\frac{h}{h+z_1} \right)^{n-1} \right] - \frac{2p_{\hat{e}}l_{\hat{e}}}{\rho(n_1-1)} \left[\left(\frac{l_{\hat{e}}}{l_{\hat{e}}-z_1} \right)^{n_1-1} - 1 \right] - \zeta_{\hat{n}\hat{e}\hat{n}\hat{o}} v_{1max}^2 z_1 \right\}}; \\ v_{1max} &= \sqrt{\frac{2}{\rho} \left[p_{\hat{a}\hat{c}\hat{d}} \left(\frac{h}{h+z_1} \right)^n - p_{\hat{e}} \left(\frac{l_{\hat{e}}}{l_{\hat{e}}-z_1} \right)^{n_1} \right] / \zeta_{\hat{n}\hat{e}\hat{n}\hat{o}}}; \end{aligned} \right. \quad (15)$$

где $\zeta_{сист}$ – суммарный коэффициент сопротивления на участке 1–2;
 n_1 – коэффициент адиабаты воздуха.

Расчеты показали, что за счет снижения сил инерции достигается увеличение максимальной скорости v_{max} в 3–4 раза по сравнению со схемой обработки без пакеров (см. рисунок 7, а). Силу давления R_y промывного потока на боковую поверхность фильтра в конце участка разгона (при достижении на выходе из взрывной камеры в сечении 3-3 скорости v_{3max} и давления p_3) приближенно находят из уравнения количества движения в проекциях на ось y

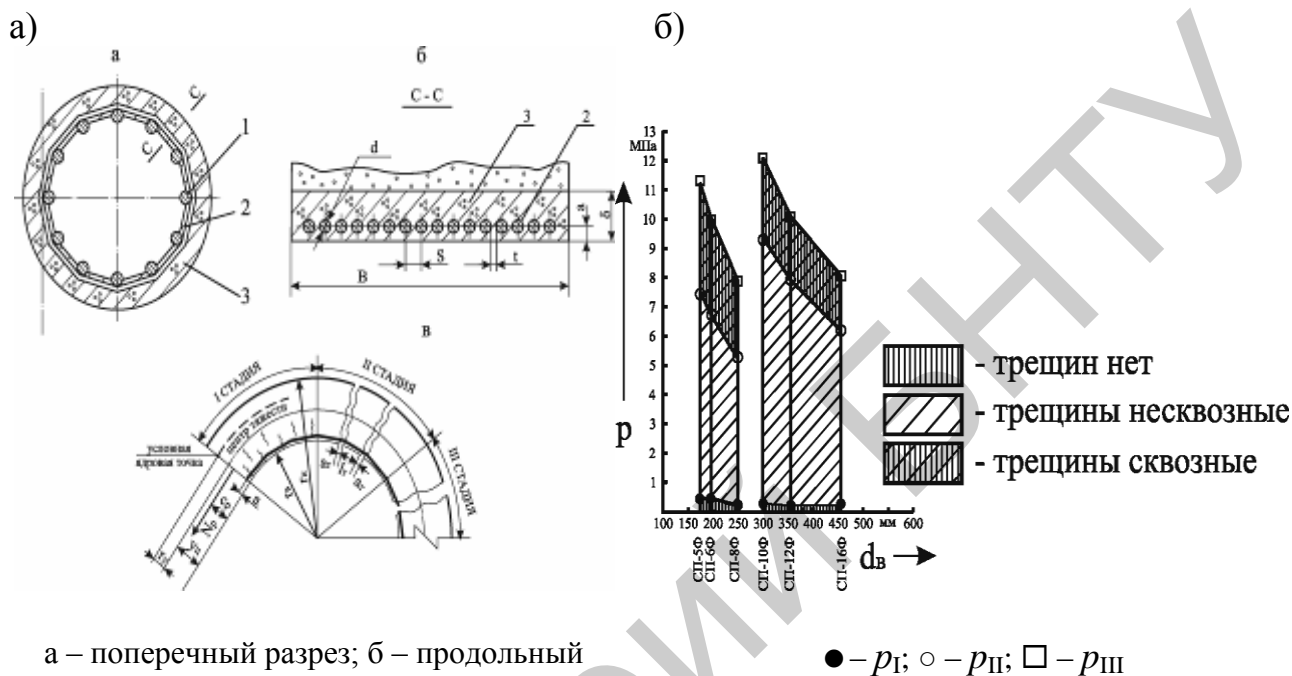
$$R_y = P_{3y} + KД_{3y} = (p_3 + \alpha_0 \rho v_{3max}^2) d_1 h' = \left[p_{взр} \left(\frac{h}{h+z_1} \right)^n + \alpha'_0 \rho v_{1max}^2 \right] d_1 h' = p_c d_1 h', \quad (16)$$

где P_{3y} и $KД_{3y}$ – проекции силы давления и секундного количества движения в сечении 3-3 на ось OY ; α_0, α – коррективы количества движения и кинетической энергии; $\alpha'_0 = (d_1/4h')^2 (\alpha_0 - \alpha/2) + 0,5(\alpha - \sum \zeta_{1-3})$; v_{3max} – скорость в сечении 3-3; p_c – давление промывного потока на стенку фильтра.

Для размыва грунта при фильтровой зоны и удаления отложений необходимо, чтобы величина давления p_c удовлетворяла условию $p_c \geq K_1 [\sigma_{сж}]$, где K_1 – эмпирический коэффициент; $[\sigma_{сж}]$ – предел прочности закольматированного грунта на сжатие. Зная значения $K_1 [\sigma_{сж}]$, находят R_y, z_1, v_{1max} и нужное количество энергоносителя h во взрывной камере.

При регенерации фильтров в замкнутых секциях малого объема (см. рисунок 9) потенциальная энергия продуктов взрыва трансформируется в работу деформации сцементированного кольматирующего кольца с созданием

в нем разрушающих растягивающих напряжений. Задача схематизирована квазистатическим воздействием жидкости на участок некоторой кольцевой зоны толщиной δ , коаксиальной фильтру, в которую включается проволочная водоприемная поверхность каркасно-стержневого фильтра (рисунок 10).



а – поперечный разрез; б – продольный разрез; в – расчетная схема
 1 – стержни каркаса; 2 – проволочная навивка; 3 – цементированная обсыпка
Рисунок 10 – Схема закольцованного каркасно-стержневого фильтра

Рисунок 11 – Графики зависимости величин предельных давлений p_I ; p_{II} ; p_{III} от диаметров d_B каркасно-стержневых фильтров

Рассмотрено три основные стадии работы фильтра под нагрузкой от давления p . Для каждой стадии получены выражения для расчета предельных давлений и рассмотрен пример.

Стадия I. Стадия продолжается до тех пор, пока растягивающие напряжения σ_θ в цементированном кольматирующем кольце не достигнут сопротивления растяжению $R_{с.г.}$ ($\sigma_\theta = R_{с.г.}$), а равнодействующая растягивающих напряжений N_p не станет равной $N_{pI} = p_I r_b \delta$, где p_I – первое предельное давление; r_b – внутренний радиус фильтра. Образуются несквозные трещины. Приведена формула для расчета величины первого предельного давлении p_I .

Стадия II. С момента образования трещин цементированное кольцо выключается из работы, и растягивающие напряжения σ_θ воспринимаются только проволочной навивкой. В качестве критерия эффективности импульсной обработки фильтра взята ширина раскрытия трещин $a_T > 0,2$ мм в цементированном кольце, при которой трещины будут сквозными. Для предотвращения «самозалечивания» трещин, необходимо обеспечить их

долговременное раскрытие на ширину $a_{III} > 0,2$ мм. В этой связи эффективно имплозионное воздействие на фильтр, возникающее при взрыве водородно-кислородной смеси. Частицы песка втягиваются в трещины и расклинивают их. Приведен вывод формулы для расчета величины второго предельного давления p_{II} , которое зависит от параметров проволочной навивки.

Стадия III. Напряжения достигают временного сопротивления на растяжение $R_{пр}$ и при $p = p_{III}$ происходит разрушение фильтра. Приведена формула для расчета величины третьего предельного давления p_{III} .

Рекомендован диапазон рабочих давлений на внутренней поверхности фильтра: $p_{II} < p < p_{III}$, обеспечивающий сохранность проволочной навивки и разрушение цементированного кольматирующего кольца с шириной раскрытия трещин не менее a_{III} . Приведен пример расчета значений p_{II} , p_{III} для каркасно-стержневых фильтров при $\delta = 0,06$ м, $[\sigma_{сж}] = 2$ МПа, $R_{с.г.} = 0,37$ МПа, $t = 2,5$ мм, $R_{пр} = 1400$ МПа, $E_{пр} = 2,4 \cdot 10^5$ МПа, $a_{г.} = 0,2$ мм, $E_{с.г.} = 2 \cdot 10^4$ МПа (см. рисунок 11).

Расчет энергозатрат при газоимпульсной обработке фильтра в замкнутой секции малого объема (см. рисунок 9) производился при следующих допущениях: фильтр полностью закольматирован и непроницаем; камера и отражатель выполнены абсолютно жесткими; жидкость сжимаемая; проволочная навивка и цементированное кольцо работают на растяжение по закону Гука. Уравнение баланса энергии имеет следующий вид: энергия продуктов взрыва $W_{п.в.}$ затрачивается на создание энергии промывного потока $W_{г.п.}$, на работу сжатия жидкости $W_{с.ж.}$, энергии растяжения проволочной навивки $W_{р.пр.}$ и разрушения кольматанта $W_{р.к.}$:

$$W_{п.в.} = W_{г.п.} + W_{с.ж.} + W_{р.пр.} + W_{р.к.} \quad (17)$$

Из уравнения (17) получена формула для расчета объема энергоносителя $V_{о.п.}$, необходимого для регенерации участка фильтра высотой h' :

$$V_{о.п.} \approx \frac{\pi r_6^2 h' \Delta p_{уд}^2 \left[\frac{1}{2\rho c^2} + \frac{1}{2E_{ж}} + \frac{r_b S \psi_{пр}}{f_{пр} E_{пр}} \right] (n-1)}{p_{взр} (\eta_a + \eta_{г.к_3})}, \quad (18)$$

где $\Delta p_{уд}$, c – давление и скорость гидроудара, $\Delta p_{уд} = m'p_0 - p_0$; $\psi_{пр}$ – коэффициент, учитывающий увеличение модуля упругости проволоки при наличии сцепления с гравийной обсыпкой; η_a , η_2 – акустический и гидравлический к.п.д. газового взрыва; κ_3 – коэффициент использования энергии газового пузыря.

На рисунке 12 показана схема и результаты обработки технологических режимов газоимпульсной регенерации на двухколонных скважинах: № 0б и

№166 водозабора «Дражня» г. Минска, что позволяло вести одновременную обработку фильтра газоимпульсным способом и откачку воды из второго ствола с замером удельного дебита скважины в процессе регенерации.

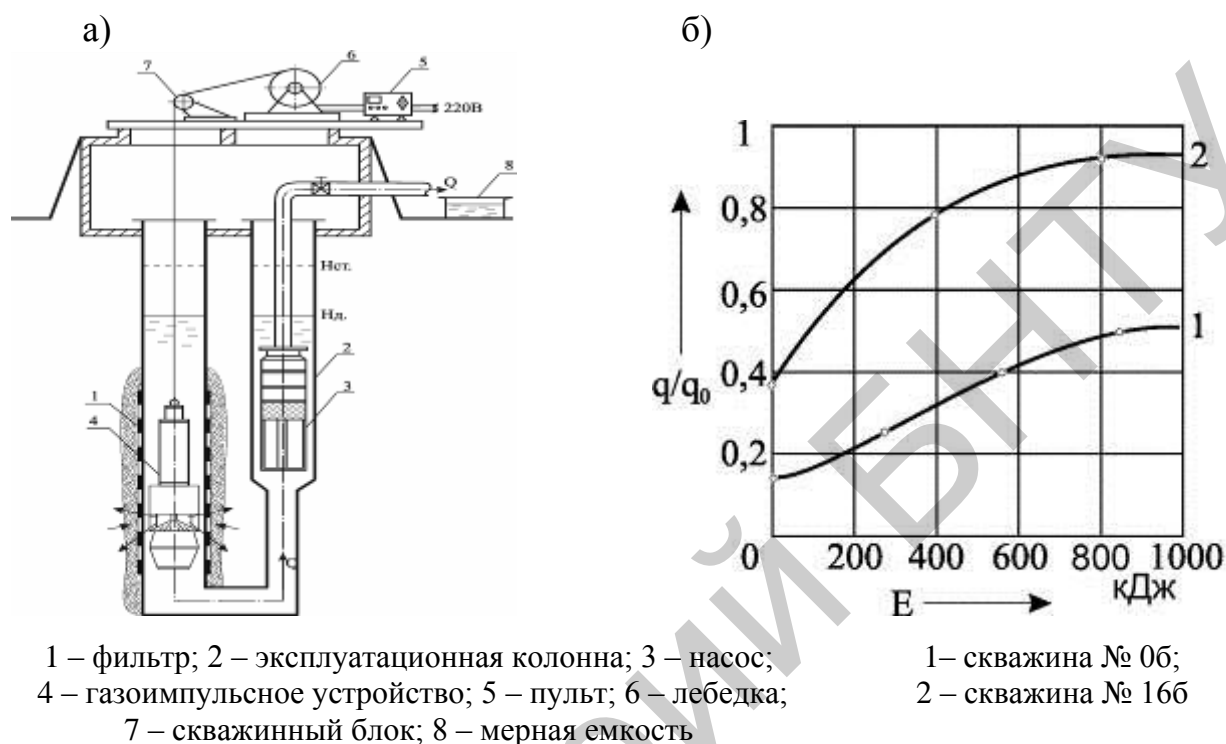


Рисунок 12 - Схема обработки двухколонных скважин № 06 и № 166 водозабора «Дражня» (а) и характер изменения относительного удельного дебита скважин q/q_0 от энергии E на 1 м.п. фильтра (б)

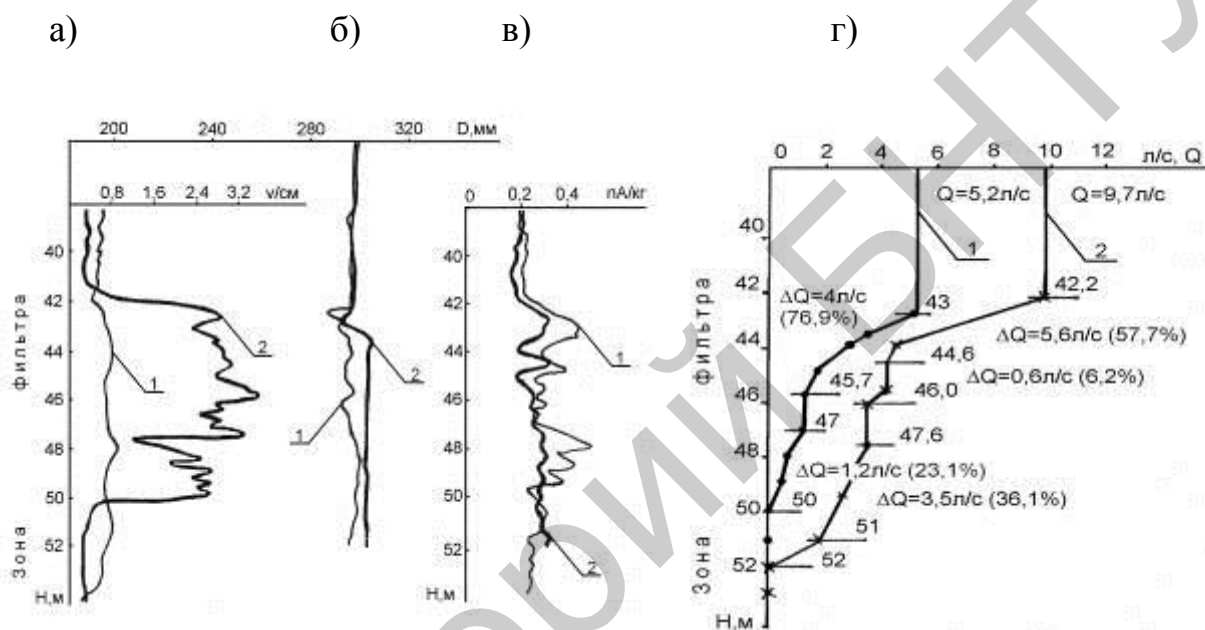
Фильтр скважины № 06 обрабатывался импульсами давления от взрывов ВКГС с запасаемой энергией 56 кДж сериями по 5 импульсов на 1 м.п. фильтра поинтервально через 0,2 м. При обработке скважины №166 интервал обработки был уменьшен до 0,15 м. Запасаемая энергия в камере составляла 60 кДж. На скважинах № 06 и №166 было произведено соответственно 3 серии импульсов по 280 кДж/м (всего 840 кДж/м) и 2 серии – по 400 кДж/м (всего 800 кДж/м).

Анализ графиков зависимости текущего удельного дебита к начальному $q/q_0 = f(E)$ (см. рисунок 12, б), показал, что удельный дебит скважин q стабилизировался при передаче фильтру энергии $E = 800-840$ кДж/м, что согласуется с рассчитанными по (18) значениями энергии для каркасно-стержневого фильтра диаметром 12 дюймов (СП-12Ф) (см. рисунок 11).

В результате обработок удельные дебиты скважин №06 и №166 возросли соответственно в 3,9 раза и в 2,4 раза.

Шестая глава посвящена разработке газоимпульсных и газоимпульсно-реагентных технологий и оборудования для регенерации скважин и напорных сетчатых фильтров водоподготовки.

Приведены результаты обработки в полевых условиях новых комбинированных технологий регенерации скважин. На скважине № 56 «Боровляны» производились последовательно следующие виды обработок: газоимпульсная - взрывами ВКГС по 5 имп./м с энергией 70 кДж, реагентная - в режиме циклического задавливания реагента в количестве 1600кг *HCl* и 100кг «Дескама», виброволновая – с эрлифтной прокачкой, а также геофизические исследования до обработки и после полного цикла работ (рисунок 13).



а – акустический каротаж; б – кавернометрия; в – нейтронный каротаж; г – расходометрия
 1 – до обработки скважины; 2 – после обработки скважины

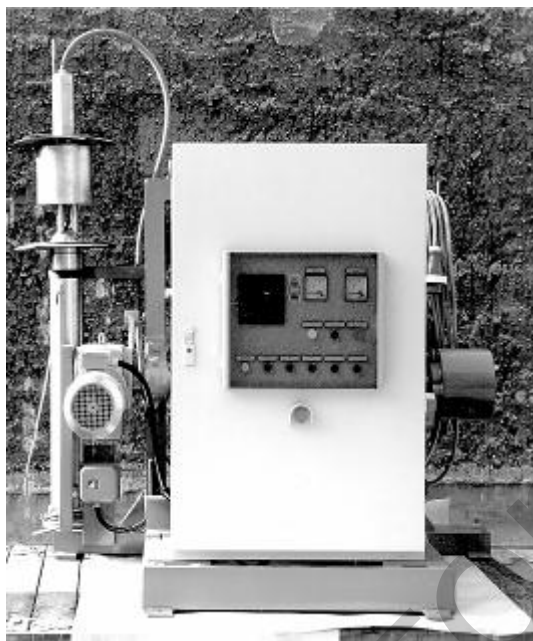
Рисунок 13 – Диаграммы изменения параметров фильтра скважины № 56

Показано, что за счет удаления цементированного кольматанта из прифильтровой зоны, уменьшилось «защемление» фильтра в породах: амплитуда акустических колебаний увеличилась в 3 раза (см. рисунок 13, а). Произошло увеличение внутреннего диаметра фильтра (см. рисунок 13, б), что подтверждает удаление кольматанта с его внутренней поверхности. Уменьшилась радиоактивность (см. рисунок 13, в), что указывает на удаление кольматанта, имеющего повышенную радиоактивность (соединения калия, урана, тория). По данным расходометрии (см. рисунок 13, г) произошло увеличение работающей части фильтра на 2,8 м, что составило 28 % от общей обеспечивающей приток поверхности. Удельный дебит вырос с 5,6 до 18 м³/ч.

Для промышленного внедрения комбинированных технологий был разработан и изготовлен ряд газоимпульсных установок (ГИУ), работающих на ВКГС. Установка ГИУ-1 содержит пульт, кабель, скважинное устройство и лебедку с электроприводом, смонтированную на прицепе к легковому

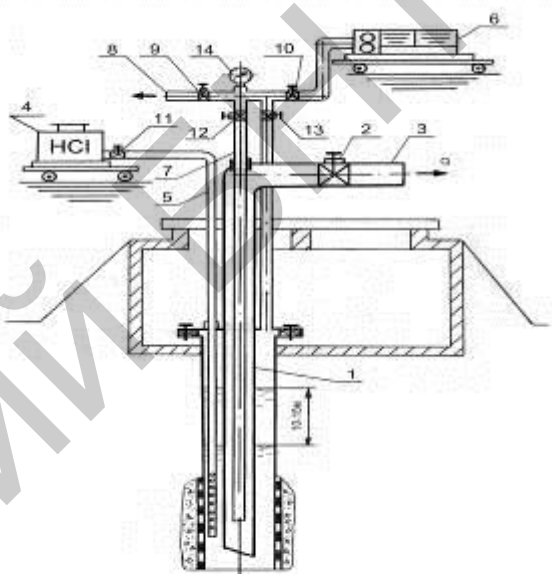
автомобилю. ГИУ-2 применяется в качестве сменного модуля импульсной обработки фильтра на реагентном агрегате технического обслуживания скважин АТОС-250. Установка ГИУ-3 (рисунок 14) имеет в своем составе дополнительно емкость и шланги для подачи реагента в зону взрыва ВКГС. Разработано оборудование для циклического задавливания реагента, которое совмещено с эрлифтным водоподъемником, что позволяет сразу после обработки безопасно для персонала откачивать продукты реакции (рисунок 15).

а)



**Рисунок 14 –
Оборудование для
газоимпульсно-
реагентной
регенерации
скважин (Пат. ЕР
0620356)**

б)



1 – эрлифт; 2 – вентиль; 3 – сбросной шланг эрлифта;
4 – емкость с кислотой; 5 – заливочный шланг; 6 – компрессор;
7 – воздухопроводная труба; 8 – воздухосбросной патрубок;
9 – 13 – запорно-регулирующая арматура; 14 – манометр
**Рисунок 15 – Схема оборудования для циклического
задавливания реагента и откачки продуктов
реакции эрлифтом**

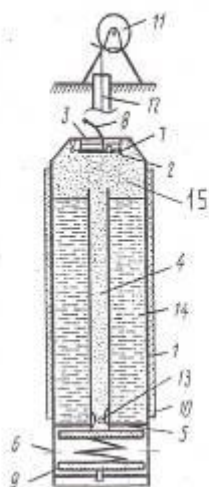
Применение разработанных технологий на более чем двухстах скважинах Республики Беларусь и Республики Польша позволило увеличить дебиты скважин и сделать их эксплуатацию рентабельной.

Текущие ремонты 58 высокодебитных скважин г. Минска в период 2002 – 2010 гг. обеспечили 2,4–5,7-кратное увеличение их удельных дебитов. Наилучшие результаты были получены при применении газоимпульсной технологии в сочетании с реагентной обработкой соляной кислотой с добавками «Дескама» (достигнуто 2,8–5,7-кратное увеличение удельных дебитов) и одновременной газоимпульсно-реагентной технологии (достигнуто

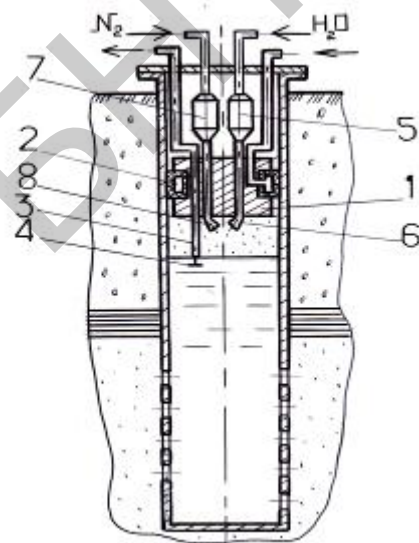
полное восстановление удельного дебита). С одного погонного метра фильтра удалось извлечь в среднем от 40 до 63 кг кольматанта в растворенном виде.

Разработан газоимпульсный метод регенерации фильтров скважин, где в качестве энергоносителя применяется жидкий азот. Приведены технологические схемы обработки: поинтервальная с использованием скважинного снаряда (рисунок 16, а) и верхними импульсами, когда жидкий азот и подогретую до 90–100 °С жидкость в мелкораспыленном виде одновременно вводят в подпакерную полость скважины (рисунок 16, б).

а)



б)



- | | |
|--|---|
| а – схема поинтервальной регенерации и общий вид скважинного снаряда; | б – схема регенерации верхними импульсами при впрыске жидкого азота и подогретой воды |
| 1 – корпус; 2 – клапан; 3 – заливочное отверстие; | 1 – цилиндр; 2 – пакер; |
| 4 – патрубок; 5 – эжектор; 6 – окна; 7 – пробка; | 3 – трубка; 4 – клапан; |
| 8 – рукоятка; 9 – импульсный клапан; 10 – оболочка; | 5 – дозатор подогретой воды; |
| 11 – лебедка; 12 – трос; 13 – отверстия; 14 – кольцевая полость; 15 – испарительная камера | 6 – сопло; 7 – дозатор жидкого азота; 8 – сопло |

Рисунок 16 – Схемы реализации газоимпульсного способа регенерации фильтров скважин на основе жидкого азота (а.с. 1641982, а.с. 1578284)

Снаряд при поинтервальной обработке (см. рисунок 16, а) наполняют жидким азотом, герметизируют, опускают на тросе в полость фильтра. Жидкий азот испаряется и газ в импульсном режиме под высоким давлением истекает через импульсный клапан в полость фильтра, генерируя волны давления. Разрушающие факторы: волны сжатия-разрежения, возникающие при пульсациях газового пузыря и гидродинамический поток. Применение жидкого азота в качестве энергоносителя позволяет упростить технологическое оборудование, исключить вторичный кольматаж и окисление дитионита натрия при работе в реагенте, что выгодно отличает его от применения сжатого

воздуха в пневмоимпульсном способе. Начальное давление $p_{нач}$ в замкнутой или испарительной камерах может теоретически возрасти в 670 раз к исходному давлению в результате резкого увеличения объема газа при испарении жидкого азота. Определена энергоемкость жидкого азота, которая составила $\mathcal{E}_N = 80$ кДж/кг. Для расчета энергозатрат, необходимых для декольматации 1 м.п. фильтра, рекомендовано использовать выражение (18) для определения начального объема $V_{нач}$ газовой полости, подставляя в него значение $\Delta p_{уд} = p_{нач} - p_0$. Рассчитаны режимы поинтервальной газоимпульсной обработки: определен диапазон рабочих давлений и энергия импульса для получения сквозных трещин в цементированном кольце. Изготовлено оборудование для поинтервальной обработки и проведены его опытно-промышленные испытания на двух действующих скважинах.

Предложена методика расчета технологических режимов газоимпульсной обработки фильтров скважин взрывом хлор-водородной газовой смеси (ХВГС), где продуктом взрыва является хлористый водород, который растворяясь в воде, образует раствор реагента – соляную кислоту. Это дает возможность проводить газоимпульсно-реагентную обработку фильтра скважины с одновременным его хлорированием, что приводит к гибели железобактерий. Приведены результаты лабораторных исследований измерения импульсов давления при подводном взрыве ХВГС и электрохимических исследований для подбора электродных материалов для электролиза NaCl. На основе новых технических решений разработан рабочий проект и изготовлено оборудование для дезинфекции скважин гипохлоритом натрия, получаемым путем электролиза NaCl в скважинном устройстве.

Определена область применения разработанных методов регенерации и рассмотрена возможность их использования в скважинах основных районов распространения водоносных комплексов Республики Беларусь. Рекомендовано для обработок фильтров, закольматированных рыхлыми отложениями, которые характерны для скважин с небольшими сроками эксплуатации, применять газоимпульсные методы регенерации, комбинированную последовательную электроразрядную и газоимпульсную обработки, профилактическую циркуляционную периодическую промывку водой и реагентами фильтров и гравийных обсыпок скважин новой конструкции с затрубными системами регенерации. Для декольматации длительно эксплуатирующихся скважин, для которых характерно наличие цементированной зоны, рекомендованы разработанные комбинированные методы регенерации.

Рассмотрены перспективы использования газоимпульсного метода для регенерации напорных сетчатых фильтров водоподготовки. Для определения технологических параметров регенерации составлено уравнение

неустановившегося движения жидкости вида (14) в системе рабочая камера – сетчатое полотно – воздушный колпак. Уравнение решено аналитически относительно максимальной промывной скорости v_{max} перед сетчатым полотном. Рекомендовано соотношение объемов воздушного колпака и газовой смеси – (3,5–4). Исследована эффективность способа на испытательном стенде в системе оборотного водоснабжения ПО «МТЗ». Загрязненный фильтрующий элемент очищали сжиганием ВКГС в рабочей камере, сообщаемой с фильтром. Качество очистки сетки соответствовало 95 %, удельная энергоемкость очистки составила 40 Дж/см². На ПО «МТЗ» изготовлен и испытан в цехе № 3 опытный образец напорно-фильтрующей установки (НФУ) с газоимпульсной системой регенерации с расходом $Q = 18$ м³/час. Разработаны новые НФУ с импульсно-противоточными системами регенерации на основе сжатого воздуха, жидкого азота, гидравлического удара и пневмопульсаций, защищенные патентами № 8671 и № 8672 Республики Беларусь и пятью авторскими свидетельствами на изобретения.

Проведены исследования с целью определения технологических параметров процесса газоимпульсной очистки поверхностей от загрязнений. Получены зависимости для расчета максимальной скорости промывного потока и силы давления на плоскую очищаемую поверхность. Предложены новые конструкции устройств для очистки и защиты поверхностей от загрязнений, защищенные четырьмя авторскими свидетельствами на изобретения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Экспериментально, на основе тестирования реагентов для растворения наиболее характерных для скважин Республики Беларусь железистых кольматирующих отложений, подтверждено, что соляная кислота и кислотные чистящие средства на ее основе обладают высокой растворяющей способностью. Установлено, что содержание Fe₂O₃ в химическом анализе железистого кольматанта, представленного в виде оксидов основных элементов, дает количественную характеристику суммы всех железосодержащих соединений: Fe(OH)₃, Fe₂O₃, FePO₄, FeS, процент CaO, MnO, MgO – карбонатов: CaCO₃, MnCO₃, MgCO₃, а потери при прокаливании (900 °C) характеризуют количество веществ, которые удаляются при разложении карбонатов. По известному химическому анализу кольматанта разработана методика расчета коэффициента удельного расхода соляной кислоты при растворении кольматирующих отложений, основанная на учете баланса веществ, вступающих в реакции взаимодействия основных компонентов отложений с соляной кислотой. Это позволяет рассчитать дозу

кислоты для регенерации скважины. Относительное отклонение расчетных значений от данных экспериментов по растворению образцов отложений не превысило 3 % [1, 14, 21, 29, 30, 32, 62].

2. Показано, что для обеспечения эффективного удаления кольматирующих осадков, откладывающихся снаружи фильтров и в толще гравийной обсыпки и пласта, необходимо совершенствование конструкций водозаборных скважин в направлении оборудования их затрубными системами реагентной циркуляционной регенерации. Для описания гидродинамики циркуляционного фильтрационного потока при горизонтальной циркуляционной регенерации скважины использовано уравнение совместной работы скважины и циркуляционных нагнетательных трубок, установленных в гравийной обсыпке фильтра скважины. Возможность применения уравнения подтверждена экспериментально, относительная погрешность изменения напора вдоль главной линии тока не превысила 7 %. Разработана методика расчета конструктивных параметров водозаборной скважины с затрубной системой реагентной регенерации. Количество циркуляционных трубок рекомендовано от 4 до 5. Регенерация искусственно закольматированного скважинного фильтра обеспечила его восстановление на 95 %. На примере выщелачивания железистых соединений водозабора «Острова» установлена логарифмическая зависимость продолжительности выщелачивания от скорости движения дитионита натрия [2, 15, 28, 39-41, 52, 71, 77, 79, 80, 81, 86].

3. Разработана методика расчета параметров скважинного секторного устройства горизонтальной циркуляционной реагентной регенерации, основанная на использовании зависимостей, полученных при решении уравнения Лапласа, описывающего гидродинамику циркуляционного движения реагента от нагнетательного к всасывающему сектору. Установлено, что в случае симметричной схемы циркуляции ($Q_{сн} = Q_{св} = Q_{ц}$ и $\alpha = \beta$) максимальные скорости движения реагента в прифильтровой зоне имеют место, когда устройство делит фильтр на два сектора: нагнетательный и всасывающий ($m = 1$). Длину L_y секторного устройства определяют с учетом параметров погружного циркуляционного насоса, входящего в его состав, обеспечивающего при заданной скорости циркуляции равномерную очистку фильтра от кольматирующего осадка. Экспериментально установлено, что интенсивность процесса растворения кольматанта существенно возрастает при использовании перемешивания и подогрева реагента [22, 27, 31, 66, 67, 69, 72, 76, 87–89].

4. На основе решения энергетических уравнений, составленных на базе 1-го закона термодинамики и описывающих пульсации продуктов взрыва, получены аналитические зависимости для расчета давления и скорости движения продуктов взрыва во времени при их пульсациях в открытой снизу и

в замкнутых взрывных камерах цилиндрической и сферической формы с эластичными оболочками, находящихся в закольматированном фильтре скважины без использования пакеров. По фотограммам построены графики изменения скорости движения продуктов взрыва во времени $v(t)$, определены значения степени расширения $\varepsilon = 2,9-11,8$ и доли энергии продуктов взрыва, перешедшей в энергию расширения $\eta_n = 0,032-0,18$. Наибольшие значения указанных параметров имеют место для цилиндрической замкнутой камеры с минимальной толщиной эластичной оболочки. Анализ расчетных и экспериментальных значений изменения скорости во времени $v(t)$ показал, что относительная погрешность этих величин для стадии разгона продуктов взрыва не превышает 8 %. Для стадий торможения и схлопывания продуктов взрыва необходимо использовать в расчетах переменное значение коэффициента политропы. Получены аналитические зависимости для расчета в прифилтровой зоне и на стенке фильтра амплитудно-временных параметров волн давления, излучаемых вышеперечисленными взрывными камерами при пульсациях продуктов взрыва. Используются уравнения, описывающие затухание давления в жидких и пористых средах с учетом геометрии волн и параметров среды. Анализ расчетных и экспериментальных значений $\Delta p_1/p_0$ на заданных расстояниях R от оси фильтра показал, что относительная погрешность этих величин не превышает 7 % для цилиндрической и 9 % для сферической и открытой снизу взрывных камер. Это позволило разработать необходимые режимы газоимпульсной регенерации фильтров скважин без разобщения зоны обработки пакерами в зависимости от глубины распространения кольматанта и его прочности [1–4, 13, 32–38, 65, 70, 73, 78, 82].

5. Теоретически обосновано, что размещение в замкнутой секции вместе с взрывной камерой демпферного устройства (воздушного колпака), позволяет снизить инерционные потери и перевести большую часть потенциальной энергии газового пузыря в кинетическую энергию струи, которая используется для динамического разрушения рыхлых отложений, а газоимпульсная обработка небольшого участка фильтра в замкнутой секции без воздушного колпака позволяет трансформировать потенциальную энергию газового пузыря в работу деформации сцементированного кольматирующего кольца, что создает в нем разрушающие растягивающие напряжения, которые по величине значительно меньше предельных сжимающих. Получены аналитические зависимости для расчета максимальной скорости промывного потока и динамической нагрузки, действующей на участок фильтра, разобщенный пакерами, при его газоимпульсной регенерации с использованием взрывной камеры с воздушным колпаком. Зависимости получены при решении уравнений неустановившегося движения и изменения количества движения в

системе взрывная камера – воздушный колпак, они позволяют назначать режимы обработки фильтров, закольматированных рыхлым и слабосцементированным кольматантом. Получены зависимости для расчета величин предельных давлений и необходимых энергозатрат при обработке участка фильтра, разобранного пакерами и закольматированного прочносцементированным кольматантом. В результате анализа напряженного состояния фильтра со сцементированным кольцом гравийной обсыпки рассмотрены три стадии его работы: *I* – появление несквозных трещин; *II* – образование сквозных водопроницаемых трещин; *III* – разрушение водоприемной поверхности и для начала каждой стадии получены выражения для расчета предельных давлений: p_I , p_{II} и p_{III} . Получено уравнение баланса энергии, идущей на деформацию проволоочной навивки фильтра и разрушение отложений. На этой основе разработана методика расчета технологических режимов газоимпульсной обработки каркасно-стержневых фильтров в замкнутых секциях малого объема [1, 10–12, 60, 82, 85].

6. На основе использования методов комплексного расчета систем подачи воды и прогноза снижения дебита скважин с учетом кольматажа разработана методика расчета изменения во времени суммарной производительности действующего водозабора подземных вод с использованием данных натурального обследования водозабора. На основе решения системы уравнений динамического равновесия водозабора, определяют изменение его производительности во времени и, зная водопотребление населенного пункта, назначают сроки проведения текущих ремонтов скважин. Проанализированы сроки службы 224 полностью вышедших из строя скважин водозаборов г. Минска. Установлено, что у основного числа скважин срок службы не превышает 16–19 лет. Основными причинами выхода их из строя являются химическая кольматация и пескование фильтров. Наблюдается тенденция роста срока службы при высоком первоначальном удельном дебите. Результаты изучения интенсивности снижения удельных дебитов скважин 11 водозаборов г. Минска показали, что максимальные значения рационального межремонтного периода – 14,6 года получены для скважин верхнепротерозойского водоносного горизонта. Для скважин днепровско-сожского горизонта этот показатель значительно хуже – (2,1–4,2) года. Установлено, что его величина зависит от гидрогеологических условий, наличия и качества гравийной засыпки, правильности эксплуатации и мало зависит от величины показателя Ризнера и количества растворенного железа. [1, 18, 23–25, 61, 75].

7. На основе предложенных способов газоимпульсной обработки фильтров, результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны и созданы новые эффективные технологические процессы

восстановления дебита длительно эксплуатирующихся скважин: 1) газоимпульсная обработка фильтра взрывами ВКГС с последующими реагентной ванной и виброволновой обработкой при откачке эрлифтом; 2) газоимпульсная обработка фильтра взрывами ВКГС с последующими циклическим задавливанием реагента и виброволновой обработкой при откачке эрлифтом; 3) одновременная газоимпульсно-реагентная обработка с последующей откачкой эрлифтом. Оценка стабильности работы скважин после регенерации показала почти двукратное преимущество комбинированных обработок. Определена область применения разработанных методов регенерации и рассмотрена возможность их использования в скважинах Республики Беларусь [1, 2, 8, 19, 20, 26, 30, 42–44, 47–49, 50–51, 55, 58, 59, 63, 64, 68, 85, 90, 91, 95, 98, 101, 107, 108].

Разработан газоимпульсный метод регенерации скважин, где в качестве энергоносителя применяется жидкий азот. Рассчитаны режимы и разработаны технологические схемы газоимпульсной обработки [53, 96, 100, 102].

Разработана методика расчета технологических режимов газоимпульсной обработки фильтров скважин взрывами хлор-водородной газовой смеси, где продуктом взрыва является хлористый водород, который растворяясь в воде, образует раствор соляной кислоты, что дает возможность проводить газоимпульсно-реагентную обработку фильтра скважины с одновременным его хлорированием [5, 43, 54, 106, 111, 113, 114].

8. Рассмотрены перспективы использования газоимпульсного метода для регенерации напорных сетчатых фильтров водоподготовки. Найдена зависимость для определения максимальной скорости v_{max} промывного потока на стадии его разгона. Эффективность регенерации проверена в производственных условиях на ПО «МТЗ». Разработаны новые устройства для регенерации напорных сетчатых фильтров на основе ВКГС, сжатого воздуха, жидкого азота, гидроудара и пневмопульсаций [6, 7, 9, 45, 46, 56, 83, 84, 92–94, 105, 110, 112]. В плане использования газоимпульсного способа для очистки поверхностей от загрязнений, получены зависимости для определения максимальной скорости промывного потока и силы давления на поверхность, предложены новые конструкции устройств [16, 17, 99, 103, 104, 109].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты выполненной работы внедрены в производство на ряде предприятий водного хозяйства Республики Беларусь. В «Щучинском РУП ЖКХ» внедрена методика расчета изменения во времени суммарной производительности действующего водозабора подземных вод. В п. Ждановичи Минского района и д. Узла Мядельского района пробурено две разведочно-эксплуатационные скважины с затрубными системами регенерации.

Новая конструкция скважины включена в ТКП 17.04-21-2010 «Правила проектирования, сооружения (строительства), ликвидации и консервации скважин различного назначения». В УП «Минскводоканал» применяется методика определения удельных расходов соляной кислоты на растворение отложений при расчете доз солянокислотных реагентов для обработок скважин. На ОАО «Завод Промбурвод» изготовлен опытный образец скважинного секторного устройства циркуляционной реагентной регенерации, который обеспечил прирост удельного дебита скважины № 21^В водозабора «Боровляны» УП «Минскводоканал» в 3,1 раза. В БелКТИ ГХ (г. Минск) и НСКПТБ (г. Николаев) были освоены опытные образцы установок технического обслуживания и ремонта скважин АТОС-150, где использован газоимпульсный модуль. Изготовлено оборудование для поинтервальной обработки фильтров жидким азотом и проведены его испытания на скважинах УП «Минскводоканал». Применение оборудования только на более чем двухстах скважинах позволило существенно интенсифицировать их работу. Годовой экономический эффект от внедрения комбинированных технологий на ряде скважин г. Жодино (2002 г.) и Минска (2006–2008 гг.) составил 438 млн. BYR и 139,8 тыс. USD. Опытное-промышленное внедрение технологии с применением СУЦР на скважине № 21^В водозабора «Боровляны» позволило получить экономический эффект в размере 24,226 млн. BYR. Ожидаемый экономический эффект от бурения в п. Ждановичи скважины новой конструкции глубиной 82м составил 30280\$ США. На ПО «Минский тракторный завод» был изготовлен опытный образец напорно-фильтрующей установки НФУ-18, оснащенной газоимпульсной системой регенерации сетчатого напорного фильтра, и испытан в системе водоподготовки завода.

Разработанные технологии восстановления дебита водозаборных скважин могут применяться на любом одиночном или групповом водозаборе подземных вод для поддержания стабильного режима эксплуатации скважин, продления их срока службы и снижения энергозатрат. Разработанная конструкция новой скважины, снабженная затрубной системой циркуляционно-реагентной регенерации и извлечения фильтра, может быть использована проектными и буровыми организациями взамен устаревших конструкций скважин при модернизации водозаборов.

Перспективой дальнейшего использования газоимпульсных технологий регенерации фильтров может быть их применение в системах вертикального дренажа, водохозяйственном строительстве, горном деле, нефтедобыче и в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Ивашечкин, В.В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин; под ред. А.Д. Гуриновича. – Минск: БНТУ, 2005. – 270 с.
2. Ивашечкин, В.В. Регенерация скважинных и напорных фильтров систем водоснабжения / В.В. Ивашечкин, А.М. Шейко, А.Н. Кондратович; под ред. В.В. Ивашечкина. – Минск: БНТУ, 2008. – 276 с.

Статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК Беларуси

3. Ивашечкин, В.В. Расчет рабочего процесса при импульсной очистке фильтров газодинамическим способом / В.В. Ивашечкин, Г.К. Добриян // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. – 1988. – Вып.17. – С.89–94.
4. Ивашечкин, В.В. Расчет затухания импульсов давления в пористой водонасыщенной среде / В.В. Ивашечкин, С.Н. Капельян // Весці Акадэміі Навук БССР, Серія «Фізико-энергетычныя навукі». – 1990. – № 1. – С. 17–22.
5. Ануфриев, В.Н. Исследование анодных покрытий титановых электродов при получении гипохлорита натрия электролизом водных растворов хлорида натрия / В.Н. Ануфриев, В.В. Ивашечкин, Е.А. Новиков, В.Б. Буссе-Мачукас // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 1992. – № 7–8. – С. 75–81.
6. Ивашечкин, В.В. Определение эффективности регенерации напорных фильтров газоимпульсным методом / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. –1992. – № 9–10. – С. 119–122.
7. Ивашечкин, В.В. Основы расчета газоимпульсной регенерации напорных сетчатых фильтров / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, Г.К. Добриян, В.Г. Щербаков // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. –1993. – № 3–4. – С. 124–128.
8. Ивашечкин, В.В. Физические основы регенерации водозаборных скважин импульсными методами / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, А.Д. Гуринович // Мир технологий. – 2002. – № 2. – С.60–64.
9. Ивашечкин, В.В. Методика определения скорости промывного потока при газоимпульсной регенерации напорных фильтров / В.В. Ивашечкин, Г.К. Добриян, П.В. Ивашечкин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2002. – №5. – С.67–73.

10. Ивашечкин, В.В. Основы расчета необходимого давления для декольматации прифилтровой зоны водозаборной скважины / В.В. Ивашечкин // Вестник БНТУ. – 2003. – № 5. – С.10–16.

11. Ивашечкин, В.В. Расчет силового воздействия на фильтр скважины при газоимпульсной регенерации / В.В. Ивашечкин // Вестник БНТУ. – 2004. – № 1. – С.18–23.

12. Ивашечкин, В.В. Расчет энергозатрат при газоимпульсной регенерации фильтров водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2004. – № 1. – С.77–86.

13. Ивашечкин, В.В. Расчет пульсаций продуктов химического превращения при газоимпульсной регенерации фильтров скважин / В.В. Ивашечкин, Г.К. Добриян // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2004. – № 3. – С. 79–86.

14. Ивашечкин, В.В. Исследование отложений в фильтрах водозаборных скважин и тестирование реагентов для их удаления / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, Э.А. Макарова // Мир технологий. – 2004. – №1. – С.60–64.

15. Ивашечкин, В.В. Опыт бурения скважин с обратной промывкой в сложных гидрогеологических условиях / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, А.Г. Марченко, А.Т. Дрожжа // Вестник БНТУ. – 2005. – № 3. – С. 21–26.

16. Ивашечкин, В.В. Расчет параметров гидротока при разгоне жидкости в полузамкнутой камере с выходом на плоскую поверхность / В.В. Ивашечкин, Д.А. Козлов, Э.И. Михневич // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2005. – №1. – С.89–95.

17. Козлов, Д.А. Изучение параметров гидроимпульсов на горизонтальной поверхности при пульсациях продуктов сгорания водорода / Д.А. Козлов, В.В. Ивашечкин, Д.А. Прокопчук // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2005. – №4. – С.73–80.

18. Ивашечкин, В.В. Прогноз периода стабильной работы скважинных водозаборов на основе результатов обследования / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, Г.К. Добриян // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2005. – № 7(17). – С. 199–209.

19. Ивашечкин, В.В. Изучение энергетических характеристик щелочных электролизеров с коническими электродами / В.В. Ивашечкин, Н.П. Матвейко // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2006. – №1. – С.83–89.

20. Ивашечкин, В.В. Электроды с активными покрытиями на основе железа, никеля кобальта для получения водорода и кислорода / В.В. Ивашечкин, Н.П. Матвейко // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия хим. наук. – 2006. – №3. – С.38–41.

21. Ивашечкин, В.В. Эффективность растворения отложений кислотными реагентами в фильтрах водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, Э.А. Макарова // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2006. – № 4. – С.73–79.

22. Ивашечкин, В.В. Интенсификация растворения кольматирующих отложений водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, В.В. Губин, А.М. Шейко, А.Н. Кондратович // Мелиорация переувлажненных земель. – 2006. – № 1. – С. 83–88.

23. Шейко, А.М. Анализ долговечности водозаборных скважин г. Минска / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, Н.В. Холодинская, Э.А. Макарова // Вестник БНТУ. – 2006. – № 1. – С. 27–32.

24. Ивашечкин, В.В. К расчету межремонтных периодов работы скважинных водозаборов с учетом старения скважин / В.В. Ивашечкин, А.М. Шейко // Вестник БНТУ. – 2006. – № 5. – С. 5–10.

25. Шейко, А.М. Прогноз кольматажа скважин и определение рациональных сроков их регенерации / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, В.А. Галицкий // Вестник БрГТУ. – 2006. – № 2(38). – С. 28–31.

26. Ивашечкин, В.В. Комбинированные методы продления срока эксплуатации водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, Э.А. Макарова // Вестник БНТУ. – 2006. – № 3. – С. 13–19.

27. Шейко, А.М. Моделирование установившегося циркуляционного движения жидкости в прифильтровой зоне скважины / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, Ю.В. Пулко // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2007. – № 4. – С. 77–87.

28. Шейко, А.М. Лабораторные исследования кинетики выщелачивания кольматирующих отложений дитионитом натрия / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 2. – С. 163–170.

29. Ивашечкин, В.В. Методика расчета удельных затрат кислотных реагентов для регенерации фильтров водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, Э.А. Макарова, А.Н. Кондратович // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2007. – №6. – С.78–85.

30. Ивашечкин, В.В. Совершенствование комбинированной технологии регенерации фильтров водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, А.М. Шейко, А.В. Беляшев // Вестник БНТУ. – 2007. – № 6. – С. 20–26.

31. Шейко, А.М. Определение оптимальных конструктивных параметров секторного устройства циркуляционно-реагентной регенерации / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, В.В. Верременюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2008. – № 1. – С. 83–89.

32. Ивашечкин, В.В. Лабораторные исследования по оценке эффективности декольматации фильтров скважин / В.В. Ивашечкин, А.М. Шейко, А.Н. Кондратович, В.В. Губин // Вестник БНТУ. – 2008. – № 1. – С. 10–14.

33. Ивашечкин, В.В. Расчет пульсаций продуктов цилиндрического подводного газового взрыва в скважине / В.В. Ивашечкин, В.В. Вереме́нюк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2008. – № 2. – С. 79–90.

34. Ивашечкин, В.В. Расчет пульсаций продуктов сферического подводного газового взрыва в скважине / В.В. Ивашечкин, В.В. Вереме́нюк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2008. – № 4. – С. 77–82.

35. Ивашечкин, В.В. Гидродинамика подводного газового взрыва в полузамкнутой камере, находящейся в скважине / В.В. Ивашечкин, В.В. Вереме́нюк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2009. – № 1. – С. 74–81.

36. Ивашечкин, В.В. Методика расчета распространения импульсов давления при газоимпульсной регенерации фильтров водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, В.В. Вереме́нюк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – № 2. – С. 69–76.

37. Ивашечкин, В.В. Экспериментальное исследование пульсаций продуктов взрыва водорода в жидкости / В.В. Ивашечкин, В.В. Вереме́нюк, В.В. Губин, А.Н. Кондратович // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – № 5. – С. 69–77.

38. Ивашечкин, В.В. Экспериментальное исследование распространения волн давления при газоимпульсной регенерации фильтров скважин / В.В. Ивашечкин, В.В. Вереме́нюк, А.Н. Кондратович // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2010. – № 3. – С. 80–86.

39. 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.

40. 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.

41. 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.

Статьи в научно-технических и научно-практических журналах

42. Снижение энергозатрат получения гремучего газа при импульсной регенерации фильтров / В.В. Ивашечкин, Н.П. Матвейко, Б.В. Сабадах, Д.А. Козлов; Белорус. политехн. ин-т. – Минск, 1987. – 12 с. – Деп. в ЦБНТИ Минводхоза СССР, деп. № 382 // Мелиорация и водное хозяйство. – 1987. – № 4. – с. 23.

43. Ивашечкин, В.В. Техника и технология для газоимпульсной регенерации фильтров и дезинфекции водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, А.Д. Гуринович, В.Н. Ануфриев // Вода. – 1998. – №11. – С. 13–14.

44. Гуринович, А.Д. Управление процессом газоимпульсной декольматации фильтров водозаборных скважин / А.Д. Гуринович, В.В. Ивашечкин // Вода. – 2000. – № 4. – С. 22–23.

45. Ивашечкин, В.В. Напорно-фильтрующая установка с системой газоимпульсной очистки / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович // Вода. – 2001. – № 4. – С. 20–21.

46. Ивашечкин, В.В. Напорно-фильтрующая установка для осветления воды оборотных систем водоснабжения / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович // Вода. – 2002. – № 5. – С. 24.

47. Дыбленко, В.П. Технология освоения и повышения производительности скважин с использованием виброволнового воздействия / В.П. Дыбленко, А.Н. Кондратович, В.В. Ивашечкин // Вода. – 2002. – № 5. – С. 24.

48. Ивашечкин, В.В. Опыт восстановления производительности скважин г. Жодино газодинамическим способом / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, Г.Б. Чередник // Вода. – 2003. – № 5. – С. 21–22.

49. Ивашечкин, В.В. Технологии восстановления производительности высокодебитных скважин / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, И.А. Герасименко, В.Я. Белый // Вода. – 2003. – № 5. – С. 19–20.

50. Ивашечкин В.В., Кондратович А.Н. Опыт применения импульсно-виброреагентной технологии восстановления дебита водозаборных скважин // Инф. бюллетень научно-произв. ассоциации «Аквабел». – Минск, 2004. – № 7. – С. 9–10.

51. Ивашечкин, В.В. Совершенствование погружных газогенераторов водородно-кислородной смеси для газоимпульсной регенерации фильтров скважин / В.В. Ивашечкин // Водные проблемы. – 2004. – № 1. – С. 41–43.

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

53. Ивашечкин, В.В. Регенерация скважинных фильтров с помощью сжиженных газов / В.В. Ивашечкин // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. – 2010. – С. 173–185.

54. Ивашечкин, В.В. Регенерация водозаборных скважин взрывом хлор-водородной газовой смеси / В.В. Ивашечкин // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. – 2010. – С. 185–195.

Статьи в сборниках тезисов докладов и материалах конференций

55. Ивашечкин, В.В. Технологические параметры декольматации фильтров скважин газоимпульсным методом / В.В. Ивашечкин // Сооружение и эксплуатация водозаборов подземных вод: материалы семинара МДНТП, Москва, 1991. – С. 67–72.

56. Ивашечкин, В.В. Использование гидроудара для регенерации напорных фильтров / В.В. Ивашечкин, И.А. Шульпин // Материалы 47-й научно-технич. конф., посвящ. 70-летию Белорус. политехн. ин-та: в 3 ч. – Минск: БГПА, 1992. – Ч.2 / редкол.: В.Н. Чачин [и др.]. – Минск, 1992. – С. 125.

57. Ивашечкин, В.В. Технические основы повышения эффективности работы городских систем водоснабжения / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, В.В. Зименков // Технические вузы – республике: материалы Международной 52-й науч.-технич.конф. : в 7 ч. – Минск: БГПА, 1997. – Ч.5; редкол.: / В.Н. Чачин [и др.]. – Минск, 1997. – С. 87.

58. Гуринович, А.Д. Технологии и агрегаты технического обслуживания и ремонта водозаборных скважин / А.Д. Гуринович, В.В. Ивашечкин // Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность: труды 4-й Междун. науч.-практич. конф. – Кемерово, 2001. – С. 12–13.

59. Ивашечкин, В.В. Результаты опытно-восстановительных работ артезианских скважин водозаборов УП «Минскводоканал» / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, И.А. Герасименко, В.Я. Белый // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 56-й Междунар. науч.-техн. конф. в 2 т., Минск, 4–7 февраля 2003 г.: / БНТУ; под ред.: Б.М. Хрусталева.– Минск, 2003. – Т. 2. – С. 41.

60. Ивашечкин, В.В. Методика расчета величины импульсов давления для декольматации фильтров скважин / В.В. Ивашечкин // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 56-й Междунар. науч.-техн. конф. в 2 т., Минск, 4–7 февраля 2003 г. / БНТУ; под ред.: Б.М. Хрусталева.– Минск, 2003. – Т. 2. – С. 49.

61. Ивашечкин, В.В. Статистический анализ продолжительности работы скважин и факторов, влияющих на их старение / В.В. Ивашечкин, А.М. Шейко. // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. в 2 т., Минск, 24–25 мая 2004 г.: / БНТУ; редкол.:

Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2004. – Т. 1. – С. 113–115.

62. Ивашечкин, В.В. Тестирование реагентов для растворения кольтматирующих отложений на фильтрах водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 2-й Международ. науч.-практ. конф.: в 2 т., Минск, 24–25 мая 2004 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2004. – Т. 1. – С. 110–112.

63. Ивашечкин, В.В. Опыт применения комбинированных технологий восстановления дебита водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, А.М. Шейко // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докладов 6-й Международ. науч. конф., Гродно, 1–2 ноября 2005 г. / ГрГУ; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2005. – С. 78–79.

64. Ивашечкин, В.В. Анализ эффективности восстановления дебита скважин водозаборов г. Минска / В.В. Ивашечкин, А.М. Шейко // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докладов 6-й Международ. науч.-технич. конф., Гродно, 1–2 ноября 2005 г. / ГрГУ; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2005. – С. 83.

65. Ивашечкин В.В. Расчет неустановившегося движения жидкости в скважине при газоимпульсной регенерации фильтров/ В.В. Ивашечкин, Г.К. Добрян // Прикладные задачи математики и механики: материалы 13-й Междун. науч. конф.; Севастополь, 12–16 сентября 2005 г. / СевНТУ; редкол.: В.А. Карпенко [и др.]. – Севастополь, 2005. – С. 163–167.

66. Шейко, А.М. Технология циркуляционной декольтматации фильтров водозаборных скважин / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин // Аграрная энергетика в XXI столетии: материалы 3-й Международ. науч.-технич. конф., Минск, 21–23 ноября 2005 г. / Институт энергетики АПК НАН Беларуси; редкол.: В.И. Русан [и др.]. – Минск, 2005. – С. 208–210.

67. Ивашечкин, В.В. Методы интенсификации разрушения и растворения кольтматирующих отложений / В.В. Ивашечкин, Ю.П. Ледян, А.М. Шейко, А.Н. Кондратович, В.В. Губин // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Международ. науч.-практ. конф. в 2 т., Минск, 2–3 мая 2005 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2006. – Т. 1. – С. 460–461.

68. Ивашечкин, В.В. Восстановление скважин с применением комплексного газоимпульсно-виброволнового воздействия / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович // Вода: экология и технология: сборник докладов 7-го Международного конгресса ЭКВАТЭК-2006, Москва, 30 мая–2 июня 2006 г. – М., 2006. – Ч. 1. – С. 171–172.

69. Шейко, А.М. Циркуляционная регенерация фильтра скважины / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин // Наука – образованию, производству, экономике:

материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., Минск, 23–24 мая 2007 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 331–333.

70. Ивашечкин, В.В. Динамика пульсаций шаровой полости с продуктами газового взрыва в водозаборной скважине / В.В. Ивашечкин, В.В. Веремениук, А.Н. Чернобылец // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., Минск, 23 - 24 мая 2007 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 340–342.

71. Ивашечкин, В.В. Способы повышения долговечности и ремонтпригодности водозаборных скважин/В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем: материалы Международного Водного форума, Минск, 2–3 октября 2008 г. / Минприроды Республики Беларусь [и др.]. – Минск, 2008. – С. 292–293.

72. Шейко А.М. Циркуляционно-реагентная технология регенерации скважин на воду / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем: материалы Международного Водного форума, Минск, 2–3 октября 2008 г. / Минприроды Республики Беларусь [и др.]. – Минск, 2008. – С. 311–312.

73. 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-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., Минск, 2008 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 2. – С. 12.

74. Ивашечкин, В.В. Скоростная фоторегистрация пульсаций продуктов подводного газового взрыва/ В.В. Ивашечкин, В.В. Губин // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., Минск, 2008 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 2. – С. 11.

75. Добриян, Г.К. Расчет периода стабильной работы водозаборов подземных вод/ Г.К. Добриян, В.В. Ивашечкин // Прикладные задачи математики и механики: материалы 16-й Междунар. научн. конф., Севастополь, 15–19 сентября 2008 г. / СевНТУ; редкол.: Е.В. Пашков[и др.]. – Севастополь, 2008. – С. 213–218.

76. Шейко, А.М. Совершенствование реагентной декольматации водозаборных скважин / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин // Сборник научных трудов 1-й Восточно-европейской региональной конференции молодых ученых и специалистов водного сектора, Минск, Беларусь 21–22 мая 2009 г./ БНТУ; под ред. А.Д. Гуриновича. – Минск, 2009. – С. 342–349.

77. Ивашечкин, В.В. Повышение долговечности водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко // Наука – образованию, производству,

экономике: материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., Минск, 2009 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 12.

78. Ивашечкин, В.В. Распространение импульсов давления в прифилтровой зоне скважины при ее регенерации / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, А.И. Бловацкая, Е.И. Евсюкова, О.И. Римша, О.Н. Бобко, О.И. Фралов, Е.Г. Нарчук, А.В. Демидович, Ю.Н. Климкова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., Минск, 2009 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 13.

79. 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: материалы 4-го Международного Водного форума, Минск, 12–13 октября 2010 / Минприроды Республики Беларусь [и др.]. – Минск, 2010. – С. 148–152.

80. Ивашечкин, В.В. Оценка эффективности работы затрубной системы реагентной промывки новой водозаборной скважины / В.В. Ивашечкин, А.В. Лямцев, А.В. Левкович, Э.В. Шиманович // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 8-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., Минск, 2010 г. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Т. 2. – С. 143.

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

82. Ивашечкин, В.В. Гидродинамика подводных газовых взрывов в скважинах при восстановлении их дебита / В.В. Ивашечкин // Сборник докладов международной научно-технической конференции посвященной 25-летию кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод», Минск, 2010 г. / БНТУ. – Минск, 2010. – С. 147-153.

Патенты

83. Устройство для очистки сетчатых фильтров: пат. 8671 Респ. Беларусь, МПКС1, В01D 35/16 /В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, И.В. Качанов, В.П. Белькевич; заявитель Белор. нац. техн. ун-т–№ а20031235; заявл. 29.12.03, опубл. 30/06/2005 //Афіцыйны бюл./цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 6. – С. 64.

84. Устройство для очистки сетчатых фильтров: пат. 8672 Респ. Беларусь, МПКС1, В01D 35/16 /В.В.Ивашечкин, А.Н.Кондратович, И.В.Качанов, В.П. Белькевич;/ заявитель Белор. нац. техн. ун-т - №а20031238; заявл.

29.12.03, опубл. 30.06.2005 //Афіцыйны бюл./Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 6.– С. 65.

85. Устройство для регенерации фильтров водозаборных скважин: пат. 8866 Респ. Беларусь, МПКС1, В01D 35/16, Е21В 37/00 /В.В. Ивашечкин, А.Н.Кондратович, И.А.Герасименок, Н.И. Крук; заявитель Белор. нац. техн. ун-т. - №а20031237; заявл. 29.12.03, опубл. 30/06/2005 // Афіцыйны бюл./Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. –№ 1– С. 60.

86. Конструкция водозаборной скважины при роторном бурении: пат. 9453 Респ. Беларусь, МПКС1, Е21В43/00, В03В 03/00 /В.В. Ивашечкин, А.Н.Кондратович, И.А. Герасименок, Н.И. Крук, И.В. Рытько; заявитель Белор. нац. техн. ун-т. - №а20031236; заявл. 29.12.03, опубл. 30/06/2005 // Афіцыйны бюл./цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 3. – С. 110.

87. Устройство для реагентной обработки скважины: пат. 9930 Респ. Беларусь, МПК Е 03В/00 Е 21В 43/00 / В.В. Ивашечкин, А.М. Шейко, А.Н. Кондратович, Ю.П. Лебян, В.В. Губин; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. – № а 20050620; заявл. 22.06.2005; опубл. 28.02.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 5. – С. 109.

88. Устройство для циркуляционной обработки скважины на воду: пат. 10294 Респ. Беларусь, МПК Е 03В/00 Е 21В 43/00 / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, И.А. Герасименок; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. – № а 20050552; заявл. 02.06.2005; опубл. 28.02.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 1. – С. 109.

89. Устройство для реагентной обработки скважины: пат. 10296 Респ. Беларусь, МПК Е 03В/00 Е 21В 43/00 / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, И.А. Герасименок, Ал.М. Шейко; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. – № а 20051082; заявл. 09.11.2005; опубл. 30.08.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2008. – № 1. – С. 109–110.

90. Пат. DE 4311843 A1 Германия, Int.C1⁵; В01D 35/16. Verfahren und Vorrichtung zur Reinigung von Bohrlochfiltern in Flüssigkeitentnahmtbohrungen/Gurinovišč Anatolij, Jvašeščkin Vladimir, Koclov Dmitrie, Minsk, BY. – №D4311843.7; Заявл. 14.04.1993; Опубл. 20.10.94; НКИ 408 042/43. –3 S.

91. Пат. EP 0620356 A2 Европатент: В01D 37/08 Verfahren und Vorrichtung zur Reinigung von Bohrlochfiltern in Flüssigkeits – entnahmebohrungen/Gurinovich Anatoly, Kozlov Dmitrie, Ivaschetschkin Vladimir, Minsk, BY. – Заявл. 14.04.93; Опубл. 19.10.94; –7 S.

Авторские свидетельства

92. Автоматическое устройство для очистки сетчатых фильтров: а.с. 969294 СССР, МКИ В01D 35/16 В.В. Ивашечкин, Д.А. Козлов; Бел.

политехн. ин-т. – №3210556/23-26; заявл. 12.05.82; опубл.30.12.83 // Открытия. Изобрет. – 1982. – № 40.

93. Способ регенерации напорных фильтров: а.с. 1063439 СССР, МКИ В01Д 35/16 В.В. Ивашечкин, Д.А. Козлов, Н.П. Матвейко; Бел. политехн. ин-т. – №3435801/23-26; заявл. 12.05.82; опубл.30.12.83 // Открытия. Изобрет. – 1983. – № 48.

94. Патронный фильтр: а.с. 1126311, МКИ В01Д27/12 / В.И. Закерничный, Д.А. Козлов, В.В. Ивашечкин, С.В. Соболевский; Белор. Политехн. ин-т. – №3489830; заявл. 07.09.82; опубл. 30.11.84 // Открытия. Изобрет. – 1984. – № 44.

95. Устройство для декольматации фильтра скважины: а.с. 1256479, Е21В 37/00/ А.Н. Кондратович, Д.А.Козлов, В.В. Ивашечкин, Б.В. Сабадах; Белор. Политехн. ин.-т.– №3668863 заявл. 8.05.86; (не публик).

96. Способ регенерации фильтров водозаборных скважин: а.с. 1301945 СССР. МКИ Е 03В 3/15, Е21В 37/00 / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, Б.В. Сабадах, Н.П. Матвейко; Белор. политех. ин-т. – №3974476/29-33; заявл. 10.11.85; опубл. 7.04.87. // Открытия. Изобрет. – 1987. – № 13.

97. Устройство для регенерации фильтров скважин: а.с. 1512194 А1 СССР; МКИ Е03В3/15, Е21В 37/00 /А.Д. Гуринович, В.В. Ивашечкин, В.Н. Ануфриев, Б.В. Сабадах и Л.С. Ивашечкина; Белор. политехн. ин-т. – №4320394/23-33; заявл. 27.10.87; не публик.

98. Устройство для очистки фильтров водозаборных скважин: а.с. 1554443, МКИ Е03В 3/15 / Д. А. Козлов, В.С. Алексеев, В.В. Ивашечкин, В.А. Ольховик; Белор. политехн. ин-т. – №4418030/23-33; заявл. 28.04.88 (Не публик).

99. Устройство для защиты конструкций от обрастания: а.с. 1562225 СССР; МКИ Е63В59/00 / И.В. Поворотный, В.В. Ивашечкин, Д.А. Козлов, В.П. Валуев; Белор. политехн. ин-т. – №4400575/31-11; заявл. 31.03.88; опубл. 07.05.90 // Открытия. Изобрет. – 1990. – № 17.

100. Способ регенерации фильтров водозаборных скважин: а.с. 1578284 СССР. / В.В. Ивашечкин, В.С. Алексеев, Д.А. Козлов, В.Т. Гребенников, В.Т. Малишевский; Белор. политех. ин-т. – 4417946; заявл. 28.04.88; опубл. 15.07/90. // Открытия. Изобрет. – 1990. – № 26.

101. Способ регенерации фильтров водозаборных скважин и устройство для его осуществления: а.с. 1626743 СССР. МКИ Е 03В 3/15, Е21В 37/00 / Д.А. Козлов, В.С. Алексеев, В.В. Ивашечкин, И.А. Герасименок; Белор. политехн. ин-т. – №4418029/33; заявл. 28.04.88; не публик.

102. Устройство для импульсно-реагентной очистки скважинного фильтра: а.с. 1641982, МКИ Е21В 37/02 / Д. А. Козлов, В.В. Ивашечкин, В.С. Алексеев, М.Ю. Стриганова, И.А. Герасименок; Белор. политехн. ин-т. – №4436160/03; заявл. 03.06.88; опубл. 15.04.91 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 14.

103. Способ очистки подводной поверхности: а.с. 1650279 СССР; МКИ В08В3/08, 7/04, В63В59/00 / В.В. Ивашечкин, И.В. Поворотный; Белор. политехн. ин-т. – №4621539/12; заявл. 19.12.88; опубл. 23.05.91 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 19.

104. Способ очистки корпуса судна и устройство для его осуществления: а.с. 1659290 СССР; МКИ В63В59/08 / Д.А. Козлов, И.В. Карпенчук, В.В. Ивашечкин, В.К. Недбальский, Г.Е. Захарова, Ю.С. Горячко, Ю.Г. Ожиганов; Белор. политехн. ин-т. – №4460925/11; заявл. 20.05.88; опубл. 30.06.91 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 24.

105. Устройство для очистки сетчатых фильтров: а.с. 1673168 СССР МКИ В01D37/04 / Б.А. Барбанель, В.В. Ивашечкин, Ю.П. Ледян, А.Н. Кондратович; Белор. политехн. ин-т. – №4732884/26; заявл. 30.08.89; опубл. 30.08.91 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 32.

106. Устройство для дезинфекции водозаборных скважин: а.с. 1691509 СССР; МКИ Е21В37/00, С02F1/46 / А.Д. Гуринович, В.В. Ивашечкин, В.Н. Ануфриев; Белор. политехн. ин-т. – №4444966/26; заявл. 20.06.88; опубл. 15.11.91 // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 42.

107. Способ обработки призабойной зоны скважины и устройство для его осуществления: а.с. №1693921 СССР / А.Н. Кондратович, А.В. Королькевич, В.В. Ивашечкин, Н.Ф. Кагарманов, В.П. Дыбленко– 1991. – (Не публик).

108. Испытатель пластов: а.с. 1705556 СССР, МКИ В.В. Ивашечкин, А.Д. Гуринович, А.Н. Кондратович, Д.А. Козлов; Бел. политехн. ин-т. – №4765474/03; заявл. 7.12.89; опубл. 15.01.92 // Открытия. Изобрет. – 1992. – № 2.

109. Устройство для регенерации фильтросных плит азротенков: а.с. 1740327 СССР; МКИ С02F3/00 / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, В.Г. Щербаков, А.В. Полищук, В.Е. Кудревич, А.П. Савченко; Белор. политехн. ин-т. – №4843537/26; заявл. 28.06.90; опубл. 15.06.92 // Открытия. Изобрет. – 1992. – №22.

110. Устройство для реагентной обработки водозаборной скважины: а.с. 1740577 Е03В 3/15 / В.Н. Ануфриев, А.Д. Гуринович, В.В. Ивашечкин; Белор. политех. ин-т. – 4822324/29; заявл. 10.05.90; опубл. 15.06.92. – Открытия. Изобрет. – 1992. – № 22.

111. Способ регенерации водозаборной скважины: а.с. 1768722 СССР. / А.Д. Гуринович, В.Н. Ануфриев, В.В. Ивашечкин; Белор. политех. ин-т. – 4426835/33; заявл. 31.07.89; опубл. 15.10.92. – Открытия. Изобрет. – 1992. – № 38.

112. Устройство для очистки сетчатых фильтров: а.с. 1775133, МКИ В01D 35/16 / В.В. Ивашечкин, А.Н. Кондратович, Д.А. Козлов, Л.С. Космович, М.Р. Слепян, Г.В. Лукинский; Белор. политех. ин-т и Минский тракторный завод – №4787295; заявл. 30.01.90; опубл. 15.11.92 // Открытия. Изобрет. – 1992. – № 42.

113. Электролизер для получения гипохлорита натрия: а.с. 1793008 СССР; МКИ С25В9/00 / В.Н. Ануфриев, В.В. Ивашечкин; Белор. политехн. ин-т. – №4913103/26; заявл. 20.02.91; опубл. 07.02.93 // Открытия. Изобрет. – 1993. – № 5.

114. Устройство для дезинфекции: а.с. 1798449 СССР; МКИ Е03В3/15 / В.Н. Ануфриев, А.Д. Гуринович, В.В. Ивашечкин; Белор. политехн. ин-т. – №4891612/29; заявл. 17.12.90; опубл. 28.02.93 // Открытия. Изобрет. – 1993. – № 8.

Репозиторий БНТУ

РЭЗІЮМЭ

Івашчкін Уладзімір Васільевіч

Тэарэтычныя і тэхналагічныя асновы рэгенерацыі водазаборных свідравін цыркуляцыйнымі і газаімпульснымі метадамі

Ключавыя словы: водазабор, свідравіна, фільтр, кальматаж, рэгенерацыя, газавы выбух, рэагент, энергія, цыркуляцыя, тэхналогія.

Мэта працы: навукова-тэхнічнае абгрунтаванне і тэхналагічнае забеспячэнне аднаўлення прадукцыйнасці водазаборных свідравін метадамі цыркуляцыйнай і газаімпульснай декальматэцыі фільтраў і прыфільтравых зон.

Метады даследавання і апаратура: для тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў ужываліся фундаментальныя фізічныя законы, матэматычнае мадэляванне, метады матэматычнай статыстыкі, лабараторны і натурны эксперыменты, прыборы і абсталяванне для вывучэння фільтрацыйных уласцівасцяў грунтоў і хуткаснай рэгістрацыі хуткапрацякаючых працэсаў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Упершыню атрыманы: залежнасці для разліку велічынь дынамічных нагрузак на сценку фільтра пры разбурэнні рыхлых адкладаў падводнымі газавымі выбухамі пры абмежаванні ўчастка фільтра пакерамі; залежнасці для вызначэння межавых ціскаў і неабходных энергзатрат пры разбурэнні трывалых адкладаў падводнымі газавымі выбухамі пры абмежаванні ўчастка фільтра пакерамі; залежнасці для разліку ціску і хуткасці руху прадуктаў выбуху на працягу часа пры падводных газавых выбухах у цыліндрычных і сферычных выбуховых камерах з эластычнымі абалонкамі; метадыка разліку параметраў сектарнай цыркуляцыйнай прылады і тэхналогія реагентнай рэгенерацыі на яго падставе; метадыка разліку канструктыўных параметраў даўгавечнай водазаборнай свідравіны з убудаванай сістэмай цыркуляцыйнай рэгенерацыі і меркаваным тэрмінам службы - 50 гадоў; метадыка разліку каэфіцыента ўдзельнага выдатку салянай кіслаты на растварэнне адкладаў адзінкавай масы вядомага хімічнага складу; новыя спосабы газаімпульснай рэгенерацыі свідравін.

Ступень выкарыстання – вынікі даследаванняў укаранёны ва УП «Мінскводаканал», КУП «Жодзінскі водаканал» і іншых, а таксама выкарыстаны ў ТКП 17.04-21-2010. Эканамічны эффект ад укаранення распрацаваных тэхналогій склаў 438 млн. BYR і 139,8 тыс. USD.

Галіна ўжывання – сістэмы гарадскога, сельскагаспадарчага і прамысловага водазабеспячэння з падземных крыніц.

РЕЗЮМЕ

Ивашечкин Владимир Васильевич

Теоретические и технологические основы регенерации водозаборных скважин циркуляционными и газоимпульсными методами

Ключевые слова: водозабор, скважина, фильтр, кольматаж, регенерация, газовый взрыв, реагент, энергия, циркуляция, технология.

Цель работы: научно-техническое обоснование и технологическое обеспечение восстановления производительности водозаборных скважин методами циркуляционной и газоимпульсной декольматации фильтров и прифильтровых зон.

Методы исследования и аппаратура: для теоретических и экспериментальных исследований применялись фундаментальные физические законы, математическое моделирование, методы математической статистики, лабораторный и натурный эксперименты, приборы и оборудование для изучения фильтрационных свойств грунтов и скоростной регистрации быстропротекающих процессов.

Полученные результаты и их новизна. Впервые получены: зависимости для расчета величин динамических нагрузок на стенку фильтра при разрушении рыхлых отложений подводными газовыми взрывами при ограничении участка фильтра пакерами; зависимости для определения предельных давлений и необходимых энергозатрат при разрушении прочных отложений подводными газовыми взрывами при ограничении участка фильтра пакерами; зависимости для расчета давления и скорости движения продуктов взрыва во времени при подводных газовых взрывах в цилиндрических и сферических взрывных камерах с эластичными оболочками; методика расчета параметров секторного циркуляционного устройства и технология реагентной регенерации на его основе; методика расчета конструктивных параметров долговечной водозаборной скважины с встроенной системой циркуляционной регенерации и предполагаемым сроком службы более 25 лет; методика расчета коэффициента удельного расхода соляной кислоты на растворение отложений единичной массы известного химического состава; новые способы газоимпульсной регенерации скважин.

Степень использования – результаты исследований внедрены в УП «Минскводоканал», КУП «Жодинский водоканал» и др., а также использованы в ТКП 17.04-21-2010. Экономический эффект от внедрения разработанных технологий составил 438 млн. BYR и 139,8 тыс. USD.

Область применения – системы городского, сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения из подземных источников.

SUMMARY

Ivashechkin Vladimir

Theoretical and technological principles of water wells regeneration by circulating and gas-impulse methods

Keywords: a water intake, a well, a well screen, colmatage, regeneration, gas explosion, a reagent, energy, circulation, technology.

Aim of paper: scientific and engineering justification and technology support for the restoration of water wells productivity by circulating and gas-impulse decolmatage well screens and pre-filter zones methods.

Research methods and equipment: for theoretical and experimental investigations following means were applied: basic laws of physics, mathematical modeling, mathematical statistics methods, field and laboratory experiments, equipment for the study of soil filtration properties and instruments for the registration of rapid processes.

Results and innovations achieved. For the first time following innovative results were obtained: equations for the calculation of the dynamical load values on the well screen during the destruction of mellow deposits by underwater gas explosions in the sections of well screen isolated by packers; equations for the calculation of limit pressure values as well as energy losses during the destruction of durable deposits by underwater gas explosions in the sections of well screen isolated by packers; equations for the calculation of explosions products pressure and velocity during underwater gas explosions in cylindrical and spherical explosion chambers with elastic covers; methodology for the calculation of parameters of a sector circulatory device and technology of circulation-reagent treatment of water wells; methodology for the calculation of constructive parameters for a water well with integrated circulation reagent system with supposed durability more then 25 years; methodology for the calculation of specific consumption rate of the hydrochloric acid for the dissolution of deposits with a known chemical composition; new methods of gas - impulse regeneration of wells.

Application of the results: the research results are applied in UE «Minskvodocanal», UE «Godinovodocanal» etc. and are also used in TCP 17.04-21-2010. The economic effect from of the developed technologies are BYR 438 million and USD 139.8 thousand.

Application field: urban, agricultural and industrial water supply systems using ground water sources.

Научное издание

ИВАШЕЧКИН Владимир Васильевич

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
РЕГЕНЕРАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН
ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ И ГАЗОИМПУЛЬСНЫМИ
МЕТОДАМИ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук

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

Подписано в печать 19.01.2012.

Формат 60x84^{1/16}. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,85. Уч.-изд. л. 2,23. Тираж 60. Заказ 83.

Издатель полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 2330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.