

**Национальная академия наук Кыргызской Республики**  
**ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ**  
**Министерство образования и науки Кыргызской Республики**  
**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ им. И. Раззакова**

**Диссертационный совет Д 05.16.523**

На правах рукописи

УДК 628.112.24(043)

**Макаров Александр Анатольевич**

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА**  
**ДЛЯ МАНЖЕТНОГО ТАМПОНИРОВАНИЯ ФИЛЬТРОВОЙ**  
**КОЛОННЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН**

05.05.06 – Горные машины

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бишкек 2017

**Работа выполнена в Казахском национальном техническом  
университете имени К.И. Сатпаева.**

- Научный руководитель** доктор технических наук, профессор  
**Федоров Борис Владимирович**
- Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Шамсутдинов Марат Мубаракшаевич**  
кандидат технических наук, с.н.с.  
**Анохин Анатолий Васильевич**
- Ведущая организация:** **Институт «Инновационной Технологии  
и Техники» Центрально - Азиатского  
Университета** (050060, г. Алматы, ул.  
Жандосова, 60)

Защита состоится «30» ноября 2017 года в 14.00 на заседании диссертационного совета Д.05.16.523 при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызском государственном техническом университете им. И.Раззакова Министерства образования и науки Кыргызской Республики по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики и на сайте <http://imash.kg/index.php/2016-03-25-04-59-37/d-05-16-523/soiskateli>.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направлять по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23, Институт машиноведения НАН КР, диссертационный совет Д.25.16.531 или по e-mail: [imash.dissovet@gmail.com](mailto:imash.dissovet@gmail.com).

Автореферат разослан « 28 » октября 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д.05.16.523, к.т.н., с.н.с



Квитко С.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** В Республике Казахстан ведутся широкомасштабные работы по сооружению гидрогеологических и геотехнологических скважин, служащие для поисков, разведки и добычи подземных вод и твердых полезных ископаемых. Основным способом сооружения таких скважин является вращательное бурение с промывкой глинистым раствором.

В настоящее время наблюдается значительное увеличение объема сооружаемых гидрогеологических и, в особенности, геотехнологических скважин. Последние сооружаются для добычи урана, связанного с глубоко залегающими водоносными пластами и требующими их качественной цементации. В свою очередь, основной проблемой некачественного тампонирувания скважин является способ доставки цементного раствора в прифильтровую зону, равномерность его распределения в затрубном пространстве.

Применяемая технология тампонирувания технологических скважин основана на доставке тампонажного раствора через бурильную колонну, опущенную в кольцевое пространство между обсадной колонной с фильтром и стенками скважины. Такой технологии свойственны следующие недостатки: большой диаметр бурения по всей глубине скважины, что вызывает повышение стоимости последней; неравномерность распространения тампонажного раствора вокруг обсадной колонны; нарушение целостности обсадных труб; недоподъем цементного раствора до расчетной высоты.

Предлагаемый способ манжетного тампонирувания технологических скважин через внутреннее пространство обсадной колонны позволит существенно уменьшить диаметр скважин, повышает качество тампонирувания за счет равномерного распределения смеси по окружности обсадной колонны. Следовательно, исследования направленные на решение указанной задачи, весьма актуальны и являются важной прикладной проблемой. Актуальность исследований усиливается в связи с огромными масштабами буровых работ, связанными со строительством геотехнологических скважин.

**Цель и задачи исследования.** Разработка устройства для манжетного тампонирувания фильтровой колонны технологических скважин, повышающее эффективность их сооружения.

**Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:**

- анализ существующих технических средств и технологий тампонирующей обсадных пластмассовых колонн технологических скважин;
- исследование конструктивных и технологических параметров устройства новой конструкции в процессе течения тампонажного раствора при манжетном тампонировании технологических скважин;
- экспериментальные исследования процесса тампонирующей геотехнологических скважин с использованием новой конструкции устройства для манжетного тампонирующей фильтровой колонны;
- промышленные испытания разработанного устройства для манжетного тампонирующей технологических скважин и расчет экономической эффективности его внедрения.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Разработано новое устройство, позволяющее существенно снизить энергоемкость бурения и затраты на тампонажные материалы за счет обоснованного уменьшения диаметра технологических скважин и уменьшения величины зазора между обсадной колонной и стенками скважины с возможностью доставки цементного раствора из обсадной колонны в затрубное пространство.

2. Установлено, что качественное цементирование обсадной колонны технологических скважин обеспечивается ее центрированием относительно оси скважины и заполнением затрубного пространства цементным раствором, поступающим по радиальным каналам с расчетным сечением и количеством из внутренней части обсадных труб для последующей герметизации.

3. Выявлены параметры устройства для манжетного цементирования, обеспечивающие доставку цементного материала в зону тампонирующей с последующим доступом в фильтровую часть скважины измерительной геофизической аппаратуры, проведения откачек и ремонтно-восстановительных работ.

4. Экспериментально установлена зависимость суммарных потерь давления при движении глинистой и тампонажной жидкости от глубины скважины при ламинарном течении упомянутых растворов.

**Научная новизна работы:**

– установлено, что новое устройство для манжетного тампонирующей фильтровой колонны технологических скважин, в отличие от известных обеспечивает равномерное распределение тампонажного раствора в надфильтровой зоне и его подачу через внутреннее пространство обсадной колонны и распределительный узел устройства, имеющий не менее 4-х

радиальных отверстий, и выполненный с возможностью герметизации надфильтровой части скважины после окончания цементирования;

- впервые обеспечен доступ в фильтровую часть скважины с возможностью откачки технологического раствора, с использованием статического или динамического воздействия нового устройства, посредством бурильной колонны;

- разработана методика моделирования и расчета необходимой нагрузки для разрушения экрана внутренних перегородок, отделяющих фильтровую часть от надфильтрового пространства, в дальнейшем позволяющая осуществлять спуск измерительной аппаратуры.

- усовершенствована технология тампонирования технологических скважин, сущность которой заключается в свободном заполнении обсадной колонны и поступлением в затрубное пространство расчетного количества тампонажного раствора путем давления на верхнюю пробку, контактирующую с цементным раствором, весом бурильной колонны или нагнетанием в обсадную колонну продавочной жидкости.

**Практическая значимость работы** заключается в следующем:

- усовершенствованная технология тампонирования технологических скважин позволяет снизить на 20 % энергозатраты при тампонировании, расходные материалы – на 40%, а также повысить производительность работ на 25%;

- разработан алгоритм расчета зависимости общих потерь давления от расхода тампонажного раствора для различных глубин технологических скважин;

- установлены рациональные параметры бурения и тампонирования надфильтрового пространства технологических скважин с целью повышения качества схватывания тампонажного раствора со стенками скважины и снижения затрат труда;

- разработаны рекомендации по технологии тампонирования технологических скважин через внутреннее пространство обсадной колонны с равномерным распределением цементного раствора в скважине применительно к новому устройству.

- разработана программа в системе Maple 12 для расчета статического и динамического усилия для разрушения перегородок устройства для манжетного тампонирования, находящихся во внутреннем пространстве обсадной колонны, отделяющих последнюю от фильтровой части скважины.

**Экономическая значимость полученных результатов** заключается в том, что предложенная технология позволяет значительно сократить расход тампонажного раствора, снизить энергоемкость бурения,

что в дальнейшем позволяет получить экономический эффект, составляющий 590 \$ США при бурении одной технологической скважины.

**Личный вклад соискателя в получении результатов.** Основные теоретические и практические результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично, на основе имеющихся в литературе сведений, автором самостоятельно проведен анализ полученных данных.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы были доложены на: Восьмой международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» (Таллинн, 2009 г.), Седьмой Международной научно-технической конференции «Современные технологии освоения минеральных ресурсов», посвященной 50-летию института цветных металлов на Красноярской земле (Красноярск, 2009 г.), Международной конференции «Ресурсно-экологические проблемы в 21 веке: инновационное недропользование, энергетика, экологическая безопасность и нанотехнологии» (Алушта, 2009 г.).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 13 статей, в том числе 2 статьи в зарубежных журналах, индексируемых системой РИНЦ, 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК КР, получено 2 патента Республики Казахстан.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 143 страницах и состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованных источников, включающих 80 наименований, и 5 приложений. Диссертация иллюстрирована 36 рисунками и 6 таблицами.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность и новизна темы диссертации, сформулирована цель работы, поставлены задачи исследования и изложены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен обзор современных технических средств и технологий для тампонирования фильтровой колонны технологических и гидрогеологических скважин.

Республика Казахстан занимает одно из первых мест в мире по добыче уранового сырья, которое добывается с помощью геотехнологических скважин. Для вскрытия водоносных пластов, с которыми связаны месторождения урана, применяется вращательный способ бурения с промывкой глинистым раствором.

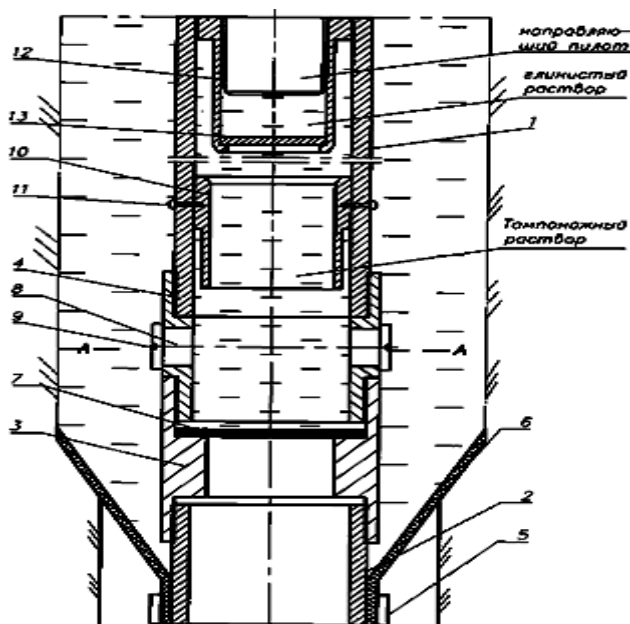
Надежность крепления стенок скважины определяется правильностью выбора конструкции скважины, подготовкой ствола, технологией спуска и цементирования обсадных колонн, а также работами, связанными с оборудованием устья и водоприемной части скважины. Для крепления используют трубы из стали, асбоцемента и полимеров.

Крепление скважин обсадными трубами должно препятствовать проникновению различных жидкостей в водоносный пласт. При рациональном креплении ствола обсадными трубами увеличивается срок службы скважины и обеспечивается постоянство состава откачиваемой воды или раствора.

При выборе конструкции эксплуатационных скважин для подземного выщелачивания полезных ископаемых с использованием кислотных растворителей металла необходимо учитывать следующие особенности применяемой технологии: 1) обеспечение высокой стойкости материала обсадных труб к химически агрессивным средам, а также их достаточную механическую прочность в условиях горного давления и гидродинамических нагрузок; 2) внутренний диаметр обсадных труб должен допускать производство ремонтно-восстановительных работ; 3) возможность создания надежной гидроизоляции рудного горизонта, особенно в случае эксплуатации маломощных рудных тел, находящихся в зоне водоносных горизонтов; 4) в процессе бурения не должна нарушаться целостность нижнего водоупора, в случае перебуривания водоупора необходимо предусматривать в дальнейшем его тампонирующее; 5) утяжелитель для спуска в скважину полиэтиленовых обсадных колонн необходимо изготавливать из инертных материалов или же он должен быть извлекаемым; 6) при оборудовании нижней части фильтра отстойником с окнами для облегчения освоения скважины необходимо предусматривать возможность перекрытия окон после окончания работ по освоению; 7) срок службы скважин должен быть не менее срока отработки блока.

**Вторая глава** посвящена теоретическому исследованию влияния внешних факторов на тампонирующее фильтровую колонны и определению оптимальных геометрических параметров распределительного устройства.

Учитывая недостатки известных технико-технологических средств тампонирующей обсадной колонны, изложенные в первой главе, предлагается использовать следующую новую конструктивную схему манжетного тампонирующей фильтровой колонны (рисунок 1).



- 1 – обсадная колонна; 2 – фильтр; 3 – переходник; 4 – муфта;  
 5 – хомут; 6 – манжета; 7 – экран; 8 – заглушки; 9 – стяжная нить;  
 10 – втулка; 11 – штифты; 12 – верхняя пробка;  
 13 – внутренняя перегородка.

Рисунок 1 – Предлагаемая конструктивная схема манжетного тампонирования фильтровой колонны

После бурения вмещающих пород и вскрытия продуктивного пласта меньшим диаметром в скважину спускается обсадная колонна 1 с фильтром 2. Последний соединен с обсадной колонной с помощью переходника 3 и муфты 4. На надфильтровой части фильтра закреплен хомутом 5 манжет 6, выполненная из кислотостойкой резины. Внутренняя полость переходника перекрыта экраном 7, выполненным из хрупкого материала (чугуна). В муфте выполнены четыре радиальных отверстия, закрытые заглушками 8. Последние удерживаются от выпадения стяжной проволокой 9.

Внутри нижней части обсадной колонны расположена втулка 10, закрепленная четырьмя штифтами 11, выполненными из пластмассы. При спуске обсадной колонны в нее заливается расчетное количество тампонажного раствора. Затем в обсадную колонну опускается пробка 12,



представляющая полый цилиндр с кольцевым выступом, внутреннее пространство, которого перекрыто перегородкой 13.

По мере спуска обсадной колонны последняя выше пробки заполняется глинистым раствором, играющим роль продавочной жидкости. Таким образом, на торцы заглушек, которые удерживаются стяжной проволокой, будет действовать сила, вызванная суммарным давлением столбов тампонажного и глинистого раствора и зависящая также от диаметров заглушек. В результате заглушки выдавливаются в затрубное пространство, которое заполняется тампонажным раствором, вытесняемым из внутреннего пространства обсадной колонны. По мере выдавливания тампонажного раствора в затрубное пространство обсадная колонна заполняется новыми порциями глинистого раствора вплоть до полного заполнения упомянутой колонны. Для окончательного выдавливания тампонажного раствора в затрубное пространство в обсадную колонну опускается колонна бурильных труб с пилотом, который взаимодействует с пробкой.

Когда пробка при своем движении вниз дойдет до втулки, произойдет срез штифтов при контакте кольцевого выступа пробки и торца втулки. Затем пробка выдавит остаток тампонажного раствора, а втулка перекроет радиальные каналы своей боковой поверхностью, изолируя внутреннее пространство обсадной колонны от цементируемого затрубного пространства.

На заключительной стадии статическая нагрузка от веса бурильной колонны на перегородку, а затем на экран, вызовет их разрушение. Если статической нагрузки для этого недостаточно, к упомянутым деталям для их разрушения прикладывают динамическую нагрузку, которая формируется путем подъема и сбрасывания с определенной высоты бурильной колонны с направляющим пилотом. В результате обеспечивается доступ кислотных растворителей в фильтровую часть скважины (при сооружении закачной скважины) или откачка продуктивного раствора из откачной скважины.

В работе описана новая технология манжетного тампонирования фильтровой колонны технологических скважин с расчетом движения тампонажной смеси в затрубном пространстве скважины.

Для реализации процесса тампонирования необходимо приложить к пробке определенное усилие, которое можно создать двумя способами:

- закачка под давлением глинистого раствора буровым насосом;
- путем спуска в обсадную трубу бурильной колонны с пилотом, которая передает в свою очередь соответствующее давление на тампонажный раствор.

Определим необходимое давление для выдавливания всего объема тампонажного раствора из обсадной колонны в затрубное пространство. Это давление  $P_0$ , будучи максимальным, складывается из двух слагаемых:

$$P_0 = P_\gamma + P_z, \quad (1)$$

где  $P_\gamma$  – давление, затрачиваемое на преодоление разности удельных весов и столбов глинистого и цементного растворов в колонне и затрубном пространстве;  $P_z$  – давление, затрачиваемое на преодоление гидравлических сопротивлений.

Величина  $P_\gamma$  в рассматриваемом случае (при отсутствии цементного стакана в обсадной колонне) будет определяться по формуле:

$$P_\gamma = (\gamma_{mp} - \gamma_{gp}) H_{up}, \quad (2)$$

где  $\gamma_{mp}, \gamma_{gp}$  – соответственно удельные веса тампонажного и глинистого раствора,  $\frac{H}{m^3}$ ;  $H_{up}$  – высота подъема цементного раствора в затрубном пространстве, м.

Следует учитывать, что при выдавливании в затрубное пространство тампонажного раствора последний контактирует с глинистым раствором. В результате образуется глиноцементная смесь, которая приводит к уменьшению интервала цементирования, в пределах которого цементный камень оказывается достаточно прочным и герметичным. По ранее установленным данным переходная глиноцементная зона достигает 20% от высоты цементируемой части заколонного пространства.

В этой связи для гарантированного качественного цементирования интервала, равного  $H_{up}$ , его следует увеличить в 1,2 раза, т.е. длина будет  $H' = 1,2H$ .

Вторая величина  $P_z$  в уравнении (1) в данном случае складывается из четырех слагаемых:

$$P_z = P_{ктр} + P_{рк} + P_{кл.тр} + P_{кл.бр}, \quad (3)$$

где  $P_{ктр}$  – потери при выдавливании цементного раствора из внутреннего пространства обсадной колонны;  $P_{рк}$  – потери напора при течении тампонажного раствора через радиальные каналы после освобождения

их от заглушек;  $P_{кл.тр}$  – потери напора при течении тампонажного раствора в кольцевом пространстве;  $P_{кл.бр}$  – потери напора при выдавливании глинистого раствора из затрубного пространства.

После подсчета суммарного давления  $P_0$ , необходимого для выдавливания тампонажного раствора в затрубное пространство (формула 1), ее величина сравнивается с давлением  $P^*$ , оказываемым весом колонны с пилотом на пробку:

$$P^* = G/F, \quad (4)$$

где  $G$  – вес бурильной колонны с пилотом, взаимодействующий с пробкой;  $F = \frac{\pi d_{вн}^2}{4}$  – площадь поперечного сечения пробки, приближенно равная внутреннему диаметру обсадной колонны.

Вес бурильной колонны с пилотом с учетом действия архимедовой силы равен:

$$G = \alpha \cdot q \cdot g \cdot H \cdot \left(1 - \frac{\rho_{бр}}{\rho_{см}}\right), \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент увеличения веса бурильной колонны за счет соединения бурильных труб и пилота; равный 1,1,  $q$  – масса 1 м бурильных труб, кг/м;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_{см}$  – плотность материала бурильных труб,  $\rho_{см} = 7850 \text{ кг/м}^3$ .

Тогда избыточное давление  $P^*$ , действующее на пробку в конце процесса выдавливания тампонажного раствора из внутреннего пространства обсадной колонны, равно:

$$P^* = \alpha \cdot q \cdot g \cdot H \cdot \left(1 - \frac{\rho_{бр}}{\rho_{см}}\right) / \frac{\pi d_{вн}^2}{4}. \quad (6)$$

Давление  $P^*$  не должно превышать допустимого внутреннего давления для материала обсадных труб (с учетом затрубного давления, обусловленного продажной жидкостью и тампонажным раствором).

Для успешного тампонирования обсадной колонны, давление, определяемое по формуле (6), должно быть больше давления  $P_0$ , вычисляемое по (1):  $P^* > P_0$ .

В тоже время, развиваемое внутреннее давление  $P^*$  не должно превышать допустимого давления  $P_g$  для пластмассовых труб:

$$P^* < P_g.$$

Допустимое избыточное давление  $P_g$ , при котором напряжения в теле трубы равны пределу текучести  $\sigma_m$ , рассчитывается по формуле:

$$P_g = 2\delta[\sigma_T]/d_{\text{вн}}, \quad (7)$$

где  $\delta$  – толщина стенки трубы, м;  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр трубы, м.

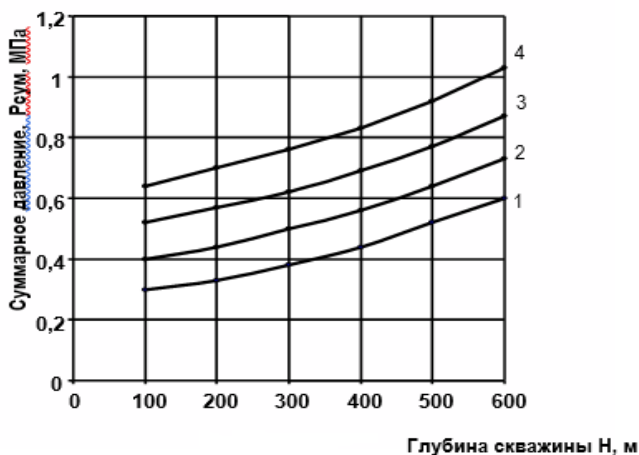
Рассмотренный в работе пример расчета также показывает, что наибольшие потери давления вызывают при выдавливании глинистого раствора из затрубного пространства при поступлении в последнее тампонажного раствора.

В свою очередь упомянутые потери давления зависят от глубины скважины. На рисунке 2 приведены графические зависимости суммарных потерь давления  $P_0$  при манжетном тампонировании от глубины  $H$  скважины при различных расходах тампонажного раствора.

В соответствии с интервалом изменения  $V_{\text{кп}}$  величина расхода тампонажного раствора  $Q$  варьирует от 0,0013 до 0,0039  $\text{м}^3/\text{с}$ . Анализ графика (рисунок 3) показывает, что с увеличением расхода тампонажного раствора, суммарные потери давления возрастают, в исследуемом интервале изменения  $Q$  упомянутые зависимости  $P_0 = f(H)$  носят характер, приближающийся к прямолинейному.

То же можно сказать и о зависимостях суммарных потерь давления  $P_0 = f(Q)$  от расхода тампонажного раствора при различных глубинах скважины, характеры упомянутых зависимостей также приближаются к прямолинейному.

**Третья глава** посвящена экспериментальным исследованиям, целью которых является проверка полученных теоретических зависимостей, их уточнение и разработка технологии манжетного тампонирования фильтровой колонны.



- 1 –  $Q = 0,002 \text{ м}^3 / \text{с}$ ; 2 –  $Q = 0,003 \text{ м}^3 / \text{с}$ ;
- 3 –  $Q = 0,004 \text{ м}^3 / \text{с}$ ; 4 –  $Q = 0,005 \text{ м}^3 / \text{с}$

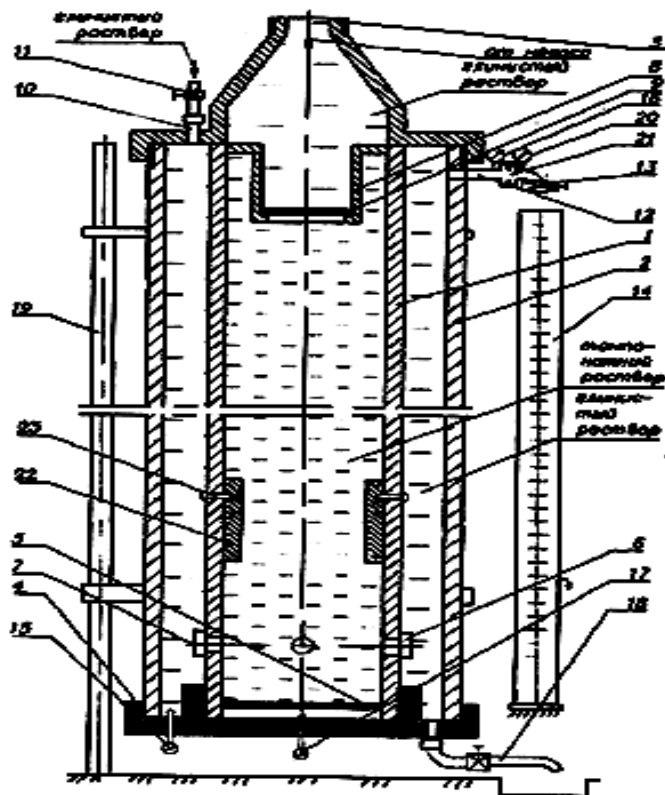
Рисунок 2 – Зависимости суммарных потерь давления  $P_{\text{сум}}$  от глубины  $H$  тампонирующей скважин при различных расходах  $Q$  тампонажного раствора

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- создание лабораторной установки для проведения экспериментальных работ;
- разработка методики проведения экспериментальных работ;
- осуществление планирования эксперимента с целью определения максимальных потерь давления в разработанном устройстве при минимальном количестве проведенных опытов;
- получение зависимости траектории движения тампонажного раствора от суммарных потерь давления.

Для решения указанных задач был разработан стенд, представленный на рисунке 3, имитирующий прифилтровую часть технологической скважины, сооружаемой на объектах АО НАК "Казатомпром".

Основным узлом экспериментальной установки являются комплект из двух коаксиально расположенных труб. Ее внутренний и наружный диаметры совпадает с реальными поперечными размерами фильтровых колонн, применяемых в производственных условиях на объектах АО «Волковгеология».



- 1, 2 – трубы; 3, 4 – крышки; 5 – экран; 6 – заглушки; 7 – стяжная нить;  
 8 – пробка; 9 – перегородка; 10 – штуцер; 11 – дроссельный кран;  
 12 – магистраль; 13 – дроссельный кран; 14 – мерная емкость; 15, 16, 17, 20 –  
 манометры; 18 – кран; 19 – стойка; 21 – диафрагма (шайба),  
 22 – втулка; 23 – штифты.

Рисунок 3 – Экспериментальная установка, имитирующая  
 прифилтровую часть скважины

Со стороны верхнего и нижнего торцов трубы закрыты крышками, причем нижняя крышка поджимает экран. В непосредственной близости от нижнего торца в трубе 1 выполнены четыре радиальных канала, закрытые заглушками 6 и удерживаемые от выпадения стяжной нитью, выше радиальных отверстий располагается втулка, удерживаемая штифтами. У верхнего торца внутренней трубы в начале имитации процесса тампонирования располагается пробка, дно которой выполнено в виде

перегородки. В верхнюю крышку вмонтирован штуцер с дроссельным краном, соединенным с напорной магистралью, предназначенной для подачи глинистого раствора в кольцевое пространство между трубами. Для приема вытесняемой жидкости из упомянутого пространства предназначена магистраль с дроссельным краном. Замер объема вытесняемой жидкости осуществляется с помощью мерной емкости. Последняя выполнена из оргстекла, причем ее внутренний диаметр равен внутреннему диаметру трубы. Измерение давления жидкости в нижней, верхней частях кольцевого пространства между трубами проводится манометрами. Перепад давления при течении жидкости через диафрагму осуществляется по разности показанной манометров.

Путем регулирования давления нагнетания продавочной жидкостью с помощью помпы (ручного насоса) устанавливается расход вытесняемой жидкости, который поддерживается стабильным при смене диаметра шайбы (диафрагмы) на протяжении всего эксперимента.

Вычислены средние значения суммарных потерь давления  $\bar{P}_{\text{сум}}$  для каждого диаметра шайбы  $d_{\text{ш}}$ , дисперсия  $D$  опыта, среднее квадратичное отношение  $\sigma = \sqrt{D}$  и коэффициент  $V$  вариации. Последний показывает, что изменчивость варианта  $P_{\text{сум}}$  мала, что говорит о достаточности количества опытов для определения суммарных потерь давления.

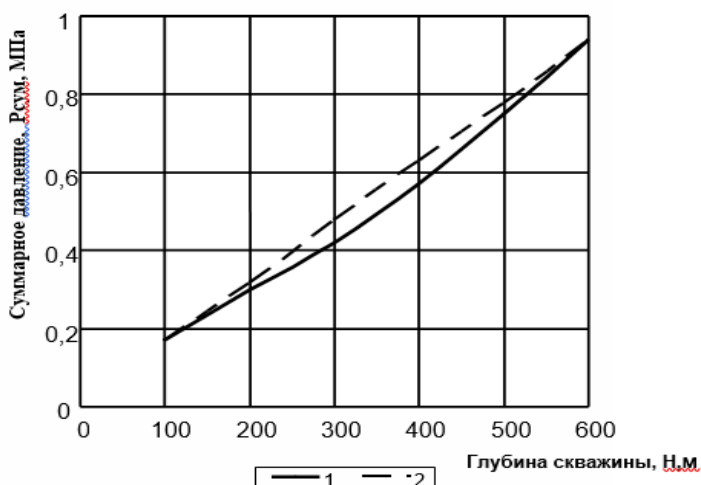
Сравнительная оценка среднего значения экспериментально полученных суммарных потерь давления  $P_{\text{сум}}$  с теоретическими вычисленными потерями давлений показывает, что относительная теоретическая разность упомянутых величин мала.

На рисунке 4 приведены две зависимости потерь давления  $P_{\text{сум}}^{\text{теор}}$  в зависимости от глубины скважины  $H$  (или, что тоже, от потерь давления  $P_{\text{ш}}$  при течении жидкости через калиброванную шайбу): 1 – теоретическая кривая; 2 – экспериментально полученная кривая.

Анализ графика показывает, что разность между ординатами кривых (при  $H = \text{const}$ ) незначительна, и с небольшой погрешностью зависимость  $P_{\text{сум}} = f(H)$  можно аппроксимировать линейной зависимостью вида:

$$P_{\text{сум}} = (0,00152H + 0,02) . \quad (8)$$

Зависимость справедлива в интервалах  $100\text{ м} < H < 600\text{ м}$ .



1 – теоретическая кривая; 2 – экспериментально полученная зависимость.

100 м -  $d_{ин} = 0,149$  ; 200м -  $d_{ин} = 0,302$  ;

300м -  $d_{ин} = 0,454$  ; 400м -  $d_{ин} = 0,606$  ; 600м -  $d_{ин} = 0,759$  .

Рисунок 4 – Зависимость суммарных потерь давления  $\bar{P}_{сум}$  при течении тампонажного раствора в затрубном пространстве от глубины скважины  $H$

На основе результатов экспериментальных работ было разработано распределительное устройство и описан принцип его работы.

**Четвертая глава** посвящена результатам производственных испытаний разработанного распределительного устройства, которые были проведены при сооружении откачных скважин на полигонах подземного выщелачивания АО НАК "Казатомпром".

Предлагаемая технология сооружения упомянутой скважины имеет следующие отличия от применяемой, вышеизложенной:

- окончательный минимальный диаметр скважины, за исключением интервала установки фильтра, равен 161 мм, т.е. отсутствует расширение скважины до диаметра 190 мм; калибровку скважины диаметром 161 мм осуществляют шарошечным долотом типа М или С после бурения этим же диаметром долотом ЗЛ-161;



- после расширения в интервале 275-285 м продуктивного пласта до диаметра 260 мм расширителем 260/320, глинистый раствор в скважине заменяется гельцементным раствором плотностью  $1250 \text{ кг/м}^3$ ;
- осуществляется манжетное цементирование колонны ПВХ 110/18 с помощью разработанного устройства УТО (рисунок 5), интервал установки колонны 0 – 275;
- рекомендуемый фильтр – труба ПВХ 63/3,5: фильтр устанавливается «впотай»; уменьшение диаметра фильтра каркаса гравийного фильтра не должно существенно сказаться на дебите, так как при расчете последнего учитывается поперечный размер гравийной обсыпки, а не диаметр каркаса.



Рисунок 5 – Устройство для манжетного тампонирования  
фильтровой колонны технологических скважин

Работы по манжетному цементированию и оборудованию скважины фильтром проводились в следующей последовательности.

После разбурки и промывки скважины последняя заполняется гельцементным раствором. На поверхности собирают фильтровую часть скважины, состоящую из отстойника с заглушкой и фильтра КДФ. Проверяют правильность сборки устройства для тампонирувания, надежность крепления манжеты. В скважину последовательно опускают фильтр КДФ с отстойником, затем распределительное устройство УТО и обсадные трубы ПВХ 90/8. На обсадной колонне устанавливается манжета, выполненная из кислотостойкой резины толщиной 6 мм.

После проведения обсадки проводятся геофизические исследования (ГИС), целью которых является проверка целостности обсадной колонны и фактический интервал установки фильтра. После проведения

ГИС в обсадную колонну сбрасывается первая пробка – стакан, которая продавливается тампонажным раствором до посадочного места в УТО. Затем опускается верхняя пробка с перегородкой, с помощью которой тампонажный раствор вытесняется в затрубное пространство. Сигналом к окончанию этого процесса служит возросшее давление на манометре насоса в момент схождения верхней и нижней пробок.

После схватывания цементного раствора (ожидание затвердевания цемента – 12 ч) проводилась термометрия на предмет исследования качества тампонирувания. Заключительным этапом является разрушение перегородок в верхней и нижней пробках для обеспечения доступа в фильтровую часть скважины. Эта операция осуществлена путем воздействия веса опущенной бурильной колонны, под действием которого перегородки были разрушены, а бурильная колонна свободно опустилась в фильтровую часть скважины.

Время, затраченное на тампонирувание фильтровой колонны, составило 1 час 30 мин, что на 1,5 часа меньше времени по ранее применяемой технологии. Время ожидания затвердевания тампонажного раствора сократилось на 2 часа, что подтверждено проведенным геофизическим исследованием – термометрией, определяющим качество тампонирувания.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

В диссертации решена актуальная задача в области исследования и создания устройства для манжетного тампонирувания фильтровой колонны, использование которого повышает эффективность буровых работ.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработано устройство для манжетного тампонирувания фильтровой колонны технологических скважин, обеспечивающее равномерное распределение тампонажного раствора в надфильтровой зоне и его подачу через внутреннее пространство обсадной колонны и распределительный узел устройства, имеющий не менее 4-х радиальных отверстий и выполненной с возможностью герметизации надфильтровой части скважины после окончания цементирования;

2. Показано, что снижение энергоемкости бурения и затрат тампонажных материалов за счет уменьшения диаметра технологических скважин достигается при использовании устройства новой конструкции, в которой доставка цементного раствора происходит из обсадной колонны в затрубное пространство, причем ширина зазора между стенками обсадной колонны и скважины должна быть не более 20–25 мм;

3. Качественное цементирование обсадной колонны технологических скважин обеспечивается ее центрированием относительно оси скважины и заполнением затрубного пространства цементным раствором, поступающим по нескольким радиальным каналам из внутренней части обсадных труб;

4. Доступ в фильтровую часть и откачку из скважины, обеспечивается статическим или динамическим усилием устройства новой конструкции, создаваемым бурильной колонной, причем разрушение внутренних перегородок, отделяющих фильтровую часть от надфильтрового пространства, позволяет осуществить спуск измерительной аппаратуры.

5. Экспериментально подтвержден прямолинейный характер зависимости суммарных потерь давления при движении глинистой и тампонажной жидкости от глубины скважины при ламинарном течении упомянутых растворов.

6. Разработана программа расчета статического и динамического усилия для разрушения перегородок устройства для манжетного тампонирувания, находящихся во внутреннем пространстве обсадной колонны, отделяющих последнюю от фильтровой части скважины.

7. Разработана методика определения предельных суммарных потерь давления при течении тампонажного и глинистого раствора, новая схема манжетного цементирования фильтровой колонны и новая технология тампонирувания технологических скважин.

8. Установлено, что при сооружении технологических скважин с использованием устройства для манжетного тампонирувания фильтровой колонны – УТО основными факторами, влияющим на изменение стоимости сооружения скважин, являются затраты времени на цементирование надфильтрового пространства и времени ожидания затвердевания цемента, расход тампонажных материалов, проведение термометрии.

9. Экспериментальным путем установлено, что использование устройства для манжетного тампонирувания фильтровой колонны – УТО, сокращает затраты времени на проведение данного вида технологических операций. Затраты времени на цементирование уменьшаются на 3,5 часа. Экономический эффект составляет 590 долларов США, а годовой объем сооружения скважин на представленном участке на 500 скважин, составит годовую экономию денежных средств в размере около 296 тыс. долларов.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1. **Макаров, А.А.** Совершенствование технологии сооружения геотехнологических скважин. [Текст] / Б.В. Федоров, А.А. Макаров. – Алматы: Вестник КазНТУ, 2009. – С. 145 – 149.
2. **Макаров, А.А.** Расчет стяжной нити на разрыв. [Текст] / А.А. Макаров, Б.В. Федоров. – Алматы: Промышленность Казахстана, №3, 2009. – С. 45–47.
3. **Макаров, А.А.** Устройство для тампонирувания геотехнологических скважин. [Текст] / А.А. Макаров, Б.В. Федоров. Инновационный Патент Республики Казахстан № 21227. - Бюл. № 4. 2009. – 5 с.
4. **Макаров, А.А.** Устройство для манжетного тампонирувания фильтровой колонны геотехнологических скважин. [Текст] / А.А. Макаров, Б.В. Федоров // Материалы восьмой международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». – Таллинн, 2009. – С. 174–176.
5. **Макаров, А.А.** Тампонирувание геотехнологических скважин. [Текст] / А.А. Макаров, Б.В. Федоров / Материалы седьмой Международной научно-технической конференции посвященной 50-летию института цветных металлов на Красноярской земле. – Красноярск, 2009. – С. 109–114.
6. **Макаров, А.А.** Способ манжетного тампонирувания геотехнологических скважин. [Текст] / А.А. Макаров, Б.В. Федоров. Материалы международной конференции «Современные технологии освоения минеральных ресурсов». – Алушта, 2009. – С. 194–196.
7. **Макаров, А.А.** Способ манжетного тампонирувания фильтровой колонны геотехнологических скважин [Текст]: Патент Республики Казахстан, Бюллетень № 9 / А.А. Макаров, Б.В. Федоров, С.М. Сушко. – Алматы, 2010. – 5 с.
8. **Макаров, А.А.** Освоение водоносных пластов под действием знакопеременного давления жидкости. [Текст] / А.А. Макаров, Б.Т. Ратов // Труды международной научно-практической конференции «Вода: Ресурсы, качество, мониторинг, использование и охрана вод». – Алматы, 2008. – С. 183-187.
9. **Макаров, А.А.** Устройство для манжетного тампонирувания фильтровой колонны геотехнологической скважины. [Текст] / А.А. Макаров. – Бишкек: Известия Вузов, № 7, 2012. – С. 13–16.
10. **Макаров, А.А.** Параметры устройства для манжетного тампонирувания фильтровой колонны геотехнологических скважин на заклю-

чительной стадии [Текст] / А.А. Макаров.// Бишкек: Наука и новые технологии, № 2, 2013. – С. 57–60.

11. **Макаров, А.А.** Экспериментальная установка для исследования параметров течения тампонажных растворов технологических скважин [Текст] / А.А. Макаров // Бишкек: Известия Вузов, № 2, 2013. – С. 7–9.

12. **Макаров, А.А.** Исследования экспериментальной установки для манжетного технологических скважин [Текст] / А.А. Макаров // Известия Высших Учебных заведений «Горный журнал». – Екатеринбург, № 8, 2016. – С.40–49.

13. **Макаров, А.А.** Результаты испытаний устройства для манжетного тампонирувания геотехнологических скважин [Текст] / А.А. Макаров : Вестник ПНИПУ. Геология: Нефтегазовое и горное дело. – Пермь, Т.15, № 21, 2016. – С. 304–312.

**«Технологиялык скважиналардын чыпкалоочу мамыларынын кайырмасын тыгындоо үчүн түзүлүштү иштеп чыгуу» деген темадагы  
Макаров Александр Анатольевичтин 05.05.06 – Тоо машиналары  
адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты даражасын  
изденип алууга жазылган диссертациясынын  
РЕЗЮМЕСИ**

**Ачкыч сөздөр:** скважина, ныктоочу мамы, чыпкалоонун үстү жагы, бекемдик чеги, тыгуу басымы.

**Изилдөө объекти** – технологиялык скважиналарды тыгындоо процесси.

**Изилдөөнүн предмети** – геотехнологиялык скважиналардын чыпкалоочу мамыларынын кайырмасын тыгындоо үчүн түзүлүш

**Илимий иштин максаты:** Технологиялык скважиналардын чыпкалоочу мамыларынын кайырмасын тыгындоо үчүн алардын курулушунун натыйжалуулугун жогорулатуучу түзүлүштү иштеп чыгуу.

**Изилдөөнүн ыкмалары жана аппаратурасы.** Изилдөөлөрдү жүргүзүүдө төмөндөгүдөй методдор колдонулду: адабий булактардын анализи, технологияларды аналитикалык жана эксперименттик изилдөөлөр. Изилдөөдө скважинанын чыпкалоочу бөлүгүн туураган эксперименттик түзүлүш, өлчөөчү идиш, манометр, дроссель краны бар штуцер колдонулду.

**Алынган жыйынтыктар жана алардын илимий жаңылыгы.** Геотехнологиялык скважиналардын чыпкалоочу мамыларынын кайырмасын тыгындоо үчүн технологиялык скважиналардын диаметрин негиздүү кичирейтүүнүн эсебинен бургулоонун энергияны сарптоосун жана тыгындоочу материалдардын чыгымдарын олуттуу төмөндөтүүгө жардам берген жаңы түзүлүш иштелип чыкты. Цемент материалдарын тыгындоо зоналарына жеткирүүнү, кийин скважинанын чыпкалоочу зонасына ченөөчү аппаратуранын түшүрүүгө мүмкүндүк берүүнү камсыздаган түзүлүштүн параметрлери негизделди. Жаңы түзүлүш мурдагы белгилүү түзүлүштөрдөн айырмаланып чыпкалоочу зонанын үстүнө тыгындоочу аралашманын тегиз жатышын жана аны ныктоочу мамынын көндөйү жана цементтөөдөн кийин скважинанын чыпкалоочу зонасынын үстү жагы герметизация болгондой кылып, 4төн кем эмес тегерек тешиктүү түзүлүштүн бөлүштүрүүчү түйүнү аркылуу берилишин камсыздаары аныкталды.

**Колдонуу даражасы:** Геотехнологиялык скважиналардын чыпкалоочу мамыларынын кайырмасын тыгындоо үчүн түзүлүш Казакстан Республикасынын Батыш Миңкудук кен жатагында колдонулду.

**Ишке киргизүү тармагы:** геологиялык чалгындоо жана геотехнологиялык скважиналарды бургулоо.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Макарова Александра Анатольевича на тему  
«Разработка устройства для манжетного тампонирования  
фильтровой колонны технологических скважин»  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.05.06 – Горные машины

**Ключевые слова:** скважина, обсадная колонна, надфильтровое пространство, предел прочности, давление нагнетания.

**Объект исследования** – процесс тампонирования технологических скважин.

**Предмет исследования** – устройство для манжетного тампонирования фильтровой колонны геотехнологических скважин

**Цель работы:** Разработка устройства для манжетного тампонирования фильтровой колонны технологических скважин, повышающее эффективность их сооружения.

**Методы исследования и аппаратура.** При проведении исследований были использованы следующие методы: анализ литературных источников, аналитические и экспериментальные исследования технологии. В исследовании использовались экспериментальная установка, имитирующая прифильтровую часть скважины, мерная емкость, манометр, штуцер с дроссельным краном.

**Полученные результаты и их новизна.** Разработано новое устройство для манжетного тампонирования фильтровой колонны геотехнологических скважин, позволяющее существенно снизить энергоемкость бурения и затраты на тампонажные материалы за счет обоснованного уменьшения диаметра технологических скважин. обоснованы параметры устройства, обеспечивающие доставку цементного материала в зону тампонирования с последующим доступом в фильтровую часть скважины измерительной геофизической аппаратуры. Установлено, что новое устройство, в отличие от известных, обеспечивает равномерное распределение тампонажного раствора в надфильтровой зоне и его подачу через внутреннее пространство обсадной колонны и распределительный узел устройства, имеющий не менее 4-х радиальных отверстий, и выполненный с возможностью герметизации надфильтровой части скважины после окончания цементирования.

**Степень использования:** Устройство для манжетного тампонирования фильтровой колонны геотехнологических скважин использовано на месторождении Западный Мынкудук Республики Казахстан.

**Область применения:** бурение геологоразведочных и геотехнологических скважин.

## SUMMARY

**of dissertation of Makarov Alexandr Anatolyevich on the theme  
"The designing of device for soft-packing tamponation filters technological holes" for the degree of candidate of technical sciences, specialty  
05.05.06. – Mining machinery**

**Keywords:** well, a casing tube, overscreen zone of holes, total loss the pressure of movement the grouting mortar.

**The object of research** is qualitative soft-packing tamponation filters geotechnological holes.

**The subject of research** is device aimed for designing the soft-packing tamponation filters of the technological holes.

**Objective:** Creation of the soft-packing tamponation filters of a part of hydro-geological and geotechnological wells maintaining sandy and water productive layers.

**Research methods and instruments.** At carrying out the research the following methods of research where applied: literary sources analysis and patent research. The experiments used a volumetric capacity, pressure gauge, fitting with the throttle valve, the pressure pipeline.

**The results and novelty.** Developed a new device that allows you to significantly reduce the energy intensity of drilling and the cost of backfill materials with sound reducing diameter production wells.

The parameters of the device to the lip of casing, ensuring delivery of cement material in the zone of plugging with subsequent access to the filter portion of the borehole geophysical measuring equipment.

It is established that a new device in contrast to the known provides uniform distribution of cement in overscreen zone and to flow through the inner space of the housing and the hub device, with at least 4 radial holes and adapted to seal overscreen zone from the well, after cementation.

**Extent of use:** The device for cuff plugging the filter column of geo-production wells used in the field West Mynkuduk of the Republic of Kazakhstan..

**Applications:** drilling of prospecting and geotechnological wells.





Подписано в печать 19.10.17.  
Формат 60×84<sup>1/16</sup>  
Офсетная печать. Объем 1,0 п.л.  
Тираж 100 экз. Заказ 191.

Отпечатано в типографии КРСУ  
720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2