

На правах рукописи

ТРОХОВ ВЛАДИСЛАВ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
ПРОЕКТНОЙ ТРАЕКТОРИИ НАКЛОННО НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ухта - 2015

Диссертация выполнена на кафедре бурения ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет».

Научный руководитель: **Светлана Александровна Кейн** –
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Владимир Тимофеевич Лукьянов** –
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
разработки и эксплуатации нефтяных и газовых
месторождений ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский
федеральный университет»

Сергей Алексеевич Краснов –
кандидат технических наук, ООО Буровая Сервисная
Компания «РИНАКО» г. Москва, заместитель
начальника отдела технологий Департамента качества
строительства и эксплуатации скважин

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»

Защита состоится 23 апреля 2015 г. в 10:00 на заседании диссертационного
совета Д 212.291.01 при Ухтинском государственном техническом университете по
адресу: 169300 г. Ухта Республики Коми, ул. Первомайская, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ухтинского государственного
технического университета и на сайте <http://www.ugtu.net/> в разделе «Диссертации».

Автореферат разослан 2015 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.291.01,
кандидат технических наук, профессор

Н. М. Уляшева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Опыт проводки наклонно направленных скважин показывает, что фактические траектории не вполне соответствуют проектному профилю.

На отклонение ствола скважины от проекта влияет целый ряд геологических, технических и технологических факторов. Степень влияния этих факторов на выполнение проектной траектории остается недостаточно изученной, тем не менее, оценка их значимости позволяет прогнозировать те технико-технологические условия, которые обеспечат проводку фактического ствола скважины в заданном коридоре отклонения от проектной траектории.

Прямолинейно наклонный участок (стабилизации зенитного угла или горизонтальный) является одним из самых протяженных и ответственных при проводке проектной траектории. Его бурение выполняется сочетанием двух способов. Часть участка бурится направленно двигателем-отклонителем (слайдинг), часть вращением двигателя-отклонителя ротором с небольшой скоростью – 30-40 оборотов в минуту. Технология сочетания слайдинга и вращения компоновки ротором применяется сравнительно недавно, поэтому исследования в этом направлении представляют научный и практический интерес.

Решение задачи выполнения проектной траектории невозможно без поиска оптимальных размеров элементов компоновки нижней части бурильной колонны. Разработка требований к упругим свойствам и линейным размерам отдельных секций КНБК является важным этапом ее проектирования, определяющим функциональные возможности КНБК.

Из выше сказанного следует, что разработка технико-технологических рекомендаций и оптимизация параметров компоновки нижней части бурильной колонны по выполнению проектной траектории является актуальной задачей, решение которой позволит повысить технико-экономические показатели бурения наклонно направленных скважин.

Цель работы

Разработать технико-технологические решения по обеспечению проектной траектории наклонно направленных скважин за счет оптимизации технологии проводки участка стабилизации и параметров компоновок нижней части бурильной колонны.

Основные задачи исследований

1. Анализ теории и практики проводки наклонно направленных скважин, в том числе участка стабилизации с применением винтовых забойных двигателей-отклонителей.
2. Методическое обоснование применения нейросетевой технологии для факторного анализа по обеспечению проектной траектории скважины.
3. Разработка технико-технологических рекомендаций по обеспечению проектной траектории наклонно направленных скважин на участке стабилизации с применением нейросети.
4. Исследование и оптимизация компоновок нижней части бурильной колонны для обеспечения проектных параметров траектории.

Научная новизна

1. На примере группы месторождений Тимано-Печорской провинции с использованием нейросетевой технологии установлена степень влияния на отклонение фактической траектории от проектной по зенитному углу на участке стабилизации следующих параметров: весовая значимость твердости пород – 1,0; осевого люфта вала шпинделя винтового забойного двигателя-отклонителя – 0,95; величины зенитного угла скважины – 0,90.
2. Установлена степень влияния на отклонение фактической траектории от проектной по азимуту на участке стабилизации следующих параметров: весовая значимость величины зенитного угла – 1,0; осевой нагрузки на долото – 0,87; уширение ствола – 0,83.
3. Определены области изменения угла перекоса между силовой и шпиндельной секциями двигателя, позволяющие активно менять радиус искривления скважины или стабилизировать его: при изменении угла перекоса от $1,0^\circ$ до $1,4^\circ$ темп прироста радиу-

са искривления составляет 200-300%; при изменении от $1,4^\circ$ до $3,0^\circ$ – 10-20%. Увеличение разности между диаметрами долота и двигателя, увеличивает темп прироста радиуса.

Основные защищаемые положения

1. Факторный анализ, выполненный с применением нейросетевой технологии на базе промысловой информации по группе месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, позволил выявить степень влияния параметров на стабилизацию зенитного угла и азимута скважины одновременно: весовая значимость величины зенитного угла – 1,0; твердости пород – 1,0 и осевого люфта – 0,95.
2. Применение обученной и протестированной нейросети для прогноза геологических и технико-технологических условий проводки участка стабилизации позволяет обеспечить отклонение фактической траектории от проектной в заданном коридоре допуска.
3. Установлено, что при зазоре между диаметрами долота и двигателя не более 10-11% и отношении длины нижней секции двигателя к длине верхней не менее 0,33, увеличение радиуса искривления скважины происходит на 10-15% при изменении зенитного угла скважины (от 10° до 45°) и места установки опорно-центрирующего устройства выше двигателя-отклонителя (от 3 до 15 метров).

Практическая значимость

1. На основе прогноза с применением нейросетевой технологии разработаны оптимальные условия для проводки участка стабилизации, выполнение которых обеспечивает проводку траектории в коридоре значений по зенитному углу $\pm 0,2^\circ$, по азимуту $\pm 1,5^\circ$:
 - для одновременной стабилизации зенитного угла и азимута зенитный угол должен быть не менее 39° , а участок планировать к бурению в отложениях пород твердостью; 4÷5;
 - осевой люфт вала шпинделя не должен превышать 4÷5 мм, кавернозность пород не более 1,14;

– радиальный люфт должен быть не более 1 мм, отношение длины нижнего плеча двигателя-отклонителя к длине верхнего должно быть больше $\approx 0,33$, вращение КНБК ротором производить 70÷80% от общей длины участка.

2. Использование винтового забойного двигателя диаметром 240 мм с долотом диаметром 269,9 мм и двигателя 195 мм с долотом 215,9 мм обеспечивает незначительное изменение радиуса кривизны (11% и 10% соответственно) при изменении места установки верхнего опорно-центрирующего устройства от 6 до 15 метров.

3. При изменении угла перекоса осей между шпиндельной и двигательной секциями двигателя-отклонителя от $1,0^\circ$ до $1,4^\circ$ темп прироста радиуса искривления скважины составляет 200-300%; при изменении от $1,4^\circ$ до $3,0^\circ$ – 10-20%. Увеличение разности между диаметрами долота и двигателя, увеличивает темп прироста радиуса.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались на международных научно-технических конференциях «Севергеоэкотех» при Ухтинском государственном техническом университете в 2011, 2012 и 2014 г.г., на научно технической конференции преподавателей и сотрудников УГТУ (2012 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Нефтегазовое и горное дело», г. Пермь в 2012 г.; Республиканском научно-практическом форуме «Инновационные технологии – основа развития национальной экономики», Сыктывкар, 2012 и 2013 годах; Республиканском молодежном инновационном конвенте «Молодежь – будущему Республики Коми», Ухта, апрель 2014 года. Использовались при разработке дипломных работ и магистерских диссертаций на кафедре бурения Ухтинского государственного технического университета.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 109 наименований, содержит 153 страницы текста, включая 52 рисунка и 42 таблицы.

Публикации

Основные результаты исследований опубликованы в 8 статьях, в том числе в 3 изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю: профессору, кандидату технических наук Светлане Александровне Кейн за постоянный контроль и неоценимую помощь в подготовке работы.

Автор признателен ректору Ухтинского государственного технического университета, профессору, доктору технических наук Николаю Денисовичу Цхадая за создание оптимальных условий для подготовки работы.

Автор благодарен кафедре бурения Ухтинского государственного технического университета, и лично заведующей кафедрой, кандидату технических наук, профессору Н. М. Уляшевой, кандидату технических наук, доценту Ю. Л. Логачеву, а также доктору технических наук, профессору А. С. Повалихину за консультации и советы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность диссертационной работы.

В первой главе выполнен анализ теории и практики проводки наклонно направленных скважин, в том числе участка стабилизации с применением винтовых двигателей-отклонителей.

Среди работ, выполненных в этом направлении, следует отметить исследования ученых, таких как, Балденко Д. Ф., Балденко Ф. Д., Белоруссов В. О., Беляев В. М., Булатов А. И., Буслаев В.Ф., Вудс Г., Гержберг Ю. М., Гноевых А. Н, Гулизаде М. П., Григулецкий В. Г., Калинин А. Г., Кейн С. А., Копылов А. С., Лубинский А., Лукьянов В. Т, Мелентьев Н. Я., Повалихин А. С., Прохоренко В. В., Солодкий К. М., Сулакшин С. С., Султанов Б. З., Хегай В. К., Юнин Е. К. и других.

Авторами отмечается, что отклонение фактической траектории от проектной определяется в общем случае большим числом причин и факторов, при этом в определенных условиях первоочередное значение имеют причины геологического характера,

в других – велико влияние выбранной техники и технологии. Выяснить, какова степень влияния разных факторов и учитывать их приоритет при проектировании важнейших участков траектории скважины является интересной и важной задачей.

На основе анализа промысловой информации, собранной по группе месторождений Тимано-Печорской провинции, показано, что при проводке участка стабилизации зенитного угла на его отклонение от фактической траектории наиболее существенное влияние имеют следующие факторы: твердость пород, уширение ствола, величина зенитного угла на участке стабилизации, осевой и радиальный люфт вала шпинделя забойного двигателя, отношение длин плеч нижней и верхней секций забойного двигателя-отклонителя, доля участка направленного бурения от общей длины участка стабилизации, осевая нагрузка.

Таким образом, для выявления степени влияния этих факторов на величину отклонения фактической траектории от проектных параметров участка стабилизации и прогноза геологических технико-технологических условий, при которых выполнение участка будет обеспечиваться в заданном коридоре, необходимо провести промысловые исследования, на основе которых выполнить факторный анализ.

Вторая глава посвящена разработке методического обоснования применения нейросетевой технологии для выполнения факторного анализа по проводке участка стабилизации в пределах проектных параметров.

Выявление степени влияния большого числа причин и факторов на конечный результат является задачей многофакторного анализа, который традиционно принято выполнять методами математической статистики. Методы математической статистики работают в том случае, если между функцией и аргументом установлена корреляционная или функциональная связь. Если такая связь не наблюдается, или она не установлена, то в этом случае целесообразно использовать нейросеть.

Искусственные нейронные сети являются удобным и естественным базисом для представления информационных моделей. Нейросеть может быть достаточно формально определена, как совокупность простых процессорных элементов (часто называемых нейронами), обладающих полностью локальным функционированием, и объединенных однонаправленными связями (называемыми синапсами). Сеть принимает

входной сигнал, и пропускает его сквозь себя с преобразованиями в каждом процессорном элементе. В процессе прохождения сигнала по связям сети происходит его обработка, результатом которой является определенный выходной сигнал. На вход нейрона поступает некоторое множество сигналов, каждый из которых является выходом другого нейрона. Каждый вход умножается на соответствующий вес, аналогичный синоптической силе, и все произведения суммируются, определяя уровень активации нейрона. На рисунке 1 представлена модель, реализующая эту идею.

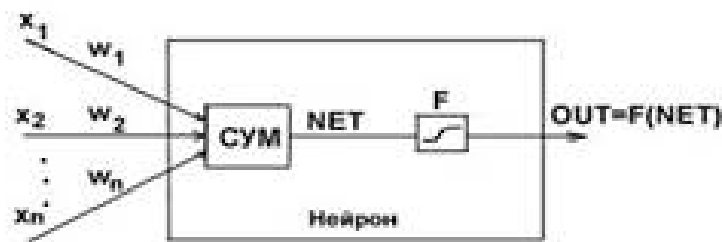


Рисунок 1 Схема работы нейронной сети с активационной функцией

Множество входных сигналов, обозначенных $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, поступает на искусственный нейрон. Каждый сигнал умножается на его вес $w_1, w_2, w_3 \dots w_n$ и поступает на суммирующий блок, обозначенный СУМ. Каждый вес соответствует "силе" одной синоптической связи. Суммирующий блок, соответствующий телу биологического элемента, складывает взвешенные входы алгебраически, создавая выход NET. Сигнал NET далее, как правило, преобразуется активационной функцией F и дает выходной нейронный сигнал OUT. Активационную функцию можно считать нелинейной усилительной характеристикой искусственного нейрона. Коэффициент усиления вычисляется как отношение приращения величины OUT к вызвавшему его небольшому приращению величины NET

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. При обучении нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. В случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутство-

вали в обучающей выборке, а также неполных и/или «зашумленных», частично искаженных данных. Информационная модель процесса, реализованная нейросетью, позволяет на основе исходной информации выявить влияние входных параметров на выходные, затем по обученной сети осуществить прогноз и, таким образом, принять объективно более обоснованные технологические решения.

Таким образом, нами принято решение об использовании искусственной нейронной сети для выполнения факторного анализа для выявления степени влияния параметров на отклонение фактической траектории от проектной. Затем по обученной и протестированной нейронной сети осуществить прогноз условий проводки участка стабилизации в заданном коридоре отклонения от проекта.

В третьей главе разработаны технико-технологических рекомендации по обеспечению проектной траектории наклонно-направленных скважин на участке стабилизации с применением нейросетевой технологии.

Участок стабилизации является одним из важнейших при реализации проектной траектории. Его проводка осуществляется сочетанием двух способов: работа отклоняющей компоновкой с винтовым забойным двигателем-отклонителем (ВЗДО) и вращение этой же компоновки ротором, что позволяет сократить число спуско-подъемных операций и улучшить технико-экономические показатели бурения скважин. Доля проходки, выполненной с вращением компоновки, меняется от 60% до 80%.

Для обучения и тестирования нейросети, была собрана и подготовлена информационная база, в которую включена промысловая информация по бурению наклонно направленных скважин на месторождениях Тимано Печорской провинции: Харьягиском, Юрьяхинском, Южно-Шапкинском (Средне-Серчеюский купол), Северо-Кожвинском, Южно-Лыжском и Ошском месторождениях.

В качестве входных параметров (факторов) нейросети использовались данные инклинометрии скважин (угол, азимут, длина по стволу скважины); данные о геологическом строении разреза (твердость пород, каверзность); данные характеристик забойных двигателей-отклонителей (угол перекоса осей нижней и верхней секций отклонителя, длины верхнего и нижнего плеч ВЗДО);

Таблица 1 – Исходная информационная база для нейросети

Параметры Месторождение	Зенитный угол, град	Азимут, град	Средневзвешенная твёрдость пород	Коэффициент кавер- нозности	Геометрические характеристики вин- тового забойного двигателя- отклонителя			Количество метров направленного бурения, м	Общая длина участка, м	Осевая нагрузка, т	Осевой люфт, мм	Радиальный люфт, мм
					Угол перекоса верхней и нижней секций, град	Длина нижней секции, мм	Длина верхней секции, мм					
Ю-Юрьяхинское 1	30,7	78,9	5,4	1,06	1,39	2350	6372	155	1000	5	5	1
Ю-Юрьяхинское 2	18,6	149,3	5,2	1,01	1,01	2514	3995	42	454	12	2	1
Ю-Юрьяхинское 3	26,5	189,5	5,8	1,04	0,81	3104	4620	121	1060	8	3	1
Ю-Юрьяхинское 4	28,9	255,0	4,6	1,05	0,85	2771	6813	70	550	9	2	1
Ю-Шапкинское	41,4	87,7	4,5	1,15	0,84	2758	6668	49	270	4	2	0
С-Кожвинское 1	21,1	110,0	4,0	1,12	1,50	2060	6860	73	750	8	4	1
С-Кожвинское 2	27,0	175,8	4,0	1,12	1,50	2070	6980	205	710	7	4	2
С-Кожвинское 3	25,0	358,6	4,3	1,11	1,50	2070	6670	272	879	7	5	3
Ю-Лыжское 1	44,1	220,2	4,0	1,12	1,50	2120	7800	81	300	9	3	3
Ю-Лыжское 2	31,6	222,1	4,1	1,11	1,50	2090	7022	191	1040	6	4	2
Ю-Лыжское 3	30,1	191,7	4,1	1,11	1,42	2360	7000	418	1470	8	3	0
Ю-Ошское 1	24,4	175,8	3,0	1,13	1,50	2435	7950	89	820	7	4	2
Ю-Ошское 2	29,5	206,3	4,2	1,13	1,50	2430	8099	363	1030	7	5	2

данные контроля за состоянием ВЗДО до спуска в скважину и по окончании рейса (радиальный и осевой люфты вала шпинделя ВЗДО), данные по рейсу ВЗДО (количество часов и метров, пробуренных направленно); показания индикатора веса. Всего использовалась информация по 13 скважинам, пробуренным на шести месторождениях (таблица 1).

Компоновки низа бурильной колонны, используемые при бурении участка стабилизации на исследуемых месторождениях, представлены на рисунке 2.

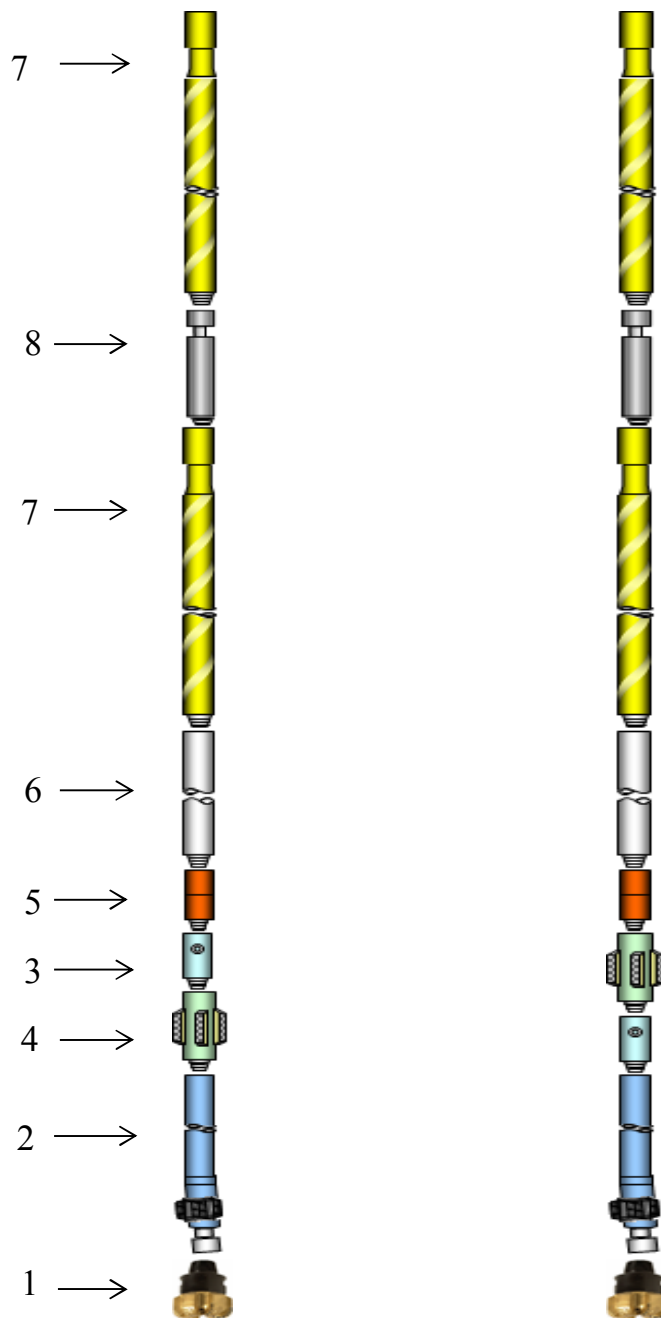


Рисунок 2 Компоновка нижней части бурильной колонны

На рисунке 2 использованы следующие обозначения: 1) долото; 2) винтовой забойный двигатель-отклонитель; 3) обратный клапан; 4) опорно-центрирующий элемент; 5) безопасный переводник; 6) немагнитные утяжелённые бурильные трубы с телесистемой; 7) утяжелённые бурильные трубы; 8) ясс.

Технология работы с нейросетью включала следующие этапы: 1) формирование системы входных параметров, влияющих на выходные; 2) анализ степени влияния входных параметров на выходные (определение весовых значимостей), 3) разработка технико-технологических рекомендаций на основе прогноза, полученного обученной нейросетью.

На первом этапе выполнялась предварительная обработка входных параметров (факторов); формирование обучающего множества для построения нейронной сети; обучение нейронной сети с помощью программы-нейростимулятора; тестирование нейронной сети и проверка ее прогнозной способности; выявление наиболее значимых факторов.

Предварительная обработка включала следующую последовательность операций: 1) формирование обучающей последовательности (определение списка входных факторов, влияющих на выходной); 2) приведение входных параметров к безразмерному нормализованному виду (от -1 до +1); 3) преобразование параметров к бинарному виду.

Входной вектор включал восемь нормализованных величин: x_1 – относительная твердость пород; x_2 – относительное уширение ствола; x_3 – относительный зенитный угол на участке стабилизации; x_4 – отношение длин плеч нижней и верхней секций ВЗДО; x_5 – доля участка стабилизации, пробуренная с вращением ВЗДО ротором; x_6 – относительная осевая нагрузка; x_7 – относительный осевой люфт двигателя; x_8 – относительный радиальный люфт двигателя.

Были определены выходные критерии нейросети.

1) Критерий Y_1 , характеризующий относительное отклонение траектории по зенитному углу, равный среднему значению отношения разницы фактического $\alpha_{факт}$ и проектного $\alpha_{пр}$ значений зенитного угла к его проектному значению $\alpha_{пр}$.

2) Критерий Y_2 , характеризующий относительное отклонение траектории по азимуту, равен среднему значению отношения разницы фактического и проектного значений азимута к его проектному значению.

С помощью обученной и протестированной нейронной сети, формирующей правильные прогнозы, были определены весовые значимости входных факторов, которые представлены на диаграммах рисунков 3 и 4.

Был выполнен прогноз входных параметров, обеспечивающих выполнение проектной траектории, так, чтобы отклонение по зенитному углу не превышало $\pm 0,2^\circ$, а по азимуту $\pm 1,5^\circ$, то есть абсолютную ошибку показаний телесистемы.

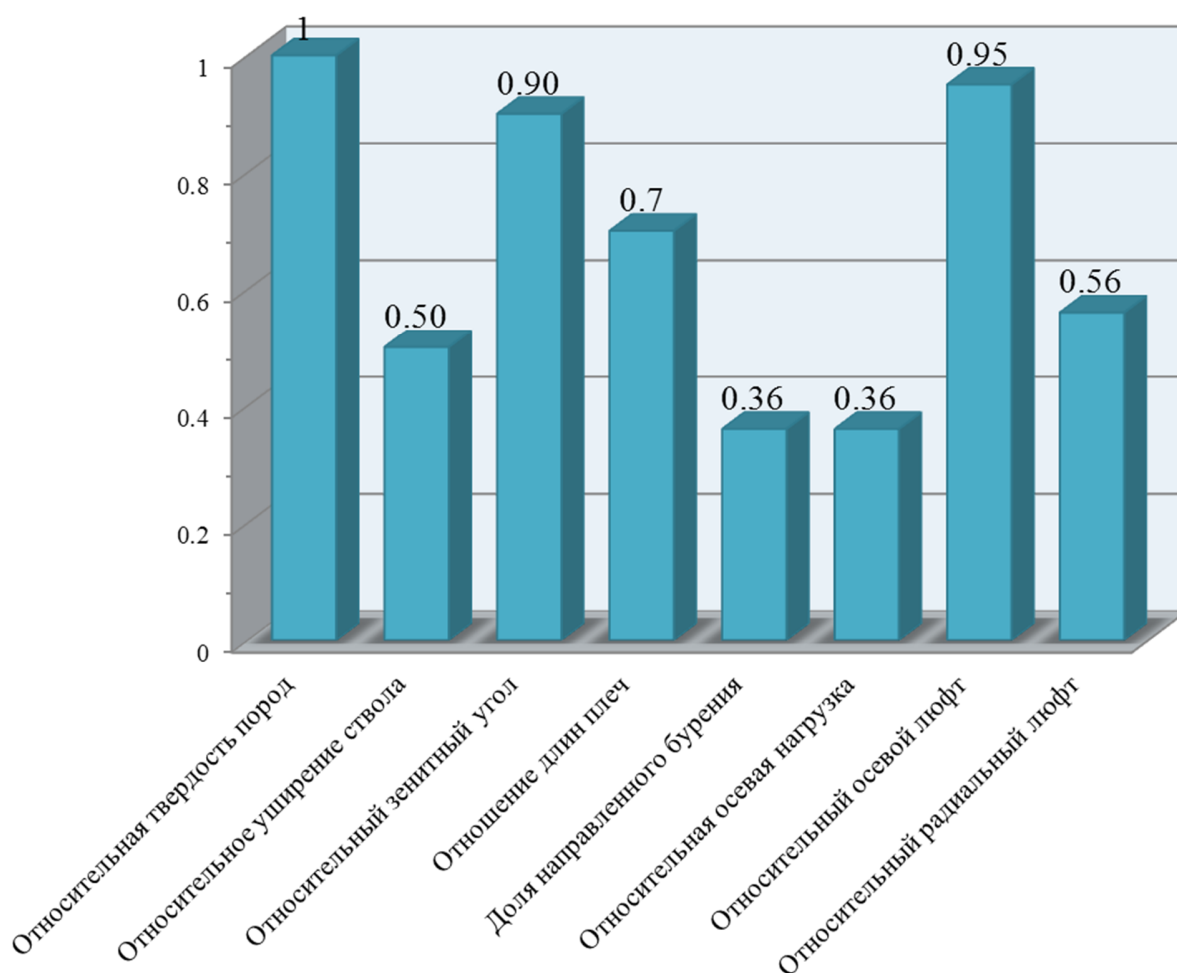


Рисунок 3 Диаграммы значимости входных параметров для критерия «относительное отклонение по зенитному углу»

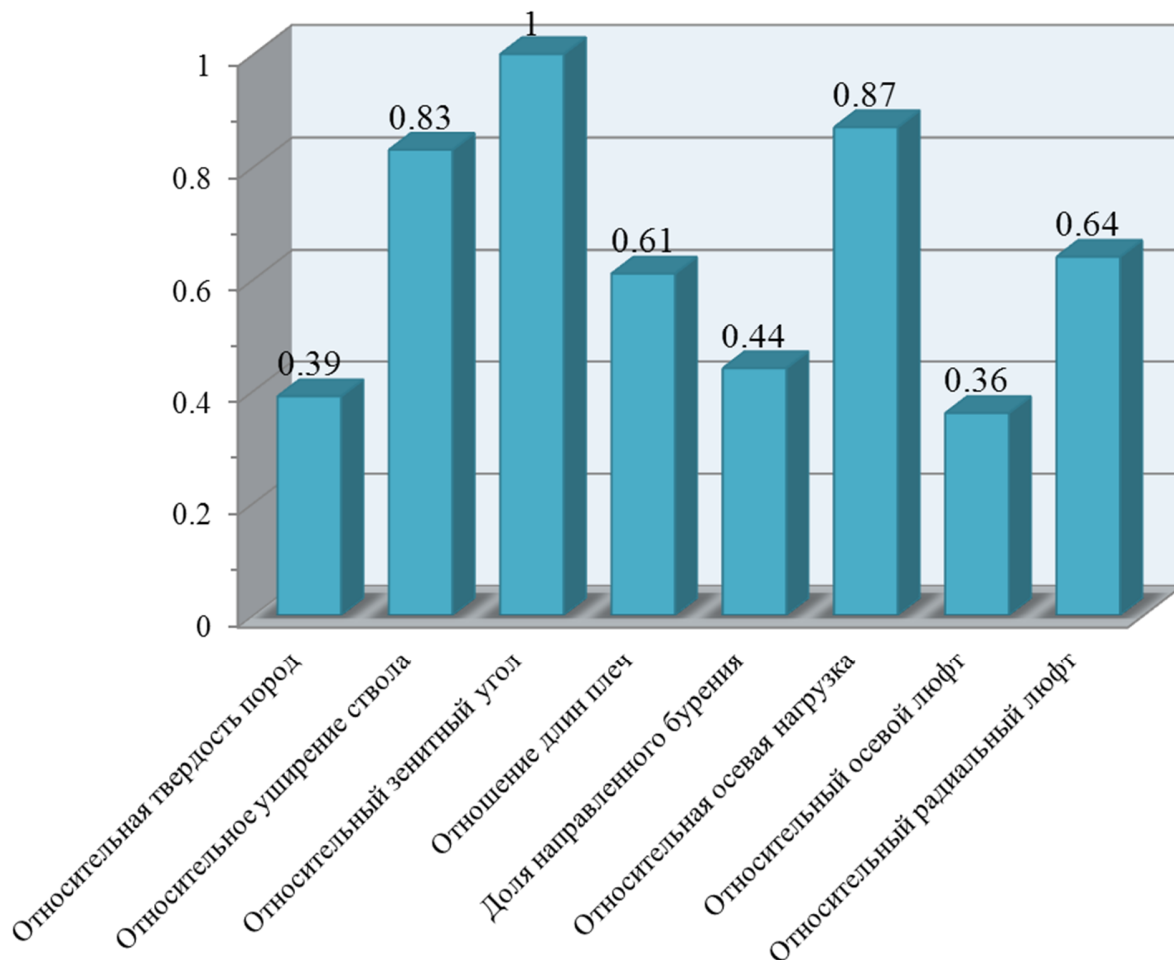


Рисунок 4 Диаграммы значимости входных параметров для критерия «относительное отклонение по азимуту»

Прогнозная модель построена на последовательности значений входного вектора, включающей все возможные сочетания его значений, равного 2^8 , где 8 – число входных параметров. Это позволило найти входной вектор, при которых будут обеспечены требуемые значения отклонений (таблица 2).

После анализа мы принимаем к проектированию вектор, удовлетворяющий одновременно двум заданным критериям: $Y(Y_1; Y_2)$.

Таблица 2 – Прогнозные значения входных параметров

Параметр	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
$Y_1 = 0,0022$	0,36	0,118	0,316	0,332	0,284	0,558	0,662	0,68
$Y_2 = 0,0042$	0,354	0,142	0,438	0,396	0,18	0,65	0,346	0,116

Входной вектор $\{X_{i=1\div 8}\}$ составлен с учетом весовых значимостей входных параметров. Таким образом, входной вектор должен иметь следующий вид (в безразмерных относительных значениях) $X_{рек} = \{X_3; X_1; X_4; X_2; X_7; X_6; X_8; X_5\}$, то есть, для выполнения двух выходных критериев одновременно, в первую очередь необходимо обеспечить зенитный угол на участке стабилизации, вторым по значимости фактором является твердость пород, третьим – осевой люфт вала шпинделя ВЗДО.

Совершив обратное преобразование к абсолютным значениям, получили следующие рекомендации, выполнение которых обеспечивает проводку траектории в коридоре значений по зенитному углу $\pm 0,2^\circ$, по азимуту $\pm 1,5^\circ$:

1. зенитный угол на участке стабилизации должен составлять не менее 39° , что обеспечивает не только стабилизацию зенитного угла, но и стабилизацию азимутального искривления;
2. участок стабилизации рекомендуется планировать к бурению в породах категории 4÷5 (классификация твердости горных пород по Л. А. Шрейнеру);
3. кавернозность пород должна быть не более 1,14;
4. осевой люфт вала шпинделя не должен превышать 4÷5 мм, радиальный люфт (в большей степени приводит к азимутальному искривлению) не должен превышать 1 мм;
5. отношение длины нижнего плеча двигателя-отклонителя к длине верхнего должно составлять $\approx 0,33$,
6. количество метров, пройденных отклонителем с вращением ротором, должно составлять 70÷80% от общей длины участка.

Четвертая глава посвящена исследованию и оптимизации параметров компоновок нижней части бурильной колонны для обеспечения проектной траектории.

Решение задачи проводки траектории скважины невозможно без поиска оптимальных размеров элементов компоновки нижней части бурильной колонны. Критерием оптимизации геометрических размеров отклоняющей компоновки является равенство нулю отклоняющей силы на долоте и равенство нулю угла между осью долота и осью скважины. В этом случае КНБК вписывается в скважину с радиусом искривления R и фрезерование забоя происходит в направлении оси скважины.

Использована математическая модель, разработанная во ВНИИБТ, по которой упруго-напряженная КНБК описывается дифференциальным уравнением изгибающих моментов четвертого порядка. Расчетная схема реализована А.С. Повалихиным в программном продукте «Буровая навигация», который был использован для исследования и поиска оптимальных параметров компоновки.

В состав компоновок, как правило, включены винтовые забойные двигатели-отклонители, калибраторы, немагнитные трубы с телесистемой, безопасный переводник. Характеристики компоновок нижней части бурильной колонны, для которых проводились исследования, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики компоновок нижней части бурильной колонны

Величина	Значение					
	КНБК №1	КНБК №2	КНБК №3	КНБК №4	КНБК №5	КНБК №6
Диаметр долота, мм	139,7	139,7	215,9	215,9	269,9	295,3
Диаметр ВЗДО, мм	106	127	172	195	240	240
Длина первой секции ВЗДО, м	1,8	1,8	2,6	1,9	2,9	2,9
Длина второй секции ВЗДО, м	3,6	3,6	5,3	6,7	5,8	5,8
Жесткость на изгиб, кН*м ²	656,6	1372	3920	8271,2	15366,4	15366,4
Диаметр УБТ, мм	108	108	178	178	203	219

Выполнены исследования зависимости радиуса искривления от величины зенитного угла, величины угла перекоса осей двигателя-отклонителя, отношения длины нижнего плеча к длине верхнего; отношения диаметра двигателя к диаметру долота и места установки верхнего опорно-центрирующего устройства. Результаты расчетов приведены на графиках рисунков 5 – 8.

На рисунке 5 приведены зависимости радиуса искривления от величины зенитного угла для разных отношений длины нижней секции к длине верхней секции забойного двигателя-отклонителя диаметром 240 мм, долото 295,3 мм.

Анализ пределов изменения радиуса искривления, представленный в таблице 4, позволяет сделать заключение, что при отношении длин секции, равном 0,33 и 0,4 работа КНБК происходит устойчиво, радиус искривления изменяется на 13 и 15 %.

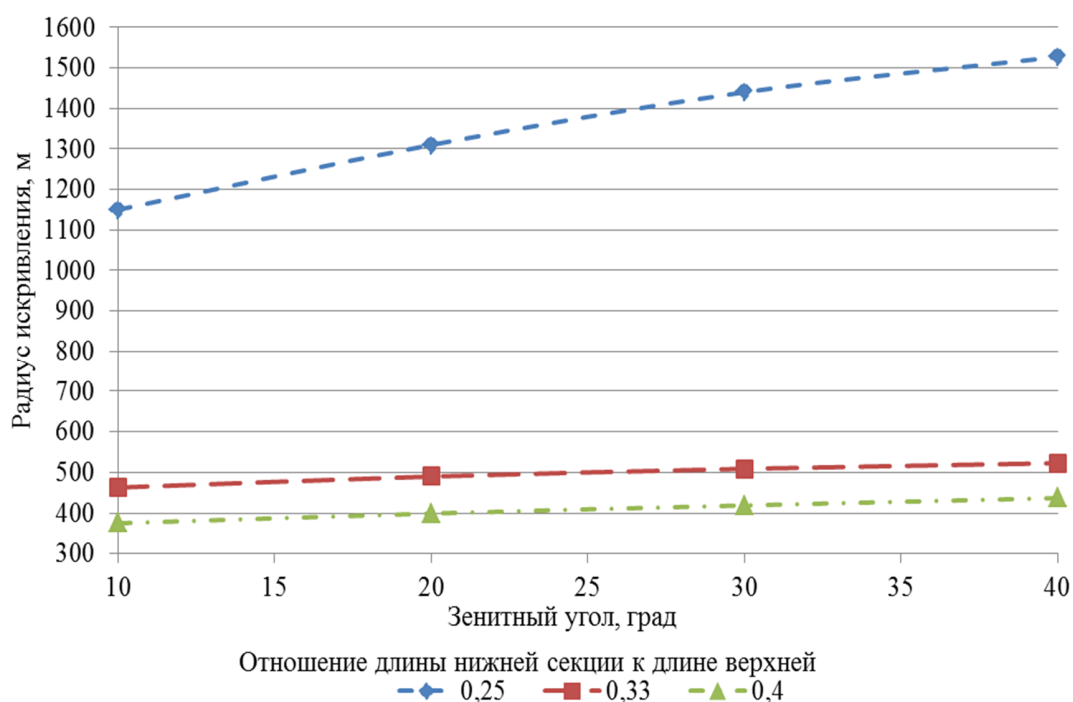


Рисунок 5 Зависимость радиуса искривления от величины зенитного угла
(долото 295,3 мм, двигатель 240 мм)

Таблица 4 – Пределы изменения радиуса искривления для разных отношений длины нижнего плеча к длине верхнего

Диаметры двигателя и долота	Отношение длины нижней секции к длине верхней секции двигателя-отклонителя	Наибольший радиус искривления	Наименьший радиус искривления	Отношение наибольшего радиуса к наименьшему
Долото – 295,3 мм Двигатель – 240 мм	0,25	1527	1150	1,33
	0,33	523	463	1,13
	0,4	437	375	1,15

Исследования влияния отношения длин секций для разных компоновок представлены на рисунке 6, а анализ пределов изменения радиуса искривления приведен таблице 5.

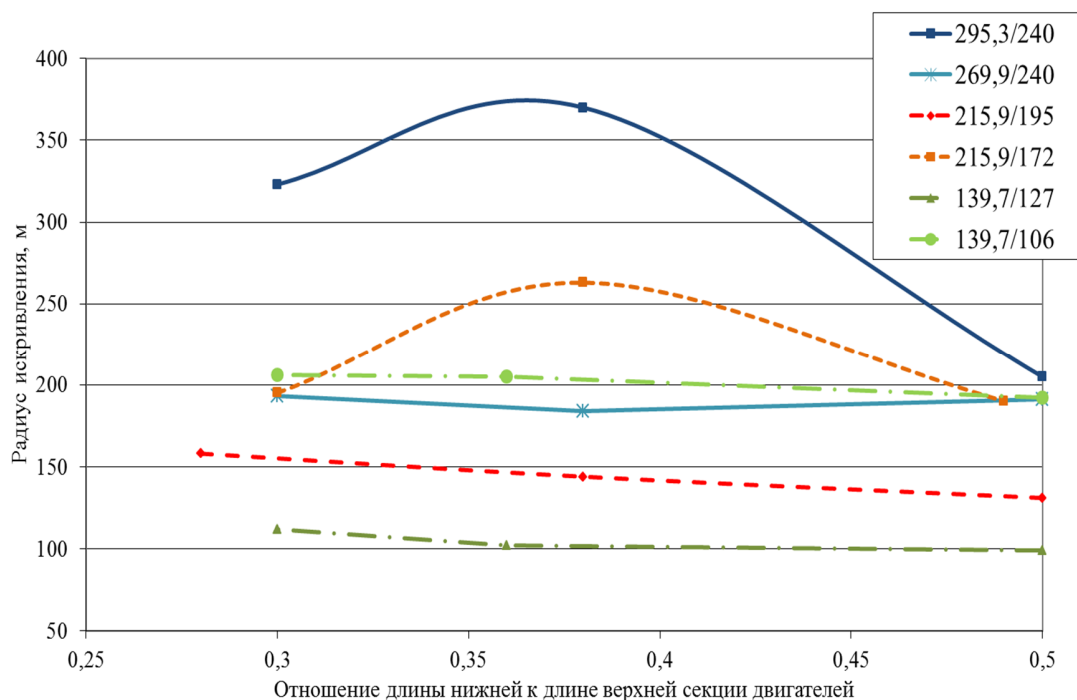


Рисунок 6 Зависимость радиуса искривления от отношения длины нижней секции к длине верхней секции двигателя-отклонителя

Таблица 5 – Пределы изменения радиуса искривления в зависимости от отношения длины нижней секции к длине верхней секции двигателя-отклонителя

Диаметры двигателя и долота	Наибольший радиус искривления, м (отношение длин секций)	Наименьший радиус искривления, м (отношение длин секций)	Отношение наибольшего радиуса к наименьшему	Относительная разность диаметров, %
Долото – 139,7 мм Двигатель – 106 мм	206 (0,3)	192 (0,5)	1,13	17
Долото – 139,7 мм Двигатель – 127 мм	112 (0,5)	99 (0,3)	1,07	9
Долото – 215,9 мм Двигатель – 172 мм	263 (0,38)	190 (0,49)	1,38	20
Долото – 215,9 мм Двигатель – 195 мм	158 (0,28)	131 (0,5)	1,21	10
Долото – 269,9 мм Двигатель – 240 мм	193 (0,3)	184 (0,38)	1,05	11
Долото – 295,3 мм Двигатель – 240 мм	370 (0,38)	205 (0,3)	1,80	19

Сравнение данных показывает, что важным параметром, влияющим на работу компоновки, является зазор между диаметрами долота и двигателя. Так, при относительном зазоре 9 – 11% радиус искривления меняется на 5 – 7%, при большем

зазоре изменение радиуса искривления может достигать 80% (долото 295,3 мм, двигатель 240 мм).

Угол перекоса осей между силовой и шпиндельной секциями двигателя является главным инструментом по изменению радиуса искривления скважины. На рисунке 7 и в таблице бприведены зависимости радиуса искривления от угла перекоса для разных сочетаний между диаметрами долота и забойного двигателя.

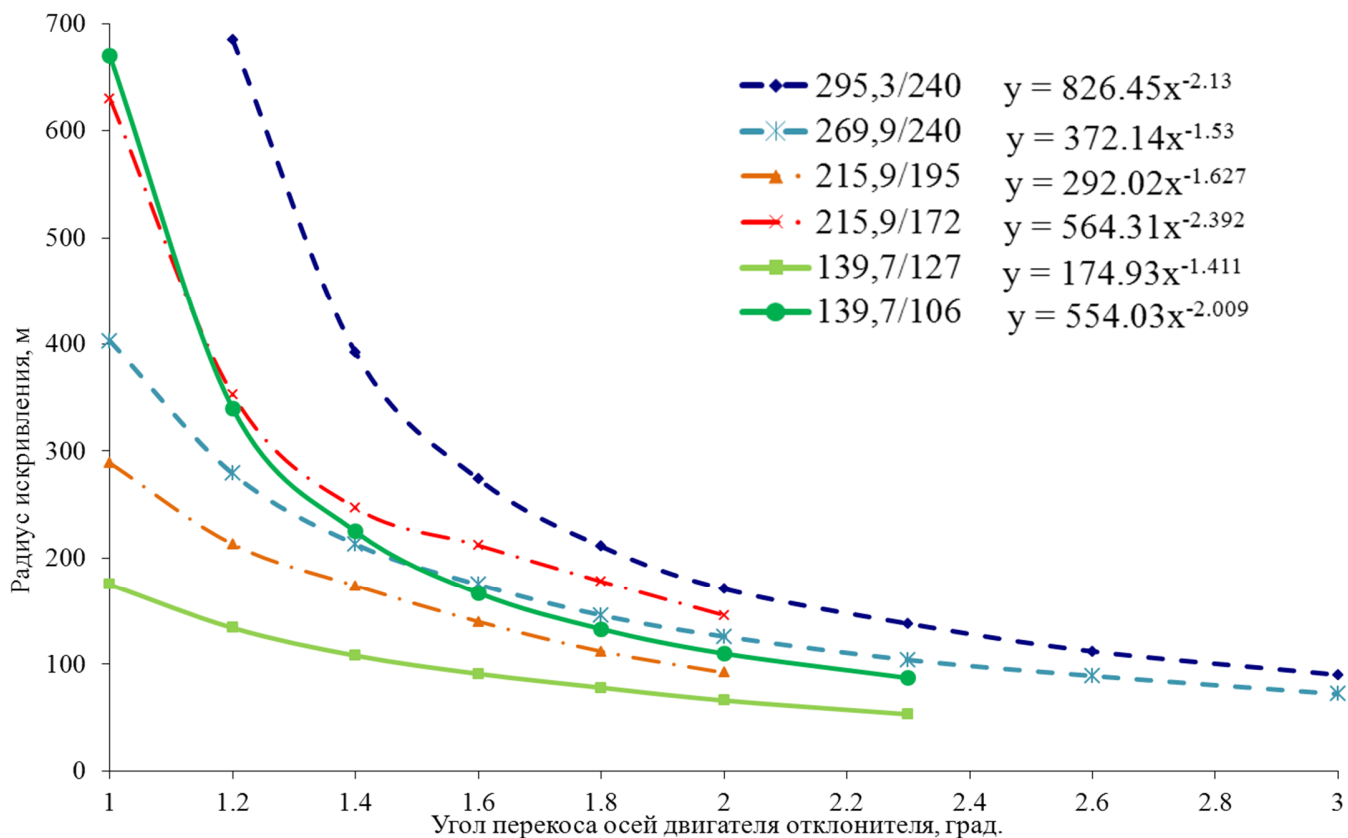


Рисунок 7 Зависимость радиуса искривления от угла перекоса осей между шпиндельной и силовой секциями забойного двигателя

Анализ результатов, представленный в таблице 6 показывает, что при изменении угла перекоса осей между шпиндельной и двигательной секциями двигателя-отклонителя от 1,0° до 1,4° темп прироста радиуса искривления скважины составляет 200-300%; при изменении от 1,4° до 3,0° – 10-20%. Увеличение разности между диаметрами долота и двигателя, увеличивает темп прироста радиуса.

Таблица 6 – Изменение радиуса искривления в зависимости от угла перекоса осей двигателя-отклонителя

Угол перекоса, град.	Радиус искривления, м	Увеличение радиуса при увеличении угла перекоса на 0,1 ⁰	Угол перекоса, град.	Радиус искривления, м	Увеличение радиуса при увеличении угла перекоса на 0,1 ⁰
Долото – 215,9 мм, ВЗДО – 172 мм			Долото – 215,9 мм, ВЗДО – 195 мм		
1	630	139	1	289	38
1,2	353	53	1,2	213	20
1,4	248	18	1,4	174	17
1,6	212	18	1,6	140	15
1,8	178	16	1,8	111	10
2	146		2	92	
Долото – 295,3 мм, ВЗДО – 240 мм			Долото – 269,9 мм, ВЗДО – 240 мм		
1,2	685	146	1,2	279	33
1,4	392	59	1,4	213	19
1,6	274	32	1,6	175	15
1,8	211	20	1,8	146	10
2	171	16	2	126	11
2,3	138	13	2,3	104	12,5
2,6	112	11	2,6	89	8
3	90		3	72	

Результаты исследования зависимости радиуса искривления от места установки опорно-центрирующего устройства приведены на рисунке 8, анализ полученных данных в таблице 7.

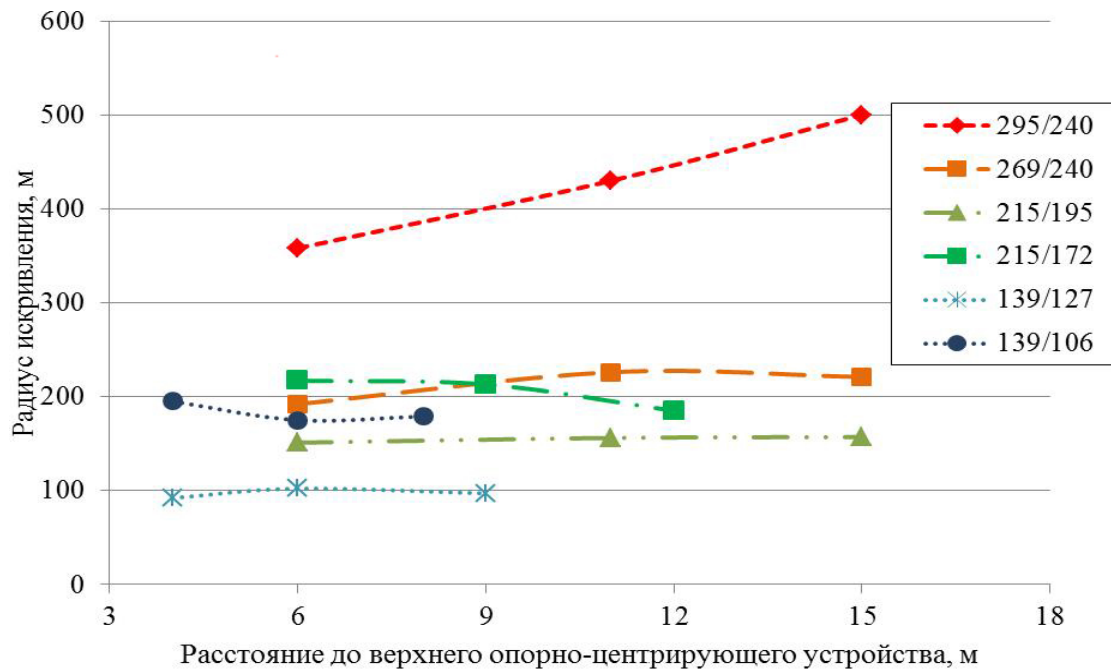


Рисунок 8 Зависимость радиуса искривления от расстояния до верхнего опорно-центрирующего устройства

Можно отметить, что для компоновки с долотом 215,9 мм и двигателем 195 мм место установки мало влияет на величину радиуса искривления, также достаточно устойчиво происходит работа КНБК №№ 1, 2, 5.

Таблица 7 – Пределы изменения радиуса искривления при изменении места установки верхнего опорно-центрирующего устройства

Диаметры двигателя и долота	Наибольший радиус искривления	Наименьший радиус искривления	Отношение наибольшего радиуса к наименьшему	Относительная разность диаметров, %
Долото – 139,7 мм Двигатель – 106 мм	195	175	1,11	17
Долото – 139,7 мм Двигатель – 127 мм	102	92	1,11	9
Долото – 215,9 мм Двигатель – 172 мм	217	185	1,17	20
Долото – 215,9 мм Двигатель – 195 мм	157	151	1,04	10
Долото – 269,9 мм Двигатель – 240 мм	226	192	1,18	11
Долото – 295,3 мм Двигатель – 240 мм	500	358	1,40	19

Основные выводы и рекомендации

1. На примере группы месторождений Тимано-Печорской провинции (Харьгиском, Юрьяхинском, Южно-Шапкинском (Средне-Серчеюский купол), Северо-Кожвинском, Южно-Лыжском и Ошском) собрана промысловая информация по 15 скважинам, которая позволила выделить наиболее существенные параметры, влияющие на отклонение фактической траектории от проектной: твердость горных пород; уширение ствола скважины; величина зенитного угла; осевая нагрузка; угол перекоса осей нижней и верхней секций двигателя-отклонителя; осевой и радиальный люфты вала шпинделя; длина нижней и верхней секций двигателя-отклонителя; доля и время бурения участка стабилизации с вращением компоновки ротором, и использовать их для факторного анализа при работе с нейросетью.

2. Факторный анализ, выполненный с использованием нейросетевой технологии, позволил выявить степень влияния на отклонение фактической траектории от проектной по зенитному углу на участке стабилизации следующих параметров: весовая значимость твердости пород – 1,0; осевого люфта вала шпинделя винтового забойного

двигателя-отклонителя – 0,95; величины зенитного угла скважины – 0,90. Степень влияния на отклонение фактической траектории от проектной по азимуту на участке стабилизации следующих параметров: весовая значимость величины зенитного угла – 1,0; осевой нагрузки на долото – 0,87; уширение ствола – 0,83.

3. Использование обученной и протестированной нейросети для прогноза по выполнению двух выходных критериев одновременно, позволило рекомендовать условия для проводки участка стабилизации в заданном коридоре значений: по зенитному углу $\pm 0,2^\circ$, по азимуту $\pm 1,5^\circ$:

4. Поиск оптимальных размеров элементов компоновки нижней части бурильной колонны, выполненный по методике ВНИИБТ, позволил сделать выявить следующее: при зазоре между диаметрами долота и двигателя не более 10-11% и отношении длины нижней секции к длине верхней секции не менее 0,33 изменение радиуса искривления скважины в зависимости от величины зенитного угла и места установки верхнего опорно-центрирующего устройства происходит не более чем на 15-20%, что позволяет более корректно проектировать профиль скважины и обеспечивать его выполнение при проводке.

5. Определены области изменения угла перекоса между силовой и шпиндельной секциями двигателя, позволяющие активно менять радиус искривления скважины или стабилизировать его: при изменении угла перекоса от $1,0^\circ$ до $1,4^\circ$ темп прироста радиуса искривления составляет 200-300%; при изменении от $1,4^\circ$ до $3,0^\circ$ – 10-20%. Увеличение разности между диаметрами долота и двигателя, увеличивает темп прироста радиуса.

Основные положения диссертации опубликованы:

В журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. Кейн, С. А. Выполнение проектной траектории на участке стабилизации за счёт использования информационных технологий / С. А. Кейн, В. В. Трохов, Е. А. Овешников // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – 2013. – № 4. – С. 15-21.

2. Кейн, С. А. Разработка технико-технологических рекомендаций по повышению качества выполнения проектной траектории наклонно направленных скважин / С. А. Кейн, В. В. Трохов, // Научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – 2015. – №1. – С. 4-7.
3. Кейн С.А., Близнюков В.Ю., Трохов В.В. Оптимизация параметров компоновок нижней части бурильной колонны для обеспечения проектной траектории наклонно направленных скважин // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. №6. С.330-342. http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p330-342_KeynSA_ru.pdf
В других изданиях и материалах конференций:
4. Трохов, В. В. Анализ опыта работы винтовых отклонителей на Салюкинском месторождении/ Трохов В. В., Кейн С. А. // Сборник научных трудов [Текст]: материалы научно-технической конференции (17-20 апреля 2012 г.): в 3 ч.; ч. I; под ред. Н. Д. Цахая. – Ухта: УГТУ. – 2012. – с. 129-131.
5. Трохов, В. В. Анализ и выявление факторов, влияющих на изменение параметров компоновки низа бурильной колонны/ Трохов В.В., Радьков Д.В. // XIII Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2012»: материалы конференции (21-23 марта 2012 г., Ухта): в 6 ч.; ч. 5. – Ухта: УГТУ, 2013. – стр. 50-54
6. Трохов, В. В. Влияние геологических и технологических факторов на работу двигателя-отклонителя/ Шиябеев Р. Р., Трохов В. В. // XV Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2014»[Текст]: материалы конференции (26-28 марта 2014 г.): в 5 ч.; Ч. 5. – Ухта: УГТУ, 2014. – стр. 78-80.
7. Трохов, В. В. Влияние характеристик траектории на выбор геометрических размеров двигателя-отклонителя/ Петров С.А., Трохов В. В. // XV Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2014»[Текст]: материалы конференции (26-28 марта 2014 г.): в 5 ч.; Ч. 5. – Ухта: УГТУ, 2014. – стр. 49-51
8. Трохов, В. В. Расчёт отклоняющих компоновок нижней части бурильной колонны для участков уширения ствола скважины / Носов Д. В., Трохов В. В. // XIV Международная молодежная конференция «Севергеоэкотех-2013»: материалы конференции (20-22 марта 2013 г.): в 5 ч.; ч. 2. – Ухта: УГТУ. – 2013. – стр. 49-53.