

На правах рукописи



Смашов Нурлан Жаксобекович

**Обоснование и разработка технологии и технических
средств для бурения направленных геологоразведочных
скважин с использованием малогабаритных забойных
гидравлических двигателей**

*Специальность 25.00.14 - Технология и техника
геологоразведочных работ*

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)»

Научный руководитель: Соловьев Николай Владимирович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Нескормных Вячеслав Васильевич
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и техники разведки МПИ института горного дела, геология и геотехнологий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Васильев Александр Николаевич
кандидат технических наук, начальник отдела проектирования и разработки технологий строительства скважин ООО «Газпромпроектирование»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет

Защита состоится "6" июня 2017 года в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.121.05 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ - РГГРУ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, ауд. 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Автореферат разослан _____ 201_г.

Ученый секретарь диссертационного совета, канд. техн. наук



Назаров А.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: В работах, посвященных проблемам направленного бурения скважин отмечается, что принципиально новыми для их эффективного решения следует считать технические средства и методы, которые не традиционны для геологоразведки, базирующиеся на применении винтовых забойных двигателей (ВЗД) и колонковых наборов, которые обеспечивают получение новых качественных показателей по регулированию интенсивности искривления скважин и управлению трассой скважин.

Наиболее важным, и значимым по достигаемому результату видом средств для повышения эффективности процесса бурения предлагаются объемные ВЗД, которые имеют ряд технологических преимуществ:

- процесс бурения ведется при не вращающейся бурильной колонне, что способствует достижению сохранения заданного направления трассы скважин;

- обеспечивается плавность и равномерность набора кривизны скважины;

- снижаются износ бурового инструмента и энергозатраты на процесс бурения;

- возможность контроля и управления пространственным положением скважины в процессе бурения с помощью следящей системы, встроенной в не вращающийся корпус над ВЗД.

Однако имеется ряд факторов, сдерживающих применение объемных ВЗД для бурения направленных скважин в области геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые. К ним относятся: значительный расход промывочной жидкости, необходимый для создания крутящего момента при низкой частоте вращения вала ВЗД, что не соответствует базовым условиям технологии алмазного бурения скважин, а также габаритные размеры этого двигателя и жесткость его корпуса, что не позволяет вписываться в угол набираемой кривизны при проводке скважины по сложной с меняющимися направлениями траектории.

Задача направленного бурения горно-геологических скважин ВЗД требует решения и является актуальной.

Нами сформулированы основные требования, предъявляемые к конструктивным параметрам и технологическим возможностям компоновок забойных гидродвигателей (ЗГД), средствам слежения и управления трассой скважин в сложных горно-геологических условиях.

Объект исследования элементы системы бурения направленных скважин, включающей силовой привод для передачи крутящего момента на породоразрушающий инструмент непосредственно на забое без вращения колонны бурильных труб, а также средства слежения и управления трассой скважин в процессе бурения.

Целью работы является повышение эффективности, улучшение качества конструктивных параметров ЗГД, малогабаритных по длине, малорасходных по количеству промывочной жидкости, удовлетворяющих условиям алмазного бурения скважин и предусматривающих использование средств слежения и управления трассой скважин.

Идея работы заключается в создании системы для бурения направленных скважин, образующей силовой привод для передачи крутящего момента на породоразрушающий инструмент непосредственно на забое без вращения колонны бурильных труб, и позволяющей включать средства слежения и управления трассой скважин.

Задачи исследований:

- анализ геолого-технических условий бурения направленных скважин с применением традиционных технических средств при вращающейся бурильной колонне;
- анализ технических характеристик ЗГД (забойные винтовые двигатели, турбобуры) применительно к условиям бурения направленных скважин на твердые полезные ископаемые;
- разработка и обоснование технологических требований к конструкции компоновок, конструктивных схем ЗГД, методики расчета их рабочих характеристик (крутящий момент, частота вращения) в зависимости от входных параметров (расхода и давления) промывочной жидкости;
- разработка конструкторско-технологической документации и изготовление опытных образцов ЗГД, разработанных конструктивных схем;
- проведение экспериментальных работ в лабораторных условиях по уточнению конструктивных параметров ЗГД, уточнение пределов изменения значений их силовых характеристик в зависимости от расхода и давления подаваемой промывочной жидкости;
- апробация компоновок с использованием ЗГД в производственных условиях при бурении направленных скважин;
- оценка экономической эффективности бурения направленных скважин с применением компоновок ЗГД с встроенной системой слежения и управления трассой скважин.

Методика исследований Системный анализ источников информации посвященных вопросам бурения направленных скважин, рациональным условиям их проводки и видам технических средств с учетом конструктивных особенностей и технологических режимов их применения.

Исследования были направлены на обоснование и выбор конструктивной схемы компоновки ЗГД необходимой для бурения направленных скважин в сложных условиях, установление функциональной зависимости значений выходных рабочих параметров (частота вращения, крутящий момент) от расхода и давления промывочной жидкости.

Эксперименты работы выполнялись на стенде, оснащенный буровым станком СКБ-41, буровым промывочным насосом НБЗ-120/40, специальным электромагнитным расходомером ППД-113, тахометром UNJ-T для измерения частоты вращения вала и измерителем крутящего момента ЗГД ОМ-40 с целью проверки работоспособности разработанных технических средств и оценки сходимости расчетных параметров с экспериментальными данными.

Апробация созданных технических средств, технологических режимов их работы проведены на действующей скважине, имеющей сложную траекторию при бурении в твердых горных породах.

Научная новизна работы заключается в том, что:

- получены закономерности изменения показателей зенитных и азимутальных углов направленного бурения с использованием ЗГД малых диаметров в зависимости от частоты вращения вала этих двигателей, величины осевой нагрузки, угла перекоса компоновки, что позволяет оценить технико-экономическую эффективность таких технологий по сравнению с традиционными;

- установлены зависимости рабочих характеристик ЗГД малого диаметра от рабочего расхода бурового раствора, что предопределило технологическую эффективность применения такого привода вращения породоразрушающего инструмента при бурении направленных геологоразведочных скважин;

- получены зависимости основных параметров системы управления проектным профилем геологоразведочных скважин от рабочих характеристик ЗГД, позволяющие оперативно отслеживать положение оси скважин в пространстве и корректировать ее относительно проектной трассы.

Защищаемые научные положения:

1. Малогабаритные ЗГД, создающие и передающие крутящий момент непосредственно на породоразрушающий инструмент - эффективные средства бурения направленных геологоразведочных скважин в твердых горных породах.
2. Для повышения эффективности работы малогабаритного ЗГД необходимо конструктивно предусмотреть совпадение направлений течения бурового раствора и окружной скорости вращения его ротора, что обеспечивает достижение максимального крутящего момента, передающего на породоразрушающий инструмент.
3. Применение малогабаритных ЗГД обеспечивает процесс бурения направленных геологоразведочных скважин с высокой интенсивностью искривления при непрерывном слежении и управлении их трассой с помощью навигационной системы.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается сравнительными данными традиционных и предлагаемых технических средств и технологии бурения скважин, хорошей сходимостью результатов теоретических и экспериментальных данных по исследованию рабочих параметров ЗГД, результатами практического внедрения испытания технических средств на плановых скважинах, подтвержденного актами опытных испытаний.

Практическая значимость представляемой диссертационной работы заключается в методическом обосновании эффективности применения технических средств для силового привода при создании крутящего момента на породоразрушающий инструмент непосредственно на забое скважин без вращения колонны бурильных труб, в выборе конструктивной схемы малогабаритного ЗГД, малорасходного по количеству необходимой для эффективной работы промывочной жидкости с высокими значениями выходных силовых параметров, а также в совершенствовании конструктивных параметров, обеспечивающих эти параметры и разработке технологий и технических средств слежения и управления трассой скважин.

Реализация результатов исследований. Опытные образцы малогабаритных ЗГД и созданная система слежения и управления трассой скважин прошли производственные испытания на объектах производства бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые ТОО «Центрогеолсьемка», АО «Волковгеология» и ТОО «Бурмаш» (г.Алматы) на Копалинском месторождении золота.

Входит в перечень бюджетной программы: 217 «Развитие науки»,

подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований» ГУ «Комитет науки Министерства образования и науки РК» по теме проекта: №1958/ГФ4-15-ОТ проекта «Исследование характеристик гидродинамического двигателя со уступообразным ротором для бурения скважин».

Опытные образцы ЗГД были изготовлены ТОО «Массагет Плюс» г.Алматы.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были доложены на заседаниях кафедры «Технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых» Казахского Национального Технического университета им. К.И.Сатпаева и современных технологий бурения скважин МГРИ-РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, на выставке Республиканского конкурса достижений в области изобретательской деятельности, прошедшей в г.Астаны, 22-24 мая 2012 г., на 14-ой Международной конференции "Ресурсо-воспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр", посвящённой 20-летию Естественно-технического факультета КРСУ 15-18.09.2015г. Москва (Россия) - Бишкек (Киргизстан).

Работа была обсуждена и получено положительное решение на заседании Научно-технического совета ТОО «Научно-внедренческий центр Алмас».

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 15 работах, в том числе 3-х работах из перечня научных журналов и изданий, рекомендованных ВАКом РФ, получены патенты на изобретения – 6, из них Республики Казахстан – 3, Российской Федерации – 3.

Личный вклад автора, заключается в постановке задач исследований, разработке методики их решения, выполнении теоретических и экспериментальных исследований, проведении производственной апробации созданных технических средств и отработки технологических режимов их работы.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, список литературы из 103 наименований, 4 приложений, содержит 128 стр. машинописного текста, 33 рисунок, 5 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю – доктору технических наук, профессору Соловьеву Н.В. за постоянное внимание и неоценимую помощь в выполнении данной диссертации, всему коллективу кафедры современных

технологий бурения скважин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

Основное содержание работы

Во *введении* обоснованы актуальность, научное и практическое значение исследований по повышению эффективности бурения направленных геологоразведочных скважин.

В первой главе освещены современное состояние технологии бурения направленных скважин, важность их проводки по заданной трассе, существующие технические средства, опыт их применения, обоснованы цели и задачи исследований.

Во второй главе приведены технические характеристики ЗГД (винтовые, турбинные, ротационные), особенности их конструкции и условия применения, обоснованы технологические требования предъявляемые к конструкции малогабаритных ЗГД, соответствующие условиям направленного бурения скважин на твердые полезные ископаемые.

Третья глава содержит обоснования по выбору базовой конструктивной схемы ЗГД малого диаметра, анализ результатов теоретических исследований функциональных зависимостей его выходных силовых характеристик (крутящий момент, частота вращения) от задаваемых режимных параметров (расхода промывочной жидкости, давления).

Четвертая глава посвящена разработке конструктивных параметров малогабаритного ЗГД с встроенной в нем системой слежения и управления трассой скважин. Так же отражены результаты экспериментальных работ выполненных в лабораторных условиях по оценке работоспособности таких гидродвигателей и системы слежения.

Пятая глава посвящена оценке результатов практической апробации ЗГД предлагаемой конструкции с встроенной системой слежения и управления трассой скважин в производственных условиях, оценке технико-экономической эффективности предлагаемого способа бурения направленных скважин и перспектив применения разработанных систем за счет дальнейшего совершенствования их конструктивных параметров.

В заключении излагаются основные выводы и рекомендации, обобщающие основные положения выполненной работы.

Выполненные исследования позволили сформулировать следующие основные защищаемые положения.

Первое защищаемое положение. Малогабаритные ЗГД, создающие и передающие крутящий момент непосредственно на породоразрушающий инструмент - эффективные средства бурения направленных геологоразведочных скважин в твердых горных породах.

Нами проанализирован опыт бурения наклонно-направленных геологоразведочных скважин, которые осуществляют с применением съемных и стационарных клиньев, снарядов типа "Тарбаган" и породоразрушающего инструмента специальной конструкции. Установлено, что выколаживание и выкручивание скважин происходит при вращающейся колонне бурильных труб, при нарушении стабильного состояния горных пород в стенах скважин, повышении риска аварий, и потере ориентировки задаваемого направления.

Анализ характера износа вращающейся бурильной колонны позволил установить, что трубы могут вращаться как вокруг собственной оси, так и вокруг оси скважины. Вращение изогнутой и соприкасающейся со скважиной бурильной колонны вокруг собственной, как правило, приводит к перекачиванию ее по стенкам скважины в сторону, противоположную направлению собственного вращения, что сопровождается усилением воздействия бурильной колонны на стенки скважины и возникновением осложнений.

При бурении направленных скважин при разведке месторождений твердых полезных ископаемых, с целью обеспечения высокой геологической информативности, существенного снижения риска осложнений в скважине, уменьшения трудоемкости и энергозатрат на процесс бурения скважин необходимо ориентироваться на использование забойных гидравлических машин.

Анализ результатов применения гидравлических двигателей для бурения скважин на нефть и газ позволил выработать требования к их технико-технологическим возможностям в зависимости от условий применения:

- энергетические характеристики гидродвигателя должны обеспечить линейную зависимость между расходом рабочей жидкости и частотой вращения, а также между вращающим моментом и перепадом давления;

- частота вращения выходного вала должна быть в диапазоне 100-400 об/мин при диаметре скважин более 95 мм и 500-600 об/мин при бурении сплошным забоем скважин 76 мм и ниже;

- длительная безотказная работа;

- габаритные размеры ЗГД должны допускать использование его при бурении скважин наклонно-направленных с относительно малым радиусом искривления;

- вписываемость в существующие стандарты геологоразведочной техники;

- возможность применения аварийно-ловильных средств.

Нами сформулированы основные требования к ЗГД для бурения геологоразведочных наклонно-направленных скважин:

- обеспечение энергетической характеристикой гидродвигателя линейной зависимости между расходом промывочной жидкости и частотой вращения, а также между вращающим моментом и перепадом давления;

- возможность использования в случае необходимости промывочных жидкостей любой плотности и вязкости;

- длительная безотказность гидродвигателя, достаточная для стабильной работы системы с алмазными и шарошечными долотами.

— простота конструкции, надежность, малорасходность и высокие частоты вращения вала двигателя.

На основе этих сформулированных требований нами обоснованы значения технических характеристик забойного двигателя ЗГД-70, которые в сравнении с забойным винтовым двигателем ДРУ-63РС представлены в табл.1.

Таблица 1 - Сравнительные технические характеристики ЗГД-70 и винтовых забойных гидродвигателей ДРУ-63РС.

Характеристики	ДРУ-63РС	ЗГД-70
Диаметр корпуса, наружный, мм	63	70
Длина двигателя, мм	3300	650
Масса двигателя, кг	55	21
Диаметр применяемых коронок, мм	76	76
Расход рабочей жидкости, л/сек	3.58	3.0
Частота вращения, с ⁻¹	2,5-6,0	10,0
Момент силы, к Нм	0,15-0,25	0,12
Перепад давления, МПа	5,0-8,0	3,0-4,0

Из приведенных технических характеристик серийно выпускаемых ДРУ-63РС малого диаметра видно, что далеко не все режимные параметры их работы удовлетворяют условиям бурения геологоразведочных скважин. Прежде всех это касается входных параметров, обеспечивающих устойчивую работу двигателей, что связано с высоким расходом промывочной жидкости и требуемого высокого перепада гидравлического давления.

Таким образом, в результате анализа технологий бурения направленных скважин установлено, что существенное увеличение технико-экономических показателей геологоразведочных скважины возможно за счет совершенствования конструктивных параметров малогабаритных ЗГД, позволяющих внедрить эффективные технологии алмазного бурения с использованием существующего бурового оборудования.

Второе защищаемое положение. Для повышения эффективности работы малогабаритного ЗГД необходимо конструктивно предусмотреть совпадение направлений течения бурового раствора и окружной скорости вращения его ротора, что обеспечивает достижение максимального крутящего момента, передающего на породоразрушающий инструмент.

Вопросами исследования конструктивных параметров забойных гидравлических двигателей занимались: Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Моцохейн Б.И., Шмидт А.П., Гноевых А.Н., Гусман М.Т.

Первоначально задачей наших исследований являлось изучение возможностей создания малогабаритных ЗГД на основе схемы преобразования энергии возобновляемого гидравлического удара в крутящий момент для вращения вала.

Было принято допущение, что если длина кольцевых проточных каналов гидродвигателя несравнимо меньше, чем длина питательной магистрали L , то целесообразно вести расчет значений силы гидравлического удара исходя из условий истечения жидкости в магистрали.

Согласно известной методике расчета истечения потока жидкости из отверстия и насадки, такие параметры струи, как давление, расход и живое сечение соответственно P , Q и ω_0 связаны с расходным коэффициентом μ известной зависимостью: (Башта Т.М.)

$$Q = \mu \omega_0 \sqrt{\frac{2P}{\rho}}, \quad \text{м}^3/\text{с} \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости.

Отсюда, если расход рабочей жидкости в проточном кольцевом канале Q_1 , то потери давления в каждом из них составляют :

$$\Delta P = \frac{\rho Q_1^2}{2\mu^2 \omega_0^2}, \quad \text{Па} \quad (2)$$

В задачи наших исследований входила оценка влияния ударного приращения давления рабочей жидкости на рабочие характеристики забойного винтового двигателя для его принятой конструктивной схемы.

Ударное приращение давление рабочей жидкости при прямом гидравлическом ударе можно рассчитать по известной формуле:(Жуковский Н.Е.):

$$\Delta P_{y\partial} = \rho v C, \quad \text{Па} \quad (3)$$

где C - скорость распространения гидравлического удара в круглой тонкостенной трубе, заполненной технической водой. ($C=1464\text{м/с}$)

Крутящий момент, создаваемый силой гидравлического удара рабочей жидкости вычисляется по формуле:

$$M = \Delta P_{y\partial} \omega_0 D_p \quad \text{Нм} \quad (4)$$

где D_p - диаметр корпуса гидродвигателя.

Потери давления в магистрали рассчитаны с учетом внутренней шероховатости труб 0,75 мм (формула А.Д. Альтшуля).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{D} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (5)$$

Тогда потери давления рабочей жидкости по длине составят (Башта Т.М)

$$\Delta P_{\partial l} = \rho \cdot q \cdot 0,0827 \cdot \lambda \frac{L}{D^5} Q^2 \quad \text{Па} \quad (6)$$

Общие потери давления рабочей жидкости в системе определяются:

$$P_n = \Delta P + \Delta P_{\partial l}, \quad \text{Па} \quad (7)$$

Расчетные значения по приведенной методике значения, ударное приращение давления и крутящий момент при заданном расходе рабочей жидкости и при различной глубине скважины приведен в табл.2.

Таблица 2 Расчетные значения расхода промывочной жидкости, ударного приращения давления и крутящего момента при различных глубинах скважин и диаметра кольцевых проточных каналов в расчете на десяти секционный ЗГД.

Глубина скважины L, м	Диаметр кольцевых проточных каналов d, мм	Расход рабочего агента Q, л/мин.	Ударное приращение давления ΔP , Па.	Крутящий момент, М,кНм
100	7	125	3,6	0,1
	8	163	4,7	0,17
	9	204	5,9	0,25
	10	252	7,3	0,42
300	7	216	6,3	0,18
	8	282	8,2	0,30
	9	355	10,4	0,49
	10	438	12,7	0,74
400	7	248	7,2	0,20
	8	324	9,4	0,35
	9	410	11,9	0,56
	10	504	14,6	0,85
500	7	276	8,0	0,23
	8	364	10,6	0,39
	9	456	13,3	0,62
	10	564	16,4	0,95

В соответствии с полученными результатами расчетов (табл.2) установлено, что с ростом глубины скважин увеличивается величина крутящего момента, тогда как у серийных ВЗД в этом случае энергетические показатели снижаются. .

Для совершенствования конструктивных параметров ЗГД использован известный в гидравлике принцип приложения силы ударного давления жидкости к убегаящей стенке при этом, имеющий криволинейную поверхность, в соответствии с которым это сила за счет давления жидкости значительно увеличивается. Этот эффект нами был использован для создания конструктивной схемы ротационного малогабаритного ЗГД.

Отличительная особенность данной схемы заключается в том, что ротор по окружности выполнен в виде храпового колеса с противоположно обращенными уступами в виде полуцилиндра по периферии. При этом секционный ротор установлен на валу с развернутыми между собой уступами на разных уровнях и скользящей посадкой контактирующим с

распорными пластинками, расположенные в корпусе, обеспечивающими гидроизоляцию камер высокого и низкого давления, образованных между корпусом и ротором.

Такое конструктивное исполнение обеспечивает силу ударного воздействия рабочей жидкости, приложенную к площади уступа в виде полуцилиндра по горизонтали при совпадении направлений движения силового потока и окружного вращения ротора вокруг собственной оси.

Нами получена формула для вычисления значения ширины уступа в виде полуцилиндра:

$$b = \frac{8Q_{\partial} \cdot \eta_{\partial.o}}{K \cdot \pi(D^2 - d^2) \cdot \eta_{\partial}}, \quad \text{м} \quad (8)$$

где η_{∂} - коэффициент полезного действия гидродвигателя.

Эта зависимость необходимо учитывать при определении рабочего объема гидродвигателя по формуле:

$$q_{\partial} = k \cdot b \frac{\pi}{8} (D^2 - d^2), \quad \text{м}^3 \quad (9)$$

Крутящий момент, развиваемый гидродвигателем необходимо определять по формуле:

$$M_{\partial} = \frac{1}{2\pi} P_{\partial} \cdot q_{\partial} \frac{\eta_{\partial}}{\eta_{\partial.o}}, \quad \text{Нм} \quad (10)$$

где P_{∂} - гидродинамическое давление промывочной жидкости на уступы в виде полуцилиндра.

В результате экспериментальных исследований опытного образца двухкамерного ротационного ЗГД с наружным диаметром 70 мм установлено, что в процессе вращения ротора при переходе уступами распорных пластин с одновременным перекрытием каналов подачи жидкости, на верхней секции образуются «мертвые» зоны, приводящие к остановке вращений ЗГД.

Поэтому в дальнейшем для выполнения вычислений по определению значений силовых характеристик ЗГД и проведения экспериментов в лабораторных условиях, была выбрана конструктивная схема трехкамерного ЗГД (рис.1), характеристики которого нами рассчитаны по известным зависимостям.

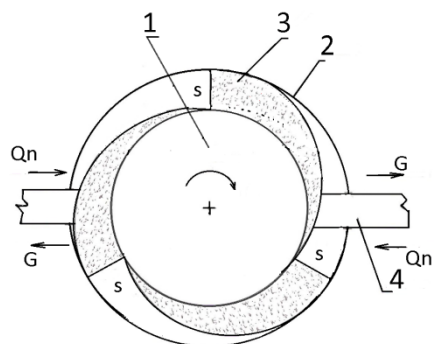


Рис. 1 Схема трехкамерного ЗГД лопастного типа: 1-ротор; 2-статор; 3-лопатки; 4-пластина.

При действии на лопатку нечетного числа дополнительных струй, эпюра нарастания изгибающего момента МО охватывает весь вал (рис. 2), нарастая по окружности от $M_{\min 1}$ до $M_{\max 1}$. При полном обороте ротора, при неравенстве числа отверстий k и числа лопаток n , а также при условии $k > n$ момент на одной лопатке растет от минимального $M_{\min 1}$ до максимального значения $M_{\max 1}$. Это обстоятельство обусловлено тем, что каждая лопатка в равномерной последовательности воспринимает воздействие не только одной струи, но и дополнительных, число которых определяется разностью $k-n$.

При четном числе дополнительных струй, эпюра нарастания момента располагается на отдельных участках окружности ротора (вала) диаметрально симметрично, что обуславливает взаимное устранение возникающих при этом изгибающих моментов, тем самым обеспечивая вращение вала без радиального прижатия (рис. 3).

Предлагаемая конструкция гидродвигателя ЗГД позволяет максимально уменьшить разницу между окружной скоростью ротора и скоростью движения промывочной жидкости в камере, тем самым обеспечивая увеличение крутящего момента при разрушении горной породы. Исходя из характера появления вибраций вала, установлено, что при равенстве числа лопаток и числа отверстий амплитудный изгибающий момент отсутствует, поскольку каждая лопатка воспринимает действия только одной струи.

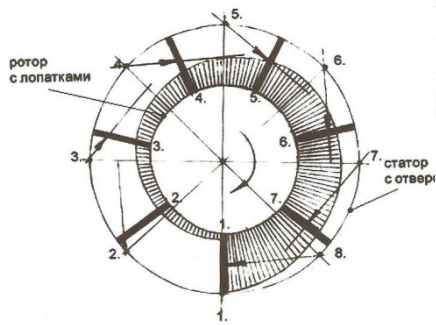


Рис.2 Эюра нарастания момента на лопатке гидродвигателя при $n=7$ и $k=8$

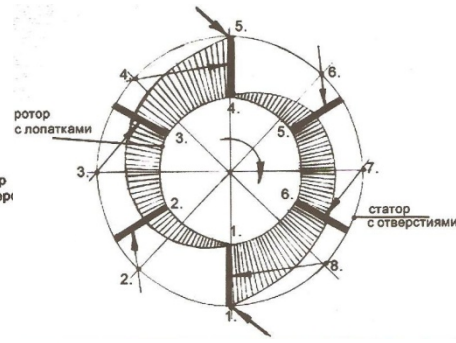


Рис.3 Эюра нарастания момента на лопатке гидродвигателя при $n=6$ и $k=8$

Из этого следует, что эффективная работа гидродвигателя обеспечивается только при наличии четного числа дополнительных струй.

В случае совпадения направления течения бурового раствора и окружной скорости вращения ротора малогабаритных ЗГД, достигается максимально возможный крутящий момент до 0.18 кНм, обеспечивающий реализацию рационального режима алмазного бурения при частоте вращения до 1100 об/мин. Полученные зависимости рабочих характеристик забойных малогабаритных ЗГД от рабочего расхода бурового раствора позволяют регулировать режим работы таких ЗГД и создавать рациональные условия разрушения горной породы алмазным породоразрушающим инструментом.

Третье защищаемое положение. Применение малогабаритных ЗГД обеспечивает процесс бурения направленных геологоразведочных скважин с высокой интенсивностью искривления при непрерывном слежении и управлении их трассой с помощью навигационной системы.

Мы исходили из того, что для эффективного искривления скважины необходимо соблюдение двух условий:

1. Создание радиальной (отклоняющей) силы, под действием которой происходит фрезерование стенки скважины или асимметричное разрушение забоя.

2. Длина и жесткость забойной компоновки должны выбираться в зависимости от радиуса искривления скважины.

Исследования по разработке теоретических основ и проектированию профилей направленных скважин вклад внесли следующие ученые: Морозов Ю.Т., Калинин А.Г., Лиманов Е.Л., Страбыкин И.Н., Нескромных В.В., Сароян А.Е., Васильев А.Н.

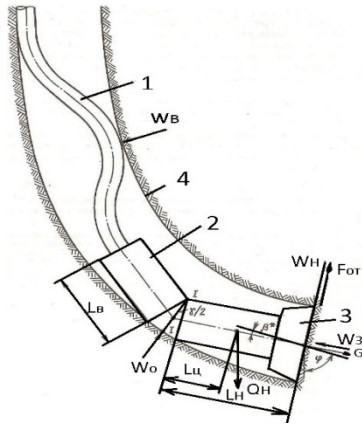


Рис. 4 Схема действия сил в системе: 1-бурильная колонна; 2-забойный двигатель; 3-долото; 4-скважина

Для определения основных параметров, характеризующих интенсивность искривления скважин, приведены сравнительные характеристики двигателей с минимально допустимым радиусом искривления в зависимости от зазора между долотами диаметром 76 и 93мм (табл.3)

Таблица 3 Сравнительная таблица двигателей с минимально допустимым радиусом искривления.

Тип двигателя	Длина двигателя	Диаметр долота		Интенсив.искр. скв. R град/м	
		76	93	0.06	0.1
ДРУ63РС	3300	76	93	0.06	0.1
ЗГД-70	1300	76	93	0.2	0.7

Нами выполнены обосновании соответствия параметров искривления и расчеты параметров забойной компоновки в зависимости от задаваемой величины радиуса искривления скважины.

При этом существующая методика (Сароян А.Е.) расчета на вписываемость в искривленные участки основывается на том, что осевая составляющая силы не должна превышать критическое значение, при котором заданный кривым переходником прогиб двигателя препятствует достижению необходимой интенсивности искривления с ствола скважины и затрудняет его спуск на участке искривления (Рис.4)

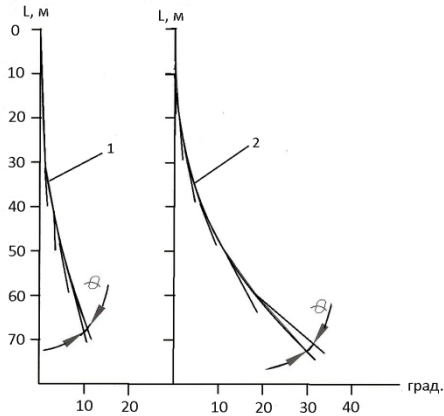


Рис.5 Пример сравнительного набора кривизны направленного для скважин снарядом ТЗ-3(1) и ЗГД-70 (2).

Для бурения направленных скважин с высокой интенсивностью искривления на базе малогабаритного двигателя ЗГД была разработана навигационная система слежения и управления трассой скважин (рис.6). К ротору ЗГД при наборе кривизны присоединяют алмазное буровое долото 93 мм. После набора кривизны скважины, для отбора керновых проб ЗГД соединяют с колонковой трубой диаметром 70 мм. Длина колонковой трубы определяется горных пород и с учетом вписываемости в искривленный участок скважины.

Нами выполнены расчеты набора интенсивности искривления направленных скважин широко известным снарядом ТЗ-3 и предлагаемым нами снарядом ЗГД-70. В результате этих исследований установлено, что интенсивность искривления предлагаемым снарядом составляет 2^0 на 10 м. проходки, у снаряда ТЗ-3 1^0 на 10 м., т.е. у предлагаемого снаряда интенсивность искривления в 2 раза выше (рис.5).

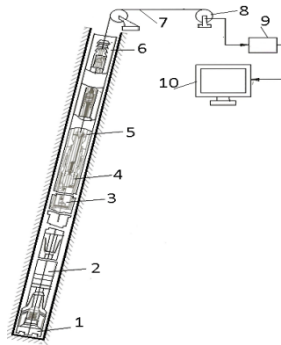


Рис. 6 Состав скважины телеметрической системы для непрерывного контроля управления направлением оси скважины: 1-долото алмазное; 2-забойный двигатель с кривым переводником; 3-инклинометр; 4-телезонд; 5-контактный штырь телеметрического канала; 6-бурильная колона; 7-кабель геофизический; 8-лебедка; 9-блок питания; 10-монитор.

Предлагаемый способ непрерывного контроля за направлением действия отклонителя и измерения углов скважин в процессе бурения многоточечным инклинометром свойствами разбуриваемых и оснащенный аналоговым и цифровым каналами связи упрощает конструкцию и технологию получения информации о забойных процессах, повышает качество надежность проводки наклонно- направленных и горизонтальных скважин в различных геолого-технических условиях.

Таким образом, полученные зависимости основных параметров системы управления проектным профилем геологоразведочных скважин при различных рабочих характеристиках малогабаритных ЗГД, позволяют осуществлять непрерывный контроль за направлением действия отклонителя и постоянное измерение значений углов при бурении с передачей такой информации на пульт управления. Это обеспечивает необходимое повышение качества и надежности проводки наклонно-направленных скважин применительно к конкретным горно-геологическим условиям.

Если изменилась геологическая ситуация, то можно откорректировать трассу скважин в соответствии с данными инклинометрии по программе, вложенной в компьютер.

Разработанная компьютерная программа для данной измерительной системы позволяет отстраивать трассу скважин в объемном графическом исполнении с проекциями на горизонтальную и вертикальную плоскости.

Заключение

В результате выполненных исследований нами получены следующие выводы и рекомендации.

1. Существующие конструкции ВЗД малого диаметра не позволено их эффективно применять для условий направленного бурения скважин, из-за несоответствия их технических характеристик режимным параметрам алмазного бурения, в частности, а также из-за частоты вращения, не соблюдения условий вписываемости в требуемый радиус искривления скважин.
2. Повышение эффективности процесса бурения возможно за счет увеличения энергозатрат на забое, увеличения частоты вращения бурильной колонны и сохранения заданного направления скважин при использовании малогабаритных ЗГД.
3. Теоретические исследования гидродинамических процессов позволили обосновать возможность разработки забойных двигателей

нового поколения лопастного типа с техническими характеристиками, соответствующими условиям бурения скважин в твердых горных породах алмазным породоразрушающим инструментом.

4. Установлено, что эффективная работа ЗГД достигается при наличии четного числа дополнительных струй и потока рабочей жидкости при воздействии на ротор, что исключает появление изгибающих моментов радиального прижатия последнего.

5. Получены зависимости величины крутящего момента от расхода и приращения перепада ударного давления рабочей жидкости в зависимости от глубины скважин.

6. Разработана конструктивная схема двигателя, определены его рабочие характеристики с учетом вписываемости в искривленные участки скважин, проведены экспериментальные и производственные испытания опытных образцов забойных двигателей с подтверждением их расчетных технических характеристик.

7. Разработана забойная компоновка состоящая из ЗГД с навигационной системой слежения и управлением трассой скважин, позволяющая значительно повысить качество и эффективности проведения геологоразведочных работ.

8. Разработана компьютерная программа объемного графического построения профиля скважин по данным измерения с проекциями на вертикальную и горизонтальную плоскости.

9. Экономическая эффективность выполненных исследуемой ЗГД может быть получена за счет следующих мероприятий:

- удешевление разработанного ЗГД по сравнению с ВЗД тех же размеров;
- увеличение ресурса работы на 25-30%, против серийных ВЗД;
- повышение производительности бурения скважин за счет увеличения механической скорости проходки до 25-30% при высоких частотах вращения ротора.

10. Основные научные разработки защищены патентами на изобретение: Республики Казахстан – 5, Российской Федерации – 3.

Основные научные результаты опубликованы в следующих работах:

а) Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н. // Двухкамерная забойная гидромашина для бурения скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень – ГИАБ, №6, 2016г. с.66-74

2. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н. // Выбор схемы и расчет параметра малогабаритного забойного гидродвигателя бурения скважин // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). отдельная статья. 2016г. №9 (специальный выпуск-23), с.9

3. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н., Соловьев Н.В. //Бурения направленных скважин с использованием навигационной системы управления.// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). отдельная статья. 2016г. №9 (специальный выпуск-25), с.8

б) патенты:

1. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н., Городецкий И.М., Бобылев Ф.А. Способ ориентации отклонителя в вертикальных обсаженных скважинах и устройство для его осуществления. №2263209 РФ Патент, 27.10.2005, бюл. №30

2. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н., Городецкий И.М., Бобылев Ф.А. Способ непрерывного контроля за направлением действия отклонителя, измерения зенитных и азимутальных углов скважин и устройство для его осуществления. №2263782 РФ Патент, 10.11.2005, бюл. №31.

3. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н. Объемный забойный двигатель. №2581856 РФ Патент, 20.04.2016, бюл. №11

4. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н., Городецкий И.М., Бобылев Ф.А.. Способ ориентации отклонителя в вертикальных обсаженных скважинах и устройство для его осуществления.. №15038 РК Патент, 14.11.2004, бюл. №11.

5. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н., Городецкий И.М., Бобылев Ф.А. Способ непрерывного контроля за направлением действия отклонителя, измерения зенитных и азимутальных углов скважин и устройство для его осуществления. №13695 РК Патент, 15.06.2006, бюл. №6

6. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н. Турбобур №24033 РК Патент, 16.05.2011, бюл. №5

7. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н. Турбобур. Удостоверение автора №90567 РК.

8. Смашов Н.Ж., Мендебаев Т.Н. Объемный забойный двигатель. №31470 РК Патент, 31.08.2016, бюл. №10

в) Статьи в изданиях и материалах конференций:

1. Н.Ж.Смашов., Т.Н. Мендебаев, Б.Е.Калмуханбетов. Определение момента развиваемого гидродвигателем. //Изденіс-Поиск//Алматы №1 2003г. С211-213.

2. Т.Н. Мендебаев, Б.Е.Калмуханбетов, Н.Ж.Смашов. Определения оптимального числа лопаток на одной секции лопастного гидродвигателя. // Изденис-Поиск// Алматы №1 2003г. С214-217.
3. Н.Ж.Смашов., Т.Н. Мендебаев, Б.Е.Калмуханбетов. Кинематика движения жидкости в проточном узле гидромотора. // Вестник КазГАСА// Алматы. №3-4 2003г. С153-158.
4. Н.Ж.Смашов., Т.Н. Мендебаев, Б.Е.Калмуханбетов. Расчет рабочих параметров забойных гидродвигателей лопастного типа. // «Технологии ТЭК// Москва 2003г. №2. С31-33.
5. Н.Ж.Смашов., Т.Н. Мендебаев, Б.Е.Калмуханбетов. Исследования гидродинамических процессов в рабочей камере лопастного забойного гидродвигателя для бурения скважин. // «Технологии ТЭК// Москва 2003г. №5. С17-20.
6. Н.Ж.Смашов., Т.Н.Мендебаев, Б.Е.Калмуханбетов. Теоретические исследования динамики движения жидкости в каналах роторагидромотора. //Вестник-Хабаршысы// 2004г. №3(28).С108-111.
7. Н.Ж.Смашов., Т.Н.Мендебаев, М.М.Телембаев. Буровая навигационная система проводки многоярусных скважин на углеводороды. //Нефть и Газ// Алматы 2009г. №3 С.56-60.
8. Н.Ж.Смашов., Т.Н.Мендебаев. Выбор схемы и расчеты параметров малогабаритного забойного гидродвигателя для бурения скважин. //Горный журнал Казахстана// Алматы 2010г. №1 С.38-39.
9. Н.Ж.Смашов.,Т.Н.Мендебаев. Малые габариты забойной гидромашины с самовращающимся долотом. //OIL&GAS JOURNAL// г. Москва 2013 г. №6 (72).С80-82.
10. Н.Ж.Смашов., Т.Н.Мендебаев. Забойная компоновка с навигационной системой управления направлением бурения скважин. //Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции 27-28.06.2014г. Санкт-Петербург// С.100-103.
11. Н.Ж.Смашов,Т.Н.Мендебаев,М.Ж.Курмангалиев. Характеристики забойных гидродвигателей в режиме возобновляемого гидравлического удара. // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции 29-30.09.2014г. Санкт-Петербург// С90-94.
12. Н.Ж.Смашов. Забойные гидромашины для бурения скважин. //14-ая Международная конференция "Ресурсо-воспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр" посвященная 20-летию Естественно-технического факультета КРСУ 15-18.09.2015г. Москва (Россия) - Бишкек (Киргизстан)// С383-384.