

**АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА**

*На правах рукописи*

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СВОЙСТВ БУРОВЫХ  
РАСТВОРОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ  
СКВАЖИН**

Специальность: 2523.01– «Технология бурения скважин»

Отрасль науки: Технические науки

**Исмаилов Фуад Назим оглы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора философии

**Баку – 2021**

Диссертационная работа выполнена в проблемной лаборатории «Техника и технология бурения наклонных и горизонтальных скважин» НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор **Н.Э. Зейналов**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук **И.Я.Ширали**

кандидат технических наук

**С.И. Эйюбов**

кандидат технических наук

**П.М. Гулизаде**

Диссертационный совет ED 2.03 Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики, действующий на базе Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

**Председатель диссертационного совета:** доктор технических наук, профессор **Т.Ш. Салаватов**

**Ученый секретарь диссертационного совета:** доктор философии по технике, доцент **Е.Е. Шмончева**

**Председатель научного семинара:** доктор технических наук, профессор **Э.М. Сулейманов**

## ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Современное состояние мировой практики разбуривания скважин обнаруживает, что с проектированием и созданием новых образцов техники и принципов технологии освоения для нефтегазовых месторождений важное место заняли технологии бурения горизонтальных скважин для эксплуатационных целей.

Перспективность данной технологии можно объяснить тем, что технология позволяет не только повысить дебит скважин, но и увеличить их срок эксплуатации.

Наибольшая эффективность строительства горизонтальных скважин наблюдается в коллекторах с небольшой продуктивной толщей от 10 до 100 метров, большим простиранием от 500 метров до более 1000 метров.

В таких условиях даже при одинаковых дебитах, если сравнивать с вертикально направленными или наклонно-направленными скважинами, горизонтально пробуренная скважина будет создавать гораздо меньшую нагрузку на единицу площади коллектора.

Учитывая приличный производственный опыт в бурении наклонно - направленных скважин Каспийского шельфа и на суше Абшеронского полуострова государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики SOCAR, исходя из геологических условий строительства нефтяных и газовых скважин и опираясь на высокие экономические показатели, делает акцент на дальнейшее развитие бурения горизонтальных скважин в Азербайджане.

Исходя из представленной информации, поставленные и решенные задачи данной диссертационной работы актуальны, своевременны, имеют научную новизну, содержат практическую ценность.

**Цель работы и задачи исследования.** Целью представленной диссертационной работы является повышение качества бурения горизонтальных скважин за счет

усовершенствования технологических мероприятий и составов буровых растворов, и создания новейших технических средств.

В представленной диссертационной работе были определены следующие основные задачи исследования:

- разработать оптимальный профиль горизонтальных скважин;

- разработать технические средства для реализации проектного профиля;

- разработать ряд мероприятий для повышения значений механической скорости проходки скважин;

- разработать состав бурового раствора для промывки горизонтальных участков скважин;

- разработать конструкцию диспергатора для воздействия на реологические свойства буровых растворов;

- разработать устройство, для приготовления быстросхватывающей смеси в горизонтальных скважинах .

**Методы исследований.** В данной работе для решения поставленных задач были применены известные статистические методы и программы обработки данных и анализа информации, корреляционного анализа и принятия решений.

**Защищаемые положения:**

- принципы проектирования оптимального профиля горизонтальных скважин;

- конструкции центраторов для реализации участков профиля горизонтальной скважины;

- конструкция диспергатора для изменения реологических свойств бурового раствора.

- конструкции технических средств, которые можно применить в процессе цементирования горизонтальных скважин

**Научная новизна:**

- предложена методика расчета оптимального профиля горизонтальных скважин.

- разработан ряд технических средств для реализации проектного профиля;

– предложены добавки к буровым растворам, а так же процентное содержание добавок для бурения горизонтальных интервалов скважин.

– разработана и предложена конструкция диспергатора для воздействия на реологические свойства буровых растворов.

– разработаны конструкции технических средств для эффективного цементирования горизонтальных скважин.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.** В результате использования предложенных разработок в проектных организациях и производственных объединениях повысится эффективность и качество процессов проектирования и бурения горизонтальных скважин на шельфе и суше Азербайджана.

**Апробация работы и публикации.** Основные положения диссертационной работы докладывались на пяти международных конференциях.

- II Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения», Краснодар – 31 марта 2018.

- XXI Международной научно-практической конференции «World Science: Problems and Innovations», Пенза - 30 мая 2018.

- Международной конференции посвященной 90-летию юбилею Академика А.Х.Мирзаджанзаде "Современные проблемы инновационных технологий в нефтегазовой продукции и прикладной математике", Баку – 13-14 декабря 2018.

- III Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения», Краснодар – 31 марта 2019.

Основное содержание диссертации изложено в 18 научных работах, из которых 12 статей (4 статьи опубликованы за рубежом (РИНЦ), 1 статья в Web of science) и 6 в материалах международных научно-технических конференций (3 тезиса опубликованы за рубежом).

**Применение исследований.** В результате внедрения предложенных разработок, в частности программного обеспечения для проектирования профиля и компоновок для его

реализации на месторождении «Гюнешли» получен экономический эффект в размере 467083,54 манат.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, а также списка использованной литературы. Работа содержит 175 страниц, включая 5 таблиц и 37 рисунков. Список литературы содержит 120 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность коллективу проблемной лаборатории «Техника и технология бурения наклонных и горизонтальных скважин» и лично научному руководителю доктору технических наук, профессору Н.Э. Зейналову за ценные советы и помощь при подготовке диссертационной работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность работы.

**Первая глава** диссертации посвящена анализу научно-технической литературы, материалов компаний и публикаций.

Обосновано применение технологии горизонтальных скважин в Азербайджане. В разные годы отдельные районы Азербайджана были исследованы большим количеством поисково-разведочными скважинами, однако в силу сложности геологического строения районов и неправильного выбора местоположения проектных разведочных вертикальных скважин не были вскрыты многие нефтегазовые объекты.

Было установлено, что вести разработку перспективных месторождений традиционными наклонно направленными или вертикальными скважинами не целесообразно вследствие не высокой мощности продуктивных пластов. Откуда был сделан единственный правильный вывод - проектировать строительство на этих месторождениях эксплуатационных горизонтальных скважин.

В разделе показано, что мировые нефтяные компании применяют технологию горизонтальных скважин, осознавая перспективность и экономическую выгоду, которую можно получать при долгосрочной эксплуатации месторождений.

Последние десятилетия характеризуются существенным ростом количества скважин с большим отклонением от вертикали. Уже были образцы благополучного практического строительства таких скважин - в Азербайджане, в Западной Сибири, Башкирии, Сахалине, Казахстане и Вьетнаме.

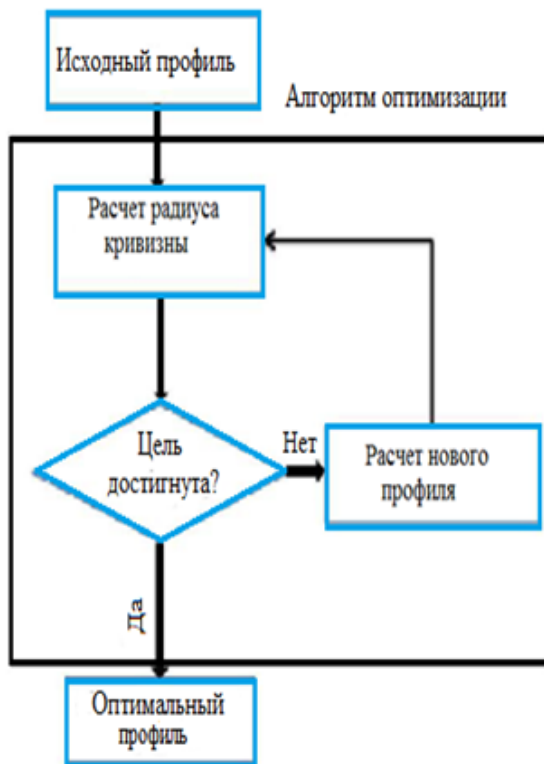
Ряд исследований был посвящен вопросам разработки и совершенствования технологии проектирования и строительства таких скважин. Были сделан следующий вывод, что наиболее важный технологический аспект строительства горизонтальных скважин – это степень обеспечения высокотехническими средствами, такими как механизмы искривления стволов скважин (роторная система РС) и современными средствами контроля забойных параметров (т.е. зенитным углом, азимутальным углом направления), а также возможность применения специального раствора для понижения сил трения и адгезии и специального оборудования для регулирования реологических свойств бурового раствора.

**Вторая глава** посвящена разработке технических устройств и технологических принципов бурения скважин с горизонтальным участком.

Оптимизационная задача построения профиля является первостепенной и формулируется как минимизация функциональной зависимости параметрической кривой, с элементами соединяющие устья скважины и продуктивный пласт.

Решением такой задачи является predetermined соединение геометрических параметров, которые могут обеспечить беспрепятственный спуск продуктивной колонны в заданную область. При этом в расчет берется ряд заданных технологических ограничений.

В работе использован метод численной оптимизации профиля скважин. Его структурная схема приведена на рис.1.



**Рисунок 1. Прямой метод численной оптимизации**

Для оптимизации и определения интенсивности искривления скважины используются две модели: модель зависимости значений протяженности горизонтального интервала от значений интенсивности искривления и модель влияния радиуса кривизны скважины на длину вертикального участка.

Учитывая, что при прямом методе требуется проводить расчет отдельных участков характеризующих профиль, то при предпочтении методов их расчета преимущество надлежит предоставить тому методу, в котором берутся в расчет все свойства переходов участков профиля при малых, средних и



больших значениях радиусах кривизны искривленных участков. Вместе с этим сам метод, а так же алгоритм расчета должны быть обоснованы эффективностью и экономичностью. Самой распространенной моделью является расчет профиля, в котором решаются все задачи необходимые при анализе профилей горизонтальных скважин. Сначала рассчитываются параметры вертикального участка. Для этого используется исследование зависимости между значением длины вертикального участка и значением протяженности горизонтального участка.

Для выявления интенсивности искривления скважины используется зависимость значений протяженности горизонтального интервала от значений интенсивности искривления. Учитывается также влияние радиуса кривизны скважины на длину вертикального участка.

Для параметризации профиля при оптимизации применим аналитические и полиномиальные функции.

Сущность такой процедуры сводится к описанию искривленного участка профиля функцией принимающий следующий вид:

$$y = y_{\text{баз}} + \sum_{j=1}^N (a_j f_j(x))$$

где

$f_j(x)$  - параметрическая функция,

$N$  - количество переменных,

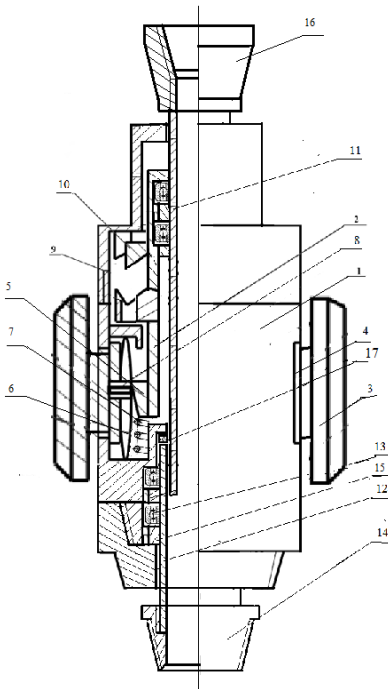
$a_j$  - переменная,

$y_{\text{баз}}$  - ордината участка с кривизной.

В качестве алгоритма оптимизации использовался так называемый генетический алгоритм. Этот алгоритм относится к численной оптимизации с помощью стохастического метода. При построении новой геометрии профиля в нем применяются: возможные изменения проектных параметров, выбор профилей с лучшими показателями целевых функций, возможные появления новых значимых переменных, возникших на основе

существующих, на практике линейных комбинаций построения профилей скважины.

В диссертационной работе приводятся примеры оптимизации профиля описанным выше методом. Для оптимизации исходных профилей применялись распространённые профили, рассчитанные с помощью установившихся прямых методов оптимизации. Оптимизация достигается выбором разнообразных критериев оптимизации, возможно одного или нескольких.



**Рисунок 2. Центратор**

Вторым важным этапом является решение задачи искривления скважин горизонтального типа с помощью центратора с изменяющимся диаметром и свободно вращающимся вокруг собственной оси. Центратор представлен на рис. 2.

Отличительная особенность предлагаемого центратора заключается в том, что центрирующие планки имеют возможность перемещаться с помощью толкателя, связанного со штоком и цилиндрической пружиной спиральной формы, воздействуя на возвратную пружину, жестко связанную с держателем центрирующей планки. Корпус центратора свободно вращается на подшипниках для использования его при роторном бурении.

Центратор с изменяющимся диаметром со свободным вращением вокруг собственной оси, содержит корпус 1 со штоком 2 внутри, четыре центрирующие планки 3, каждая установлена в разьеме корпуса 4, узел перемещения

центрирующих планок, содержит толкатель 5, жестко связанный со штоком 2, цилиндрическую пружину 6, жестко связанную с усеченной частью толкателя 5, возвратную пружину 8, жестко связанную с держателем центрирующих планок 7, упирающихся в основание толкателя, полый первый вал для вращения центратора 11, второй полый вал для вращения 12, подшипники скольжения 13, муфта замок для соединения с бурильными трубами 14, стопорные кольца на продольное перемещение 15, муфта замок для соединения с бурильными трубами или с долотом 16, сальник для герметизации меж валовых перемещений 17, механизм перемещения толкателя 9, установленный в верхней части центратора, встроенный в механизм удержания 10.

Изменить диаметра разработанного центратора в процессе бурения осуществляется таким путем. Создается осевая нагрузка на долоте, воздействующая на механизм управления центратором, в результате чего сжимается пружина, установленная на штоке внутри корпуса при этом механизм фиксации положения расположенный в верхней части предложенного центратора отводится от фиксированного положения. И с помощью механизма смены положения за счет направляющих переводит механизм управление на новое место, где с помощью конусных толкателей освобождают возвратную пружину и закрепленные на ней центрирующие планки вдвигаются внутрь разработанного центратора и фиксируют измененный и уменьшенный его размер диаметра.

При дальнейшем бурении при необходимой нагрузке порядка 8-12 кН механизм фиксации остается в новом положении и надежно фиксирует диаметр разработанного центратора до следующего технологического искривления участка горизонтальной скважины.

В процессе бурения важное, значение имеет задача оперативного управления траекторией ствола скважины. Предложенный нами центратор с изменяющимся диаметром и вращающийся свободно вокруг собственной оси позволяет управлять зенитным углом во время бурения за счет создания

отклоняющей силы при реализации профиля горизонтальной скважины.

В диссертационной работе также проводились исследования траектории движения долот и КНБК с учетом анизотропии породы. При бурении скважины под воздействием различных факторов долото и забойный двигатель движутся по определенной траектории. Завися от геологических условий бурения, траектория оси скважины имеет плоскостную и пространственную формы. Для того, чтобы произвести расчет траектории движения долота с забойным двигателем в разное время были проведены многочисленные исследования. Однако оказалось, что есть необходимость в аналитических исследованиях расчета траектории движения долота в пространстве с учетом анизотропных свойств.

Данная проблема была изучена в диссертационной работе и получено математическое уравнение пространственной траектории.

Были сделаны некоторые выводы. Если способность разрушения пород долотом в осевом и радиальном направлениях одинакова, то бурение в изотропных породах происходит в направлении силы, действующей на долото. Если же долото не способно разрушить породу в радиальном направлении, то бурение в изотропных породах будет происходить в направлении поворота оси долота. При равенстве угла залегания пласта и зенитного угла, азимут скважин, которые бурятся в направлении подъема пласта, остается постоянным, во всех остальных случаях – азимут увеличивается. Если угол залегания пласта превышает зенитный угол, азимут скважин, которые бурятся в направлении левого и правого залегания пласта, уменьшается, в остальных случаях, и в случае бурения в направлении спуска скважины – азимут увеличивается.

Для рациональной отработки долот были проведены испытания, позволившие определить влияние основных режимных параметров (нагрузка на долото, число оборотов, расход жидкости) на износ инструмента.

После проведенных испытаний было установлено, что бурение со средними показателями режимных параметров наиболее рационально и оказывает меньшее влияние на износ бурового инструмента.

Результаты лабораторных исследований были использованы для выявления влияния основных режимных параметров (нагрузки на долото, числа оборотов, расхода жидкости) на износ инструмента. Для каждого режимного параметра были определены аналитические выражения для определения износа инструмента.

Учитывая влияние количества промывочной жидкости на очистку забоя и на механическую скорость бурения, а также используя экспериментальные данные и учитывая зависимость уменьшения механической скорости от дифференциального давления, были выведены более точные аналитические зависимости.

**В третьей главе** исследованы свойства буровых растворов на горизонтальных интервалах и разработано техническое устройство для управления плотностью буровых растворов.

Как известно, стволы горизонтальных скважин могут состоять из следующих интервалов: верхнего вертикального, среднего наклонно-направленного и нижнего горизонтального. Верхний вертикальный и средний наклонно-направленный интервалы ствола горизонтальной скважины бурятся обычным способом (роторным способом или глубинным двигателем). А бурение третьего горизонтального интервала скважины осуществляется с учетом некоторых дополнительных требований, как к технологии бурения, так и к реологическим свойствам растворов, которые используются для бурения скважины. Буровые растворы, которые применяют при бурении горизонтальной части горизонтальной скважины, относят к решениям, предопределенным для бурения скважин в сложных геологических и физических условиях.

Строительство горизонтальных скважин имеет отличительную особенность от вертикальных и слабо пологих скважин тем, что при разбуривании горной породы, шлам,

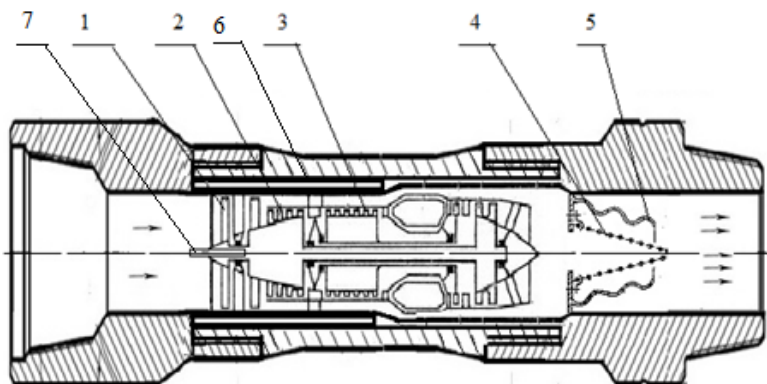
выносимый на дневную поверхность, оседает на горизонтальных или переходных участках ствола горизонтальных скважинах создает засор, превращающийся в пробку препятствующую продвижению бурового раствора, и способствующий прихвату бурильного инструмента. Решением данной проблемы может стать обоснованный выбор параметров оптимального режима бурения конкретного искривленного участка, ствола горизонтальной скважины. Который должен учитывать реологические параметры бурового раствора, осевую нагрузку на долото, значение давления насосов закачивающих промывочную жидкость и конечно геологию разбуриваемого пласта.

В литературных источниках подробно описан принцип снижения или подъема плотности бурового раствора пенообразованием. Там же приводится устройство для формирования пузырьков в буровом растворе при помощи электромотора специального назначения, изменяющего плотность промывочной жидкости. Основным недостатком этого устройство представляется то, что к мотору нужно подводить электричество посредством кабеля, что в итоге приведет к определенным проблемам, учитывая глубину скважины.

Аналитический обзор литературных и патентных источников позволил установить недостатки и преимущества у известных устройств, которые предназначаются для приготовления буровых многофазных растворов. По сравнительным результатам анализа работоспособности исследуемых устройств, была предложена новая конструкция диспергатора.

В диссертационной работе представлено разработанное устройство, формирующее турбулентный поток, который способствует пенообразованию в самом буровом растворе изменяющий его плотность за счет давления насосов и изменения значений скоростей движения раствора.

Разработанный диспергатор для изменения и управления реологическими свойствами бурового раствора в ходе бурения скважин с горизонтальными интервалами представлен на рис. 3.



**Рисунок 3. Диспергатор для изменения и управления параметрами бурового раствора**

1-жидкостной компрессор первичного контура; 2- компрессор с турбинами низкого давления; 3-компрессор с турбинами высокого давления, 4- вибратора, 5- активатор, 6- цилиндрический аккумулятор, 7- датчик давления

Конструктивно диспергатор состоит из двух секций. Первой секция турбинная, где под действием закачиваемого бурового раствора осуществляется вращение ротора, который увеличивает турбулентность потока промывочной жидкости. Вторая секция – активаторная. В ней турбулентный поток переходит в ламинарный поток с образованием большого количества пузырьков в буровом растворе, последнее предполагает снижение его плотности.

Это объясняется тем, что под действием полученного высокоскоростного турбулентного потока буровая жидкость нагнетается во вторую секцию, где с помощью упругих элементов вибратора и активатора весь поток разбивается на множество мелких, тем самым снижая его интенсивность и выравнивая поле скоростей с образованием множества

пузырьков. Упругие элементы выполнены по виду вибраторов и активаторов и смонтированы прямо на выходе из корпуса диспергатора.

Корпус диспергатора имеет форму патрубка бурильной трубы. Размеры – диаметр, длина устройства - зависят от интервала бурения горизонтального участка, где есть необходимость использования данного устройства для поддержания нужного значения плотности бурового раствора.

Конструктивные особенности разработанного диспергатора создают условия, ведущие к образованию пузырьков в турбулентно движущемся буровом растворе, что часто приводит к интенсивному воздействию на его плотность во время бурения горизонтальных скважин.

Принцип работы диспергаторов закладываются в зависимости от функционального назначения, но главная их задача изменение свойств жидкости в процессе действия на ее структуру.

Новизна устройства в том, что внутри корпуса установлена секция для повышения скорости турбулентного потока, обеспечивающая полное прохождение растворов во вторую секцию для перехода в новое качество ламинарный поток с помощью вибраторов и активаторов, образующих пузырьки и приводящие к пенообразованию.

Предлагаемое устройство располагается непосредственно возле участка со сложными геологическими условиями, где есть необходимость в оперативной модификации плотности бурового раствора.

В третьей главе также представлены исследования влияния добавки гидроксиэтилцеллюлозы (ГЭЦ) на высоту слоя шлама в горизонтальном стволе. Знание количества бурового шлама в горизонтальном стволе скважины необходимо для контроля давления в стволе скважины, предотвращения заклинивания трубы и для минимизации времени циркуляции для очистки ствола скважины. Поэтому очень важно улучшить прогнозирование слоя шлама, что поможет в процессе принятия решений во время бурения и минимизирует количество



возникающих проблем. Для исследования высоты шламовой «подушки» были проведены экспериментальные исследования с буровыми растворами различной вязкости и скоростью потока.

Была разработана экспериментальная установка, в которой тестируемая секция поддерживается в горизонтальном положении или слегка наклонена под некоторым углом. Испытательная секция длиной 6 м с наружным диаметром 0,06 м и внутренним диаметром 0,0545 м сконструирована так, чтобы можно было менять угол наклона. Канал выполнен из прозрачной трубы из ПВХ, которая соединена с обоих концов к съемным стальным соединениям длиной 1,75 м и 3,25 м соответственно, т.е. сама труба ПВХ имеет длину 1,0 м.

Установка оснащена расходомером, который подключен к компьютеру для онлайн-отображения значений и записи. Были использованы вискозиметр и смеситель.

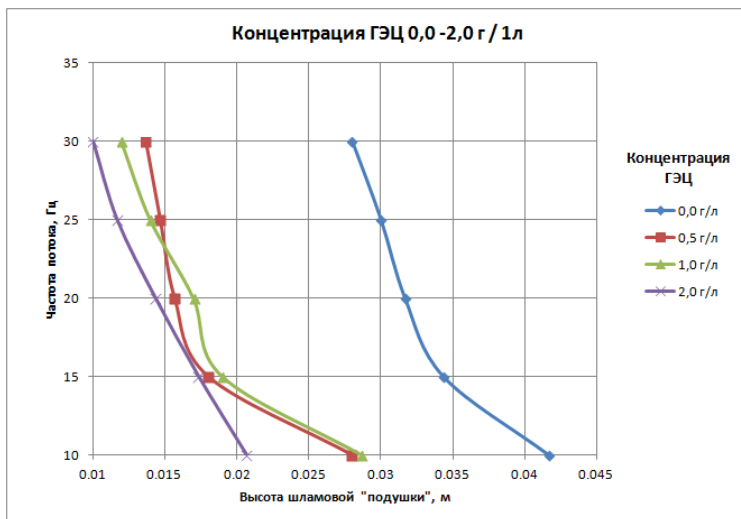
Основная цель эксперимента состояла в том, чтобы наблюдать и фиксировать высоту шламового слоя. Основной задачей было определить время, необходимое для формирования стабильной высоты шламового слоя, а затем измерить высоту слоя. Температура раствора поддерживалась в пределах комнатной.

Твердожидкую смесь прокачивали через горизонтальную секцию трубы и контролировали параметры: частоту потока (Гц), высоту шламового слоя (м) и время (t) циркуляции.

В опыте использовалась добавка гидроксипропилцеллюлозы (ГЭЦ) в различной концентрации (0; 0,5; 1,0; 2,0 г/л). Смесителем смешивали раствор с ГЭЦ до нужной консистенции. Раствор со шламом закачивали в испытательную трубу. Жидкость закачивалась с разной скоростью. Шлам, оседая на стенке трубы, образовывал «подушку». Измеряли время, необходимое для ее формирования и высоту. Полученный результат был записан, проанализирован и сравнен с результатом, полученным из теоретических предположений.

При сравнении экспериментальных значений высоты шламовой «подушки» с результатами, полученными из теории, мы получили согласованность результатов.

Результаты эксперимента представлены на рис.4.



**Рисунок 4. Сравнительная диаграмма для различных концентраций ГЭЦ**

При концентрации 0,0 г/л было получено наибольшее значение высоты шламовой подушки, наименьший - при концентрации 2,0 г/л. Однако высота шламовой «подушки» при низком значении расхода больше, чем при высоком значении расхода. Это характерно для всех экспериментов. При этом оптимальное значение расхода находится в диапазоне 30-40 л/мин для всех концентраций, кроме 0,0 г/л.

Недостаточная очистка ствола скважины может вызвать несколько проблем, таких как: заклинивание труб, потеря циркуляции, высокий крутящий момент и сопротивление, потеря контроля над плотностью, плохая работа с цементом и т.д.

Исследования по транспортировке шлама ведутся с 1940-х годов. Первоначальные исследования были сосредоточены на изучении предельной скорости для однофазных буровых растворов, поскольку для большинства скважин предельная скорость была достаточным параметром для решения проблем.

Поскольку интерес к наклонным и горизонтальным скважинам увеличился, исследования были перенесены на экспериментальные подходы и механистические модели, пытающиеся объяснить явление переноса для всех углов наклона ствола скважины

Важными фундаментальными факторами в транспортировке твердых частиц (шлама) являются сила сопротивления, которую оказывает жидкость на частицы, и способность жидкостей поднимать такие частицы, которая называется силой подъема. Оба фактора являются сложными функциями скорости потока, формы частиц, степени турбулентности и взаимодействия между частицами и трубой.

Сила сопротивления - это сила, которая действует параллельно и противоположно поступательному движению объекта, тогда как сила подъема прилагает силу, нормальную к движению частиц.

Было решено провести эксперимент и проанализировать его результаты для определения коэффициента сопротивления в зависимости от числа Рейнольдса.

Это, например, важно для оценки скорости осаждения частиц, которая является параметром, необходимым для предотвращения различных последствий переноса частиц осаждения и отложений в трубопроводах.

В большом числе исследований сообщается о существующих сложностях теоретического моделирования в зависимости от коэффициента сопротивления.

Эта проблема состоит в том, что коэффициент сопротивления не может быть выражен в аналитической форме в режиме турбулентного потока, поскольку условия потока во время процесса слишком сложны.

Это соотношение может быть получено экспериментально в форме диаграмм и таблиц путем наблюдения скорости осаждения в неподвижных жидкостях или путем измерения сопротивления частиц в жидкостях.

Ввиду быстрого и успешного роста разработок компьютерных и программных приложений, числовые данные

из диаграмм и таблиц, представляющих взаимосвязь, не будут практичными для быстрого вычисления. Было предпринято несколько попыток эмпирически выразить эту связь, чтобы расширить диапазон прогнозирования для точной оценки коэффициента сопротивления в зависимости от числа Рейнольдса.

До сих пор большинство эмпирических выражений не были удовлетворительными. Только несколько эмпирических попыток, хотя они действительны для ограниченных диапазонов чисел Рейнольдса, представляют приемлемые результаты коэффициента сопротивления.

В этой исследовательской работе основное внимание уделялось коэффициенту сопротивления по отношению к числу Рейнольдса. Коэффициент сопротивления и число Рейнольдса были воспроизведены экспериментально. Результаты экспериментальной работы сравнивались с теоретическими значениями, чтобы понять, совпадают ли их результаты.

Для эксперимента использовались четыре различных диапазона размера частиц шлама. В качестве ньютоновской жидкости во время эксперимента была использована вода. Были также заранее подготовлены четыре различные жидкости степенного закона, представляющие неньютоновские жидкости. Эти жидкости были получены путем добавления в буровой раствор добавки гидроксипропилцеллюлозы (ГЭЦ) в разных пропорциях, с целью изменить реологию жидкости, делая ее степенной жидкостью частиц.

Частицы одного размера были отобраны с помощью ситового анализа сухого шлама.

Четыре раствора с ГЭЦ были подготовлены заранее. Для создания степенных жидкостей ГЭЦ добавляли в сосуд, уже заполненный надлежащим количеством бурового раствора и позволяющий свободно перемешивать раствор. Перемешивание вели в течение примерно одного часа после добавления, и смесь оставляли на 24 часа для полной ее гидратации. Перед испытанием смесь снова перемешивали в течение 10 минут,

отбирали образец для реологических измерений и начинали испытание.

**Четвертая глава** посвящена вопросам цементирования горизонтального участка горизонтальных скважин. Немаловажным при строительстве эксплуатационных горизонтальных скважин является процесс заканчивания скважин, в данное время он может быть представлен открытым стволом, спущенным перфорированным хвостовиком или спущенной эксплуатационной колонной.

В работе рассмотрено определение допустимого зазора в межколонном пространстве для полного заполнения его цементным раствором, а также выявлена необходимость установить по всей длине эксплуатационной колонны на замковых соединениях специальные комбинированные центраторы.

Каждая из приведенных схем заканчивания скважин имеет и положительные, и негативные факторы, влияющие и на дебит, и на сроки эксплуатации горизонтальных скважин.

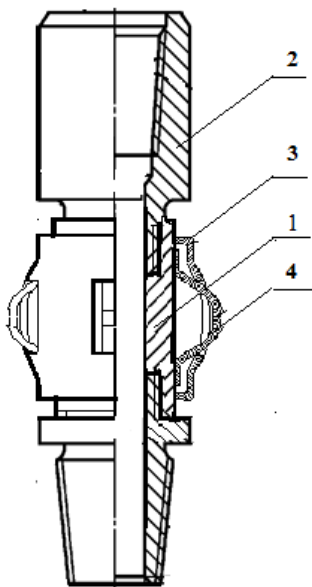
Остановимся на схеме заканчивания скважин с помощью цементирования эксплуатационной колонны. Учитывая, что процесс цементирования эксплуатационной колонны будет проходить на горизонтальном участке необходимо принять следующие меры. Одной из главных мер, является необходимость на всей длине эксплуатационной колонны на замковых соединениях установить специальные комбинированные центраторы, так как известные традиционные упругие центраторы в этих условиях малоэффективны.

Для эффективного цементирования горизонтального участка необходимо создание центратора обеспечивающего надежное центрирование и исключение аварийных ситуаций.

Поставленная задача решена разработанным центратором, который состоит из полого корпуса выпуклой формы с прорезными окнами. Во внутренней части корпуса расположен патрубок с двумя переводниками, установленными для его фиксации от продольных перемещений по обеим торцовым сторонам сверху и снизу. Опорные планки вставлены в

прорезанные отверстия корпуса, они изготовлены из углеродного волокна и свободно могут перемещаться вдоль прорезных окон корпуса центратора, при этом изготовлены из стали патрубков с переводниками, корпус.

Новизна разработанного центратора: в прорезанные окна корпуса нами вставляются опорные планки. Эти планки изготовлены из углеродного волокна и свободно перемещаются во внутренней части корпуса центратора. Сам корпус, патрубок, переводники изготавливаются из стали. Использование такого конструктивного решения позволяет решить поставленную задачу.



**Рисунок 5. Центратор для эксплуатационных колонн при цементировании**

заворачивают второй переводник, который фиксирует всю конструкцию.

На рисунке 5 представлен разработанный центратор, содержащий корпус 3 с прорезными окнами, внутри которых установлены опорные планки из углеродного волокна - 4, патрубок - 1, с переводниками - 2. Последние расположены с двух сторон патрубка.

Центратор работает по такой схеме. На патрубок - 1 наворачивают переводник - 2 и переворачивают патрубок другим концом вверх. Затем в прорезанные окна, корпуса центратора вставляют опорные планки из углеродного волокна- 4 и собранную конструкцию насаживают на свободный конец патрубка - 1 до касания или упора переводника - 2. Потом сверху для полной фиксации

Собранный таким образом центратор с планками наворачивают на эксплуатационную трубу, которая будет находиться на горизонтальном участке и все вместе опускают внутрь обсадной колонны, находящейся в скважине. Пройдя сквозь обсадную колонну большого диаметра, центратор выйдет в необсаженный горизонтальный ствол скважины, и опорные планки из углеродного волокна займут положение на нижней стенке горизонтальной скважины, тем самым будут, центрировать эксплуатационную колонну внутри скважины относительно ее оси для качественного цементирования горизонтальной скважины.

Другой немаловажной проблемой является приготовление цементного быстросхватывающего раствора обладающего повышенными требованиями в условиях горизонтального участка горизонтальной скважины.

К наиболее известным устройствам, приготавливающим быстросхватывающие смеси в скважине, используется устройства, состоящего из корпуса, в котором концентрично установлена труба, образующую кольцевую камеру с корпусом. Камера заполнена ускорителем схватывания. Размещенный в камере поршень с патрубком для ввода рабочего агента и патрубка для вывода рабочего агента. Внутри корпуса установлен смеситель, а на наружной поверхности – пакер.

Однако промысловая практика цементирования горизонтальных участков скважин показала, что данные устройства имеет ряд довольно существенных недостатков. К числу их можно отнести, что в процессе приготовления рабочего агента в большинстве случаев наблюдается неравномерность дозировки и смешивания реагентов. Это отрицательно сказывается на качестве цементирования.

Наиболее качественное цементирование эксплуатационной колонны, можно, создать с помощью устройства ультразвуковой обработки. Данное устройство, применяемое для получения эмульсий и суспензий, тампонажных смесей, содержащее цилиндрический корпус с крышкой, внутри которого расположено центральное осевое сопло, выполненное в виде

сопла Лавая с закритической расширяющейся выпуклой частью. Известно, что сопло Лавая - это канал, имеющий сужение в середине.

Наряду с большими преимуществами применения устройства ультразвуковой обработки, заложенные в ее конструкции недостатки, не позволяют использовать в горизонтальных скважинах. Это может быть объяснено тем, что в наклонных скважинах интенсифицировать процесс приготовления высоковязких с повышенной дисперсностью тампонажных систем, очень сложно из-за наличия одного сопла Лавая с закритически расширяющейся выпуклой частью, а в горизонтальных скважинах практическое применение данного устройства невозможно.

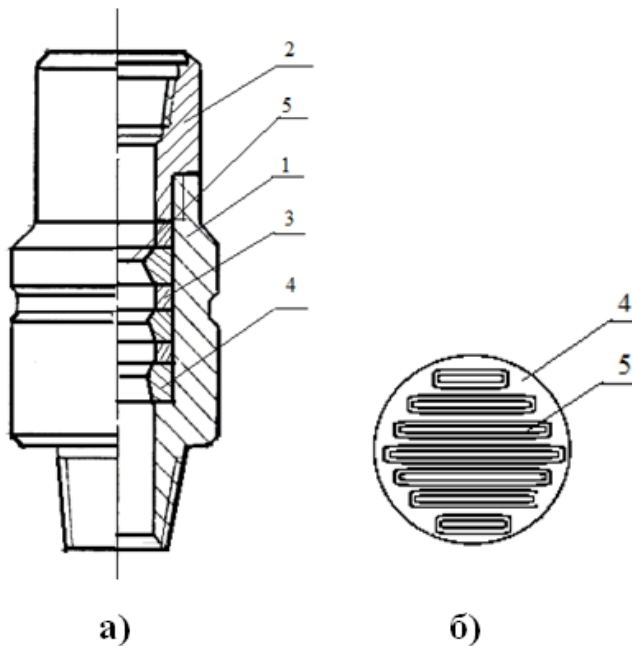
Поставленной задачей была разработка устройства для повышения эффективности диспергации тампонажных систем, при заканчивании горизонтальных скважин. Решение задачи была достигнуто тем, что нами разработано устройство, позволяющее приготовить быстросхватывающие смеси для установки его в горизонтальном участке.

На рисунке 6 представлено это устройство. Устройство включает цилиндрический корпус 1 с переводником 2, внутри которого расположены диски 4 с установленными на них щелями с расширяющейся частью 5, при этом диски, образующие камеры установлены на опорных кольцах 3, прилегающих к внутренней поверхности корпуса.

Габариты разработанного устройства регламентированы внутренним диаметром колонны. Наружный диаметр корпуса устройства равен или меньше диаметра муфты колонны, а его длина не превышает одного метра.

Новизна разработанного устройства - в корпусе нами установлены горизонтальные диски, имеющие щели с расширяющейся частью. За счет щелей на горизонтальных дисках, в момент удара струй жидкости о диски со щелями возникают условия для интенсивного разрушения гидратных оболочек частиц минералов тампонажных систем.





**Рисунок 6. Устройство, приготавливающее быстросхватывающие смеси в горизонтальных скважинах:**  
 а) устройство в сборке, б) диски со щелями

Устройство работает по такому принципу. На внутреннее основание корпуса 1 устанавливают опорное кольцо 3 и на него в горизонтальном положении устанавливают диск 4 со щелями с расширяющейся частью 5. Аналогично устанавливают все диски. В заключительной части сборки конструкции устройства для приготовления быстросхватывающей смеси устанавливают переводник 2.

Собранную конструкцию устройства для приготовления быстросхватывающей смеси в скважине, наворачивают на конец насосно-компрессорной трубы и спускают в скважину в зону горизонтального участка. Во время прокачки тампонажной системы через щели с расширяющейся частью 5, расположенных на дисках 4, происходит процесс удара

высокоскоростных струй жидкости о перпендикулярную плоскость горизонтальных пластин со щелями. При этом создается препятствия свободному выходу потоку тампонажной системы и это повторяется многократно, что способствует интенсивному разрушению гидратных оболочек частиц минералов тампонажной системы и получению высоковязких с повышенной дисперсностью растворов, которые цементируют горизонтальный участок скважины.

Предложенные центратор и устройство позволят надежно и качественно произвести цементирование горизонтальных участков и создадут условия для последующей разработки нефтегазового месторождения с большими объемами добычи углеводородов и длительными сроками эксплуатации.

В конце работы представлены выводы и рекомендации.

## **ВЫВОДЫ**

1. Предложена методика расчета оптимального профиля горизонтальных скважин.

2. Разработан ряд технических средств для реализации оптимального проектного профиля;

3. Исследованы и рекомендованы добавки к буровым растворам в процессе бурения горизонтальных скважин.

4. Разработана и предложена конструкции диспергатора для регулирования и управления реологическими свойствами бурового раствора.

5. Разработаны технические средства для эффективного цементирования горизонтальных скважин.

6. В результате внедрения предложенных разработок, в частности программного обеспечения для проектирования профиля и компоновок для его реализации на месторождении «Гюнешли» получен экономический эффект в размере 467083,54 манат.

**Основные положения диссертации опубликованы в  
следующих работах:**

1. Кузнецов В.А., Велиев Р. Г., Исмаилов Ф.Н. Усовершенствование технических средств для приготовления многофазных буровых растворов в процессе бурения скважин // *Maşınşunaslıq*, № 1, Bakı, 2017, səh. 25-27.

2. Исмаилов Ф.Н. Совершенствование технических средств при бурении горизонтальных скважин. Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 г.): в 5 т. : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенко. – Краснодар: Издательский Дом – Юг. Т. 3: Бурение нефтяных и газовых скважин. – 2018. – стр.138-139.

3. Исмаилов Ф.Н. Разработка технических средств для реализации профиля горизонтальных скважин // Сборник статей XXI Международной научно-практической конференции «World Science: Problems and Innovations» (30 мая 2018 г.) в 2 частях: Пенза. – 2018. – ч.1-стр.195-198.

4. Зейналов Н.Э., Шмончева Е.Е., Кузнецов В.А., Исмаилов Ф.Н. К вопросу о разработке технических средств для регулирования плотности буровых растворов при бурении горизонтальных скважин // *Azərbaycan mühəndislik akademiyasının xəbərləri*, cild 10, № 4, Bakı, 2018, səh. 38-43.

5. Axundov C.S., İsmayılov F.N, Qazıma zamanı üfqi quyu lüləsində kippəclərin yaranması və onların aradan qaldırılması // «Azərbaycan Neft Təsərrüfatı», 2018, № 07-08, səh.20-23.

6. Исмаилов Ф.Н. Требования к буровым растворам при бурении горизонтальных скважин // «Эко Энергетика», № 3, Bakı, 2018, səh. 158-166.

7. Кузнецов В.А., Исмаилов Ф.Н. К вопросу о цементировании горизонтального участка добывающих горизонтальных скважин // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. ВНИИОЭНГ. № 9, Москва, 2018, стр. 30-34.*

8. Исмаилов Ф.Н. К вопросу о перспективах бурения горизонтальных скважин в Азербайджане // «Эко Энергетика», № 4, Bakı, 2018, səh. 69-72.

9. Həsənov İ.Z., Baxşəliyeva Ş.O., Vəliyev R.H., İsmayılov F.N. Quyudibi mühərrikin əyrixətli lülədən qaldırılması üçün əlavə yükün təyini // «Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya» ETİ, Elmi əsərlər

XVIII cild, Bakı, 2018, səh.47-53.

10. Həsənov İ.Z., Vəliyev R.H., İsmayılov F.N. Süxurun anizotropluğu nəzərə alınmaqla qazma vaxtı balta və QKAY-nın hərəkət trayektoriyasının tədqiqi // «Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya» ETİ, Elmi əsərlər XVIII cild, Bakı, 2018, səh.53-63.

11. Кузнецов В.А., Исмаилов Ф.Н. Оптимизация профиля горизонтальных скважин // «Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya» ETİ, Elmi əsərlər XVIII cild, Bakı, 2018, səh.63-72.

12. Kuznetsov V.A., Suleymanov Sh.M., Ismayilov F.N. Development of Technical Means to Regulate the Tightness of Drilling Solutions when Drilling Horizontal Wells // "Modern problems of innovative technologies in oil and gas production and applied mathematics" proceedings of the international conference dedicated to the 90th anniversary of academician Azad Khalil oglu Mirzajanzade. 13-14 December, 2018, Baku, Azerbaijan, p. 468.

13. Shmoncheva Y.Y., Bogopolsky V.O., Ismayilov F.N. Effect Hydroxyethylcellulose on the Size of the Chips' Layer in a Horizontal Well // "Modern problems of innovative technologies in oil and gas production and applied mathematics" proceedings of the international conference dedicated to the 90th anniversary of academician Azad Khalil oglu Mirzajanzade. 13-14 December, 2018, Baku, Azerbaijan, p. 556-557.

14. Шмончева Е.Е., Исмаилов Ф.Н. Устройства для цементирования эксплуатационной колонны на горизонтальном участке Булатовские чтения: материалы III Международной научно-практической конференции (31 марта 2019 г.): в 5 т. : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. - Краснодар: Издательский Дом - Юг. Т. 3: Бурение нефтяных и газовых скважин. - 2019. - стр.129-131.

15. Pza-zade S.A., Veliyev P.G., Bahshaliyeva Sh.O., Ismayilov F.N., Makhmudova V.Z. К вопросу промывки скважин в процессе бурения. // «Эко Энергетика», № 2, Bakı, 2019, səh. 158-166.

16. Шмончева Е.Е., Кузнецов В. А., Исмаилов Ф.Н. Искривление горизонтальных скважин с помощью центратора с изменяющимся диаметром в процессе бурения свободно вращающегося вокруг собственной оси // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. ВНИИОЭНГ. № 10, Москва, 2018, стр. 16-21.

17. Шмончева Е.Е., Кузнецов В. А., Джаббарова Г.В., Исмаилов Ф.Н. К вопросу о рациональном режиме бурения горизонтальных

скважин// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. ВНИИОЭНГ. № 11, Москва, 2019, стр. 17-22.

18. Shmoncheva Y.Y., Ismayilov F.N., Dzhabbarova G.V., Novruzova S.G., Bakhshaliyeva Sh. O. Investigation of the influence of hydroxyethylcellulose additive on drilling mud for purification of horizontal wellbore. Processes of Petrochemistry and oil Refining. Vol. 20, No. 4, 2019, pp.13-21.

### **Личный вклад соискателя:**

Работы [2, 3, 6, 8] – выполнены самостоятельно

Работы [1, 4, 5, 9, 11-18] – исследование, анализ, моделирование, обработка результатов.

Работа [10] - разработка структуры, составление заданий.

Защита диссертации состоится 29 апреля 2021 года в 13<sup>00</sup> на заседании Диссертационного совета ЕД 2.03, действующего на базе Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности

Адрес: г. Баку, ул. Д. Алиевой 227.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Электронная версия диссертации и автореферата размещена на официальном сайте Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Автореферат разослан по соответствующим адресам

\_\_\_\_\_19\_\_\_\_\_03\_\_\_\_\_2021\_\_\_\_\_ года.  
(день) (месяц) (год)

Подписано в печать: 18 март 2021  
Формат бумаги: А5  
Объем: 37058 знаков  
Тираж: 70 экземпляров