

На правах рукописи

НГУЕН Тиен Хунг



**РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ ДОЛОТАМИ PDC
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ В ПЕРЕМЕ-
ЖАЮЩИХСЯ ПО ТВЕРДОСТИ ГОРНЫХ ПОРОДАХ МЕСТО-
РОЖДЕНИЯ «ЮЖНЫЙ ДРАКОН И ДОЙМОЙ» (СРВ)**

Специальность 25.00.15 - Технология бурения и освоения скважин

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

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – 2017

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Соловьев Николай Владимирович

Официальные оппоненты:

Нескоромных Вячеслав Васильевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет», кафедра технологии и техники разведки, заведующий кафедрой

Уляшева Надежда Михайловна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», кафедра бурения, профессор

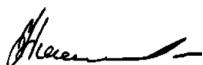
Ведущая организация: *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»*

Защита диссертации состоится 30 марта 2017 г. в 13 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.02 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, дом 2, ауд. № 1163

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru

Автореферат разослан 30 января 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



Николаев
Николай Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность темы. Совместное предприятие «Вьетсовпетро», созданное с целью производства разведки и эксплуатации месторождений нефти и газа на континентальном шельфе СРВ, в настоящее время ведет буровые работы на месторождении «Южный Дракон и Доймой», разрез которого представлен осадочными отложениями и породами кристаллического фундамента, содержащими продуктивные коллекторы.

Несмотря на их высокий дебит, достигающий 1000 тонн нефти в сутки, предполагается увеличение объема бурения скважин, выполняемого предприятием «Вьетсовпетро». При этом особенностью проектируемых скважин является наличие наклонных участков значительной протяженности (до 2000м и более), на которые приходится мощные толщи перемежающихся по твердости горных пород отложений миоцена и олигоцена, что предполагает их склонность к набуханию, являющемуся причиной многих видов осложнений, связанных с неустойчивостью стенок ствола скважин.

Очевидно, что в подобных горно-геологических условиях актуальными являются вопросы, связанные с обоснованием и выбором эффективных технологий, предусматривающих применение на объектах предприятия роторно-управляемой системы (РУС) привода вращения долот, долот *PDC* более совершенной конструкции и рациональных рецептур ингибирующих буровых растворов, обеспечивающих процесс бурения скважин без осложнений.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности бурения скважин в перемежающихся по твердости горных породах.

Идея работы заключается в совершенствовании конструкции долот *PDC*, обосновании выбора роторной системы и полимерных буровых растворов применительно к породам различной твердости.

Задачи исследования.

1. Выполнение сравнительных исследований эффективности процесса бурения с использованием роторных систем в виде: винтовых забойных двигателей (ВЗД) и РУС «*push the bit*», применяемых в пределах интервалов, сложенных перемежающимися по твердости горными породами.

2. Теоретическое обоснование выбора оптимального диапазона значений отрицательного угла установки резцов долот *PDC*, с позиции их изнашивания, и оценка показателей эффективности процесса бурения долотом *PDC* в зависимости от их основных конструктивных параметров и физико-механических свойств горных пород.

3. Выполнение на объектах предприятия «Вьетсовпетро» лабораторных и производственных исследований, направленных на выявление оптимальных рецептур ингибирующих буровых растворов (ИБР), обеспечивающих исключение осложнений при бурении в глинодержащих горных породах месторождения.

Методы научных исследований включали анализ и обобщение литературных источников, проведение теоретических изысканий, стендовых испытаний с помощью электромеханического стенда для моделирования работы резца *PDC*, а также лабораторных и производственных исследований с использованием современного лабораторно-измерительного комплекса «*Dinamic Linear Swellmeter with Compressor*», а также производственную апробацию на объектах предприятия «Вьетсовпетро».

Научная новизна работы заключается в установлении зависимостей, характеризующих эффективность разрушения горных пород долотами *PDC* от величины угла установки резцов с учетом физико-механических свойств горных пород, а также установлении влияния полимерного реагента «*HyPR-CAP*» на ингибирование глинодержащих горных пород.

Основные защищаемые положения.

1. Для повышения эффективности процесса бурения необходимо в место роторной системы с применением ВЗД использовать систему РУС «*push the bit*» при бурении в перемежающихся по твердости горных породах, что позволяет повысить эффективность процесса разрушения горных пород и устранить осложнения при существенном увеличении механической скорости бурения на 67÷110% и снижении стоимости 1 м бурения на 14÷22%.

2. Совершенствование конструктивных параметров долот *PDC* для бурения в перемежающихся по твердости горных породах должно быть направлено на изменение угла установки резцов в зависимости от свойств горных пород, который должен быть в пределах 45° ÷ 55°, что

обеспечивает повышение эффективности разрушения горных пород, снижение интенсивности изнашивания резцов, увеличение механической скорости до 31%.

3. Для исключения осложнений в процессе бурения и повышения эффективности ингибирования глинодержащих горных пород необходимо использовать полимерные растворы с добавкой реагента «HyPR-SAR» (0,3÷0,4%), позволяющего снизить степень набухания на 5,5÷6% при температуре 130°C.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается достаточным объемом теоретических и экспериментальных исследований, а также проверкой полученных результатов в производственных условиях предприятия «Вьетсовпетро».

Практическая значимость.

1. Разработана методика поинтервального анализа технико-экономических показателей процесса бурения в перемежающихся по твердости горных породах, что позволило рекомендовать роторную управляемую систему, а также наметить направления совершенствования конструктивных параметров долот PDC и полимерных ингибирующих буровых растворов.

2. Предложены и апробированы оптимальные значения угла установки резцов долот PDC в зависимости от состава и свойств горных пород, слагающих разрез месторождения.

3. Обоснованы составы и исследованы свойства ингибирующих буровых растворов (ИБР) для бурения в перемежающихся по твердости глинодержащих горных породах.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на XII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва - 2015); на VIII Международной межвузовской научной конференции «Молодые - наукам о Земле» (Москва - 2016).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 7 печатных работ, в том числе 5 работ изданы в рецензируемом научном журнале, рекомендованном ВАК.

Личный вклад автора. Выполнен анализ литературных источников по теме диссертационной работы; сформулированы цель и задачи

исследований; разработана методика поинтервального анализа режимных параметров «типовой скважины» месторождения и выполнена ее апробация на производственных объектах предприятия «Вьетсовпетро»; разработана методика выбора типа роторной системы привода вращения долот в соответствии с горно-геологическими условиями месторождения «Южный Дракон и Доймой»; разработана методика анализа схем установки резцов долот *PDC* с учетом интенсивности их изнашивания; проведены стендовые испытания, подтверждающие результаты теоретических исследований; выполнены лабораторные исследования с целью выявления рецептур полимерных растворов, соответствующих составу и свойствам горных пород, слагающих разреза месторождения «Южный Дракон и Доймой».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5-ти глав, выводов и рекомендаций, списка используемой литературы, и содержит 138 стр. машинописного текста, 62 рис., 24 табл., 61 библиографических ссылок.

КРАТКОЕ СОДЕРЖЕНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, и сформулирована ее цель.

В первой главе приведены общие сведения о месторождении «Южный Дракон и Доймой», которое расположено в пределах двух лицензионных блоков континентального шельфа СРВ на расстоянии 110 км от береговой линии, и о предприятии «Вьетсовпетро», выполняющем буровые работы. Дана характеристика горно-геологических условий бурения скважин на месторождении, разрез которого представлен осадочными отложениями и породами кристаллического фундамента, содержащего продуктивные коллекторы. В соответствии с горно-геологическими условиями составлена конструкция «типовой скважины» месторождения, для которой проведен поинтервальный анализ режимных параметров на основе механической скорости бурения. В качестве «типовой скважины» была выбрана скважина №406, а ее протяженность условно разбивалась на 8-мь интервалов разной степени сложности, в пределах которых решалась технологическая задача по набору кривизны с помощью роторной управляемой системы, оснащенной долотом *PDC* с отрицательным углом установки резцов $70-75^\circ$, и рецептур ИБР эффективность применения которых следовало оценить. Для этого в процессе

углубки скважины через каждый 1 м фиксировались режимные параметры P , n , Q , $M_{кр}$ и механическая скорость $V_{мех}$, как наиболее информативный показатель эффективности процесса бурения, изменение которых по всему разрезу скважины представлялось в виде диаграмм, показанных на рисунках 1 и 2.

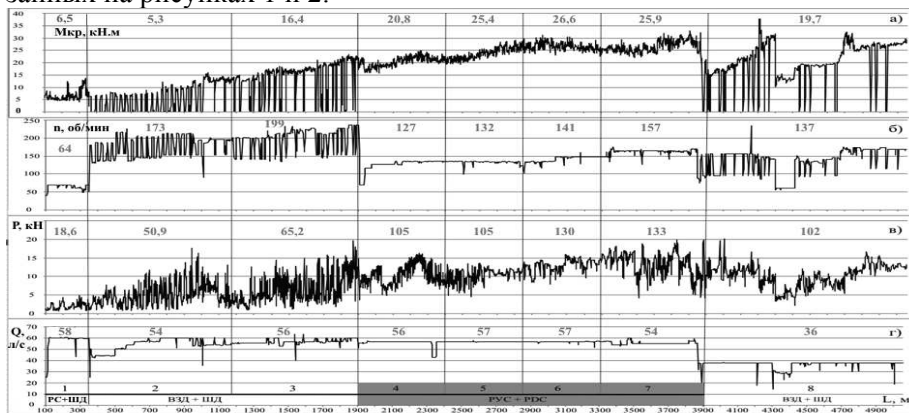


Рис. 1. Диаграммы изменения режимных параметров бурения по протяженности скважины № 406: а) крутящего момента на долоте, $M_{кр}$ Н.м; б) частоты вращения долота, n об/мин; в) осевой нагрузки, P кН; г) расхода промывочной жидкости, Q л/с.

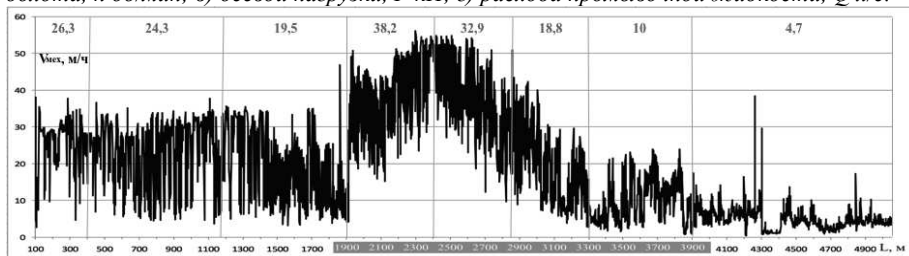


Рис. 2. Диаграмма изменения механической скорости бурения по протяженности скважины №406.

Результаты поинтервального анализа режимных параметров на основе механической скорости бурения «типовой скважины» №406 месторождения позволяют рекомендовать к применению роторную управляемую систему, а также наметить направления совершенствования конструктивных параметров долот РДС и полимерных буровых растворов.

Кроме того, в этой главе указано, что на объектах предприятия «Вьетсовпетро» нами рекомендовано при наборе кривизны в место роторной системы ВЗД применять роторно-управляемую систему РУС,

имеющую, в свою очередь, две основные разновидности, а именно 1) «*point the bit*» - реализующая эффект позиционирования долота; 2) «*push the bit*» - реализующая эффект толкания долота.

Очевидно, что возникает необходимость выявления одной из существующих разновидностей роторно-управляемой системы (РУС) максимально соответствующей горно-геологическим условиям месторождения «Южный Дракон и Доймой» и обладающей явными техническими и технологическими преимуществами по отношению к применяемой до настоящего времени роторной системе ВЗД.

Для этой цели следует выполнить сопоставительный анализ эффективности применяемых видов роторной системы на основе наиболее информативных технико-экономических показателей, таких как механическая скорость бурения $V_{\text{мех}}$ и стоимость C 1 м бурения скважины.

При этом совместно с системой РУС применяются долота *PDC* с отрицательным углом установки резцов, равным $70^{\circ} \div 75^{\circ}$, при использовании которых наблюдалось резкое падение механической скорости бурения с 38,2 м/ч до 5,2 м/ч (на интервале глубин от 1900 до 3900 м), о чем свидетельствуют результаты измерений механической скорости, проводимых нами в процессе бурения «типовой скважины» №406.

Поскольку основными причинами резкого падения механической скорости называлось несоответствие: значения угла установки резцов применяемых долот *PDC* и рецептуры ингибирующего бурового раствора, свойствам перемежающихся по твердости и имеющих склонность к набуханию глинодержащих горных пород отложений миоцена и олигоцена, приуроченных к исследуемому интервалу. То в связи с этим следует предусмотреть проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на выявление оптимальных значений угла установки резцов долот *PDC*, соответствующих твердости перемежающихся горных пород, слагающих разрез месторождения «Южный Дракон и Доймой», а также следует провести ряд лабораторных и производственных исследований на объектах предприятия «Вьетсовпетро», с целью выявления надлежащей рецептуры ИБР.

Во второй главе изложены методологические рекомендации: во-первых, по сбору и обработке с помощью стандартной компьютерной программы «*Excel*» технологической информации об изменении режимных параметров P , n , Q и $M_{кр}$ по мере углубки «типовой скважины» для

дальнейшего поинтервального ее анализа с целью внесения кардинальных уточнений в базовый комплекс технических средств и рецептур ИБР проектируемых скважин месторождения; во-вторых, по выбору оценочных критериев, в виде технико-экономических показателей, таких как: средняя механическая скорость бурения $V_{\text{мех}}$ и стоимость 1 м бурения С скважины, необходимых для проведения сопоставительных исследований эффективности применения роторных систем РУС «push the bit» и ВЗД в условиях месторождения «Южный Дракон и Доймой»; и, в третьих, использования метода кинестатики для решения динамических задач анализа характерных схем установки резцов долот *PDC* в зависимости от твердости перемежающихся горных пород отложений миоцена и олигоцена месторождения «Южный Дракон и Доймой».

Кроме того, приводится описание лабораторного оборудования, а также порядок проведения экспериментальных работ, направленных на установлении оптимальных значений угла установки резцов *PDC*, соответствующих свойствам перемежающихся по твердости горных пород месторождения «Южный Дракон и Доймой», а также составов и свойств полимерных растворов, обеспечивающих повышение эффективности процесса бурения в таких условиях.

Третья глава посвящена теоретическим исследованиям по повышению эффективности бурения скважин в перемежающихся по твердости горных породах месторождения «Южный Дракон и Доймой».

Исследованиями по применению системы РУС при бурении наклоннонаправленных нефтяных и газовых скважин занимались следующие ученые: Басарыгин Ю.М., Бриан С., Григорян Н.А., Дашиев Э.В., Калинин А.Г., МкМиллин К., Овчинников В.П., Повалихин А.С., Султанов Б.З. и др.

Отклоняющая способность системы ВЗД определяется ее жесткостью и боковой фрезерующей способностью долота. При этом значительное приращение искривления ствола может быть достигнуто вследствие фрезерования стенки ствола скважины, которое происходит под действием отклоняющей силы $P_{\text{от}}$, величину которой рекомендуется нами определять с учетом влияния собственного веса ВЗД и крутящего момента по формуле, имеющей вид:

$$P_{\text{от}} < \frac{16EI_{\tau}(0,43D_c + 0,3D - 0,73d_{\tau})\left(1 - \frac{P_c \cos \theta}{P_3}\right) - 0,29Q_{\tau}l_{\tau}^3 \sin \theta}{l_{\tau}^3 + 0,5D_c \mu l_{\tau}^2 \tan \theta}, \quad (1)$$

где: EI_T – жесткость при изгибе ВЗД, Н.м²; D_c – диаметр скважины, м; D – диаметр долота, м; d_T – диаметр ВЗД, м; P – осевая нагрузка на долото, Н.; P_3 – эйлерова сила, Н.; Q_T – вес ВЗД, Н.; l_T – длина ВЗД и долота, м.

В формуле (1) слагаемые вида $0,29Q_T l_T^3 \sin\theta$ и $0,5D_c \mu l_T^2 \tan\theta$ учитывают влияние собственного веса и крутящего момента соответственно, которое отражается на графиках, показанных на рис. 3. При этом использовались характеристики системы ВЗД типа BL962, применяемого в условиях бурения скважины №406: $l_T = (8,53 + 0,2)$ м; $Q_T = 22563$ Н; $d_T = 0,2445$ м; $EI_T = 32,198 \cdot 10^6$ Н.м²; $P = 130000$ Н; $D_c = m. 0,311$ м; $\mu = 0,2$; $\theta = 25^\circ$.

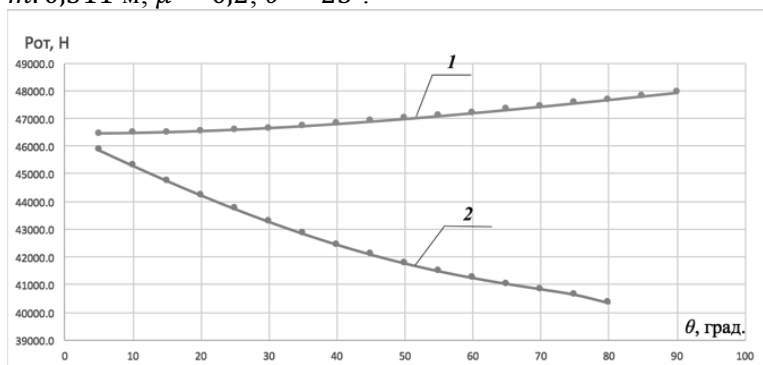


Рис. 3. Графики зависимостей отклоняющей силы от зенитного угла ствола скважины: 1 – без учета влияния веса ВЗД и крутящего момента; 2 – с учетом влияния веса ВЗД и крутящего момента.

В результате было установлено, что при бурении с применением ВЗД на интервалах набора кривизны величина отклоняющей силы постоянно варьируется, что приводит к ступенчатой форме ствола скважины.

Кроме того, установлено, что с увеличением зенитного угла степень влияния веса ВЗД и крутящего момента в формуле (1) на величину отклоняющей силы $P_{от}$ возрастает до 18,1%, что необходимо учитывать при формировании КНБК.

Проанализированы выше недостатки системы ВЗД предопределили необходимость применения более совершенной системы РУС. Нами рекомендуется применять систему РУС «push the bit», которая позволяет реализовать в мягких горных породах эффективное искусственное искривление за счет фрезерования стенок ствола скважины, и

обеспечивает практически неизменные значения отклоняющей силы $P_{от}$. Это позволяет повысить механическую скорость на 67-110% и снизить стоимость 1 м бурения на 11-22%.

Далее нами выполнено теоретическое обоснование выбора оптимальных значений угла установки резцов долот PDC применительно к перемежающимся по твердости горным породам месторождения «Южный Дракон и Доймой».

Исследования в этом направлении проводились следующими учеными: Айзуппе Э., Башкатов Д.Н., Богданов Р.К., Борисов К.И., Бентсен Р.Г., Будюков Ю.Е., Васильев Н.И., Владиславлев В.С., Кеннду Я.Л., Луммис И.Л., Нескоромных В.В., Мерфи Э., Попов А.Н., Рабиа Х., Синев С.В., Спиваков А.И., Сулакшин С.С., Соловьев Н.В, Третьяк А.А., Федоров В.С., Чефранов К.А., Эйгелес Р.М., Эпштейн Е.Ф, Шамансуров И.И. и др.

Была рассмотрена схема с отрицательным углом установки резцов, с позиции интенсивности их изнашивания. В качестве инструмента исследований нами был использован метод кинестатики, позволяющий оценить главные факторы, определяющие эффективность разрушения горной породы в процессе бурения скважин.

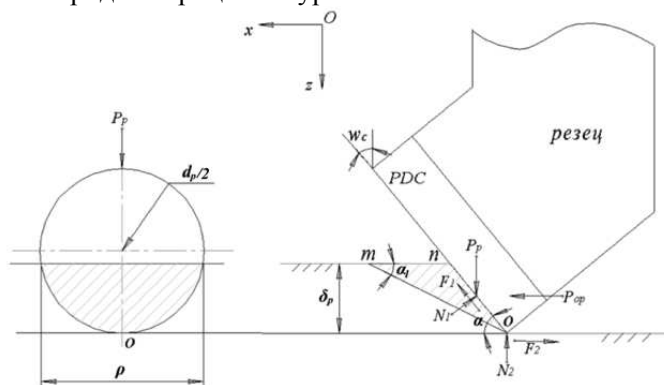


Рис. 4. Система действующих на резец сил.

Силы, действующие на резец указаны на рис. 4. Спроектировав все силы, действующие на резец, на координатные оси Oz и Ox , составили уравнения равновесия в виде:

$$\sum F_{kz} = P_p - N_2 - N_1 \cos \alpha - N_1 f \sin \alpha = 0; \quad (2)$$

$$\sum F_{kx} = P_{op} - N_2 f - N_1 \sin \alpha + N_1 f \cos \alpha = 0, \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (2) и (3) позволило получить выражение, определяющее силу трения F_2 , влияющую на интенсивность изнашивания торцевой поверхности резца, в виде:

$$N_2(f + 1) = P_p + P_{op} - N_1[\sin\alpha(1 + f) + \cos\alpha(1 - f)]$$

или с учетом принятого обозначения имеем

$$N_2(f + 1) = P_p + P_{op} - [C]. \quad (4)$$

Очевидно, что величина силы трения $N_2(f + 1)$ и соответствующая ей интенсивность изнашивания резца будут минимальны, если функция $[C]$ будет стремиться к максимуму. Для доказательства последнего утверждения необходимо определить силу сопротивления разрушению породы N_1 (рис. 4), которую находим по формуле вида

$$N_1 = \sigma_{ск}(1 + tg\varphi) \frac{\pi\sqrt{d_p}\delta_p^{3/2}\sin\alpha + 2\delta_p^2 \cos(90^\circ + \alpha_1 - \alpha)}{2\sin\alpha_1\sin\alpha}, \quad (5)$$

где: $\alpha_1 = \pi/4 - (\varphi + \theta_f - w_c)/2$ – угол скалывания, град.; φ – угол внутреннего трения; θ_f – эффективный угол трения между резцом и частично раздробленной породой, ; $\theta_f = 8 \div 13^\circ$; w_c – передний угол резца, град; d_p – диаметр резца м; $\sigma_{ск}$ – напряжение скалывания горной породы, Па.

Данное выражение (5) выключает глубину внедрения резца δ_p , которую определяем по формуле вида

$$\delta_p = \left(\frac{P_p}{2J\sigma_{см}(ctg\alpha + tg\alpha)(1 + tg\varphi)\sqrt{d_p}} \right)^{2/3}. \quad (6)$$

где: $J = (1 + f\sin 2\alpha)$; P_p – осевая сила на резец, Н.

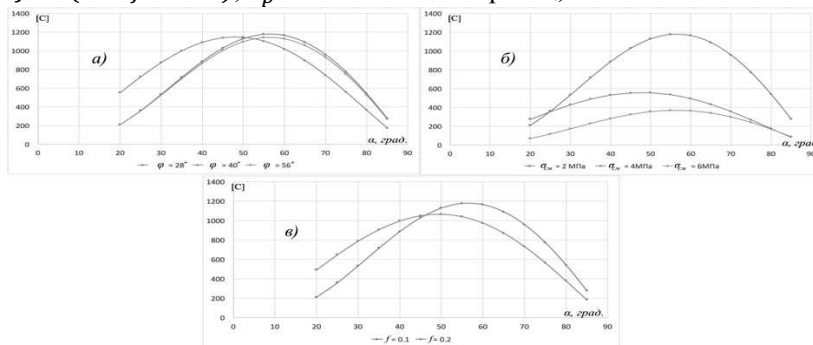


Рис. 5. Графики изменя функции $[C]$ в зависимости от угла установки α резца при изменении: а) угла внутреннего трения φ ; б) напряжения сжатия $\sigma_{см}$ и в) коэффициента трения f .

С учетом полученных выражений (5) и (6) построим графики изменения функции $[C]$ в зависимости от угла установки α резца, показанные на рис. 5. При этом в качестве исходных значений параметров, составляющих указанные выражения, принимаем: $P_z = 105000$ Н; $D = 0.311$ м; $d_p = 0.025$ м; МПа; $\sigma_{ск} = 6$ МПа; $m = 5$; $n = 130$ об/мин; $\theta_f = 8^\circ$.

Таким образом, нами установлено, что при бурении скважин в мягких горных породах с содержанием пород средней твердости следует использовать схему с отрицательным углом установки резцов *PDC*, изменяющимся в диапазоне значений $\alpha = 45^\circ \div 55^\circ$, при котором имеет место минимальное изнашивание торцевой поверхности резца *PDC*.

Кроме того, в задачу исследований входило аналитическое определение механической скорости бурения долотом *PDC* с отрицательным углом установки резцов. При этом нами за основу был принят методологический прием, предложенный профессором Е.Ф. Эпштейном для лопастного долота РХ, и одна из версий механизма разрушения пород средней твердости, согласно которой разрушение породы при отрицательном значении угла установки резца будет происходить за счет сдвига породы, заключенной в объеме призмы *omt* (рис. 4) в направлении действия окружной силы P_{op} в плоскости *om*, где по плоскости *om* и боковым граням *omt* призмы будут действовать скалывающие напряжения $\sigma_{ск}$.

С учетом принятых нами допущений были получены: во-первых, формула для определения средней механической скорости бурения в виде:

$$V_{\text{мех}} = 20\delta_p mn, \text{ м/ч} \quad (7)$$

где: n - частота вращения долота, об/мин; m - число лопастей долота; a , во-вторых, формула для определения мощности, затрачиваемой на разрушение долота *PDC* с отрицательным углом установки резцов, в виде:

$$N_d = \frac{\pi m^2 D n i}{120} \left(P_p f + \sigma_{ск} (1 + tg\varphi) \frac{\pi \sqrt{a_p} \delta_p^{3/2} \sin\alpha + 2\delta_p^2 \cos(90^\circ + \alpha_1 - \alpha)}{2\sin\alpha_1 \sin\alpha} K \right), \text{ Вт.} \quad (8)$$

Применительно к фактическим данным, характеризующим условия бурения скважин на исследуемом месторождении построены графики зависимостей $V_{\text{мех}} = f(\alpha)$ и $N_d = f(\alpha)$, показанные на рис. 6, подтверждающие результаты моделирования работы резца *PDC* в условиях стендовых испытаний.

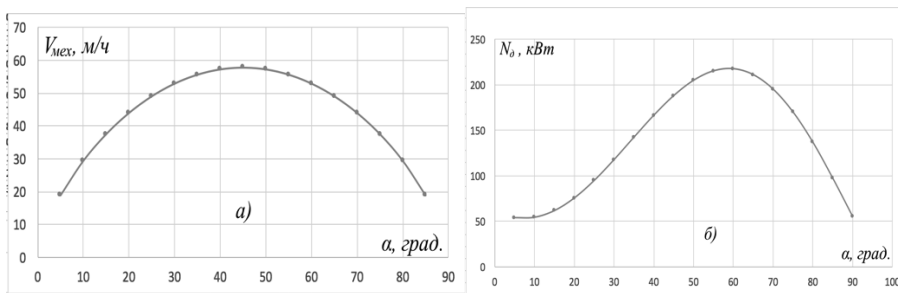


Рис. 6. Графики изменения показателей эффективности процесса бурения скважин в зависимости от угла установки α резца PDC: а - механической скорости $V_{\text{мех}}$ бурения; б - мощности, затрачиваемой на разрушение $N_{\text{д}}$ горных пород.

Таким образом, установленные аналитические зависимости механической скорости бурения $V_{\text{мех}}$ и мощности, затрачиваемой на разрушение $N_{\text{д}}$ горных пород, от угла установки резцов долот PDC позволили целенаправленно изменять его в соответствии свойствам горных пород перемежающихся по твердости.

Поскольку исследуемый участок разреза представлен перемежающимися по твердости горными породами с наличием глиносодержащих, то процесс бурения скважин сопровождался осложнениями, связанными с неустойчивостью стенок ствола скважин.

Исследованиям по разработке рациональных видов промывочных жидкостей при бурении в сложных геологических условиях были посвящены исследования Байдюка Б.В., Балабы В.И., Габузова Г. Г., Городнова В.Д., Грея Дж. Р., Кошелева В.Н., Липкеса М.И., Николаева Н.И., Новикова В.С., Сеид-Рзы М. К., Соловьева Н.В., Сулакшина С.С., Уляшева Н.М., Филатова Б.С., Чубика П.С., Шарафутдиновой Р.З. и др.

Для предупреждения возможных осложнений была решена задача по выявлению рецептуры ИБР, соответствующей указанным горно-геологическим условиям месторождения «Южный Дракон и Доймой». Для этой цели был проведен анализ существующих методов ингибирования глиносодержащих горных пород. Нами за основу были приняты два метода ингибирования буровых растворов, а именно, частичному изменению природы обменного комплекса глины и капсулированию глин полимерами. При разработке рецептур ингибирующих буровых растворов на объектах предприятия «Вьетсовпетро» нами учитывалось то, что наибольшее распространение получили следующие виды ингибиторов:

xanvis, duovis, KCl, ultrahib, ultracap, ultrafree, PHPA, PAG, pacseal LV. В связи с тем, что на исследуемом участке залегания глинодержащих отложений имелась практика применения различных по составу ИБР нами продолжены исследования полимерно-электролитных растворов.

В задачи лабораторных входили исследования технологических параметров рекомендуемых к применению ИБР таких как *FeCl₃-АКК*; *KCl-glycol* и *Ultradrill*, и выявлении рецептуры ИБР, в наибольшей степени соответствующей составу и свойствам отложений миоцена и олигоцена месторождения, представленных глинодержащими горными породами.

В четвертой главе приведены результаты стендовых исследований влияния угла установки резцов *PDC* на величину мощности, затрачиваемой на разрушение горной породы средней твердости с целью проверки теоретически полученной зависимости $N_d = f(\alpha)$. В результате выполненных исследований были построены графики зависимости $N_d = f(\alpha)$, приведенные на рис. 7. Графики функции $N_d = f(\alpha)$ подчеркивают качественное их сходство с графиком, построенным на основании теоретически полученной нами формулы (8), определяющей зависимость мощности N_d от угла установки резца *PDC* α .

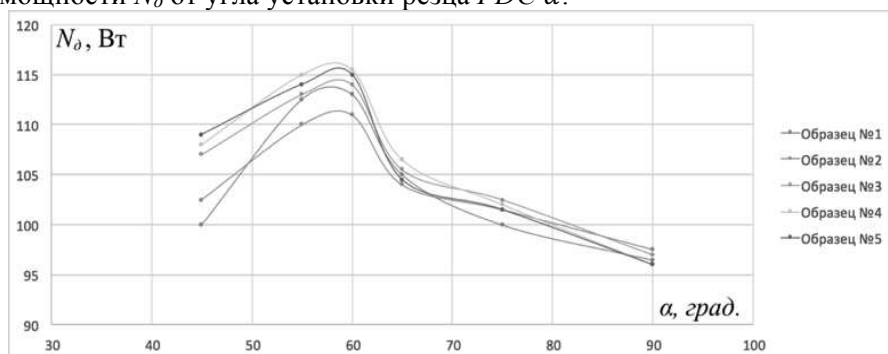


Рис. 7. Графики изменения мощности, затрачиваемой на разрушение горной породы N_d от угла установки α резца *PDC*.

При этом в процессе работы резца *PDC* фотографировались продукты разрушения опытного образца, изготовленного из глинистого сланца и определялись размеры срезаемой стружки. По результатам измерений был построен график изменения площади срезаемой стружки в зависимости от угла установки α резца *PDC*, показанные на рис. 8.

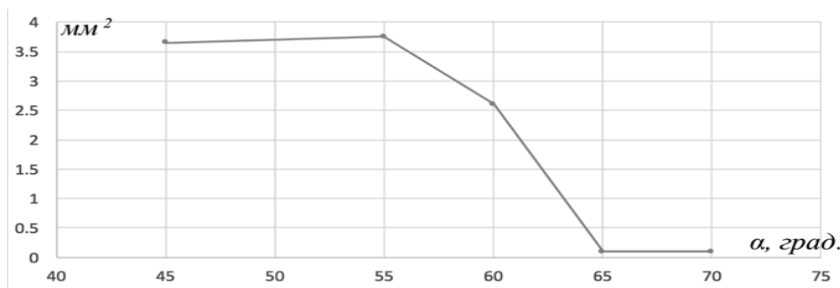


Рис. 8. Графики изменения площади срезаемой стружки в зависимости от угла установки α реза PDC.

Таким образом установлена зависимость площади частиц шлама от угла установки α реза, из которой следует, что в пределах рекомендуемого нами диапазона значений угла установки реза PDC $\alpha = 45^\circ \div 55^\circ$ реализуется наиболее энергетически совершенный режим разрушения породы средней категории твердости – режим резания - скалывания.

Кроме того, в данной главе приведены сведения о лабораторных исследованиях параметров полимерных ИБР $FeCl_3$ -АКК; KCl -glycol и *Ultradrill*, методикой которых предусматривалась оценка влияния температуры нагрева до $130^\circ C$ на реологические и структурные свойства ИБР, а также степень набухания глины в исследуемых растворах.

Исследования проводились с использованием лабораторно-измерительного комплекса «*Dinamic Linear Swellmeter with Compactor*», оснащенного специальной программой «*Swell meter*».

Экспериментальные исследования показывают, что буровой раствор *Ultradrill* обладает наиболее высокими значениями ДНС, прочности геля, показателя фильтрации и ингибирующей способностью в условиях высоких температур в сравнении с другими растворами.

Однако, такой ИБР как *Ultradrill* имеет один главный недостаток – эту высокую стоимость. Нами совместно с сотрудниками отдела «Буровые растворы» предприятия «Вьетсовпетро» предпринимались попытки создать более дешевые и равноценные по эффекту ингибирующего действия собственные рецептуры ИБР. Попытки завершились разработкой рецептур нового ИБР «*KGAC*», в состав которого вводились следующие ингибиторы: $FeCl_3$, АКК, *polyalkylene glycol (PAG)* и KCl .

Однако, использование ИБР «*KGAC*» не привело к повышению эффективности ингибирования, сопоставимой с *Ultradrill*. Применение

полимерного катионного ингибитора «HyPR-CAP», имеющего низкую молекулярную массу (меньше чем РНРА), практически не изменяющего вязкость раствора и способного флокулировать дисперсные частицы различного минералогического состава, позволило разработать базовую рецептуру ИБР «KGAC plus». Для определения оптимальной концентрации ингибитора «HyPR-CAP» в составе рецептуры ИБР «KGAC plus» были проведены, с нашим участием, лабораторные исследования на предприятии «Вьетсовпетро», результаты которых показали что:

- при концентрации ингибитора «HyPR-CAP» в диапазоне от 0,3 до 0,4% наблюдается активное проявление его ингибирующего действия на степень набухания глины (рис. 9);
- изменение степени набухания глины во времени в условиях высоких температуры и давления подчиняется независимо от рецептуры ИБР закономерности, представленной на рис. 10;

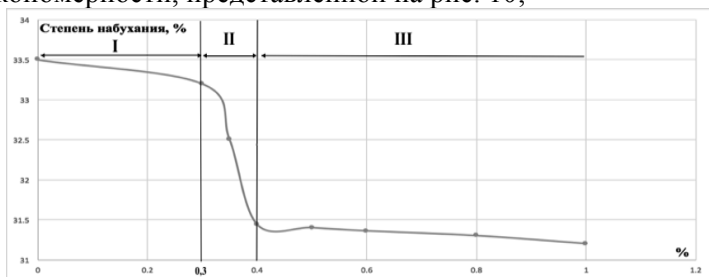


Рис. 9. График изменения степени набухания глины в зависимости от концентрации ингибитора «HyPR-CAP».

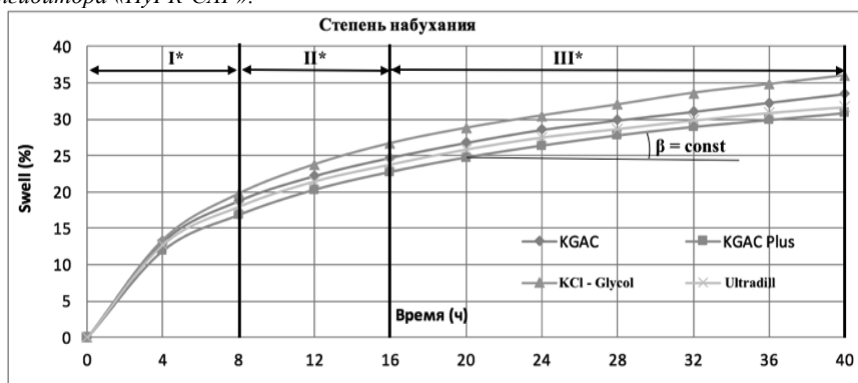


Рис. 10. Графики изменения степени набухания глины в исследуемых ИБР при температуре 130°C и высоком давлении (100 psi).

- по технико-экономическим показателям раствор «*KGAC-plus*» является наиболее соответствующим составу и свойствам глинодержащих горных пород отложений миоцена и олигоцена месторождения «Южный Дракон и Доймой» по сравнению с применяемыми буровыми растворами «*KCl - glycol*» и «*Ultradrill*», т.е. раствор «*KGAC-plus*» имеет высокую ингибирующую способность и низкую стоимость. Но для широкого внедрения его в производство необходимы дополнительные испытания на объектах предприятия «Вьетсовпетро».

Таким образом, установлено влияние полимерного реагента в составе исследуемых буровых растворов на ингибирующее действие в виде зависимостей величины степени набухания от концентрации реагента «*HyPR-CAP*» и времени контактирования глинодержащих горных пород, позволяющего оценить период наиболее активного набухания таких пород.

Пятая глава посвящена результатам производственных исследований, проведенных на объектах предприятия «Вьетсовпетро».

В первой части этой главы приведены результаты оценки эффективности применения в условиях месторождения «Южный Дракон и Доймой» системы РУС «*push the bit*», при этом в качестве оценочных критериев выступали: 1). механическая скорость бурения и 2). стоимость 1 м бурения.

Результаты сопоставительной оценки по указанным критериям приведены в таблице 1 соответственно.

Таблица. 1. Время, механическая скорость и стоимость 1 м бурения скважин на платформах *RC4* и *RC5* на участках диаметром 311 мм

Платформах №№	$V_{\text{мех}}$, м/час	Стоимость 1 м бурения, дол./м
<i>RC4 (BЗД)</i>	5,2	2554
<i>RC4 (РУС)</i>	8,7	1988
<i>RC5 (BЗД)</i>	7,7	1778
<i>RC5 (РУС)</i>	16,2	1518

А в второй части данной главы рассматривались вопросы оценки эффективности применения в производственном процессе полимерных ИБР $FeCl_3 - АКК$, $KCl - glycol$ и *Ultradrill*. В качестве оценочных критериев были приняты: 1). число осложнений; 2). стоимость 1 м³ бурового раствора; 3). стоимость 1 м бурения; 4). механическая скорость бурения. На основании полученных сведений был сделан вывод, о том, что при

бурении скважин в отложениях миоцена и олигоцена рекомендуется использовать ИБР *Ultradrill*, имеющий иные преимущества по всем исследуемым техническим параметрам. Однако, подготавливаются условия для широкого внедрения в производственный процесс более дешевого и разнозначного раствора *Ultradrill* по степени ингибирующего действия ИБР «*KGAC*», составленного по рецептуре разработанной нами совместно с сотрудниками отдела «Буровые растворы» предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разновидность «push the bit» системы РУС превосходит применяемую систему ВЗД и является системой соответствующей разрезу месторождения «Южный Дракон и Доймой» и рекомендуется к применению на объектах предприятия «Вьетсовпетро» при бурении наклонных участков скважин, поскольку позволяет увеличить механическую скорость на 67%-110% и снизить стоимость 1 м бурения на 14%-22%.

2. Получены аналитические и установлены экспериментальные зависимости механической скорости бурения по интервалам ($V_{\text{мех}}$), мощности, затрачиваемой на работу долота ($N_{\text{д}}$) и площади срезаемой стружки шлама ($A_{\text{ш}}$) от величины угла установки α резца долота PDC.

3. При бурении в мягких горных породах с содержанием пород средней твердости рекомендуется применять схему с отрицательным углом установки резцов PDC в диапазоне значений $\alpha = 45^\circ \div 55^\circ$.

4. При бурении скважин в мощных миоценовых и олигоценовых отложениях месторождения «Южный Дракон и Доймой» рекомендуется использовать ИБР *Ultradrill*, имеющий явные преимущества по всем исследуемым параметрам: ДНС, прочности геля и показателя фильтрации в условиях высоких температур в сравнении с применяемыми ИБР: $FeCl_3 - АКК$ и $KCl - glycol$.

5. Оптимальная концентрация ингибитора «*HuPR-CAP*» в рецептуре ИБР «*KGAC-plus*» составляет 0,4%. При этом параметры раствора «*KGAC-plus*» отвечают техническим требованиям.

6. По технико-экономическим показателям раствор «*KGAC-plus*» является наиболее соответствующим составу и свойствам глинодержащих горных пород отложений миоцена и олигоцена месторождения «Южный Дракон и Доймой» по сравнению с применяемыми буровыми

растворами «KCl - glycol» и «Ultradrill», т.е. раствор «KGAC-plus» имеет высокую ингибирующую способность и низкую стоимость.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

а) Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

1. Нгуен Тиен Хунг. Разработка элементов эффективной технологии бурения скважин на месторождениях углеводородов предприятия «Вьетсовпетро»/ Соловьев Н.В., Нгуен Тиен Хунг// Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». –2015. –№2. С. 45-49.

2. Нгуен Тиен Хунг. Теоретический метод обоснования конструктивных параметров долот режуще-скалывающего действия. / Соловьев Н.В., Арсентьев Ю.А., Нгуен Тиен Хунг, Курбанов Х. Н.// Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». –2015. – №3. С. 16-25.

3. Нгуен Тиен Хунг. Анализ рациональных условий применения ингибированных буровых растворов при проходке нефтяных скважин в бассейне «Кыу Лонг» (СРВ)./Соловьев Н.В., Чан Суан Дао, Нгуен Тиен Хунг, Чыонг Ван Ты// Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». –2016. –№1. С. 16-24.

4. Нгуен Тиен Хунг. Эффективность применения роторной управляемой системы для бурения скважин на предприятии Вьетсовпетро (СРВ)./ Нгуен Тиен Хунг// Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – 2016. – №2. С. 31-38.

5. Нгуен Тиен Хунг. Реологические свойства биополимерных буровых растворов./ Соловьев Н.В., Курбанов Х.Н., Нгуен Тиен Хунг// Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». –2016. –№3. С. 8-17.

б) Статьи в изданиях и материалах конференций.

6. Нгуен Тиен Хунг. Технология бурения скважин на углеводороды в неоднородных по составу и свойствам горных пород./ Нгуен Т. Х. //XII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». Москва: - МГРИ-РГГРУ. – 2015. С. 142-143.

7. Нгуен Тиен Хунг. Эффективность применения роторной управляемой системы (РУС) для бурения скважин на предприятии «Вьетсовпетро» (СРВ)./ Арсентьев Ю.А., Нгуен Т. Х.// VIII Международной межвузовской научной конференции «Молодые - наукам о Земле». Москва: -РГГРУ. – 2016. С. 45-46.