

На правах рукописи



ГАБЗАЛИЛОВА АЛЬФИРА ХАМИТОВНА

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛИНЫ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ СТВОЛОВ СКВАЖИН
В ПРОЦЕССЕ ИХ СТРОИТЕЛЬСТВА**

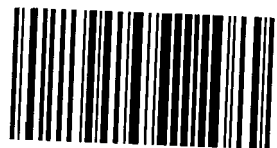
25.00.15 - Технология бурения и освоения скважин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

3 МАЙ 2012

Уфа - 2012



005015837

Работа выполнена в Открытом акционерном обществе Научно-производственная фирма «Геофизика» (ОАО НПФ «Геофизика»)

Научный руководитель - доктор технических наук, старший научный сотрудник Янтурин Альфред Шамсунович

Официальные оппоненты:

Агзамов Фарит Акрамович - доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кафедра «Бурение нефтяных и газовых скважин», профессор кафедры;

Самигуллин Валерий Хакимович - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ООО «БашНИПИнефть», главный специалист.

Ведущая организация - ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт».

Защита состоится «18» мая 2012 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 520.020.01 при открытом акционерном обществе «Научно-производственная фирма «Геофизика» (ОАО НПФ «Геофизика») по адресу: 450005, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 8-ое Марта, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОАО НПФ «Геофизика»

Автореферат разослан «16» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Хисаева Дилара Ахатовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В промышленной практике при бурении наклонных и горизонтальных скважин до настоящего времени используются методы расчета потерь осевой нагрузки на трение по результатам инклинометрии, разработанные, в свое время, для вертикальных искривленных скважин (М.М. Александровым и др.).

Использование их для горизонтальных и наклонных скважин может приводить к погрешности вычислений в десятки процентов. Это объясняется тем, что при расчетах по интервалам инклинометрических замеров подобные методики расчета не учитывают влияния перерезывающих сил (третья производная от поперечного прогиба рассматриваемого сечения колонны бурильных труб, по длине ее) и поперечных распределенных нагрузок (четвертая производная) на интервалах набора и спада зенитного угла, а также на спирально деформированном участке сжатой части колонны. Проявлением ошибочности таких методик является вынужденное использование в них коэффициентов трения, превышающих (в целом по длине колонны) величины $\mu = 0,18...0,35$ – в открытом стволе скважины и $\mu = 0,10...0,15$ – при трении бурильной колонны о стенки обсадной.

В результате, из-за резкого падения механической скорости бурения, затрудняется выбор рациональных технологических решений для увеличения длины горизонтального интервала скважины, снижаются продуктивность или приемистость скважины и нефтеотдача пласта.

Для увеличения длины горизонтального интервала ствола необходимо создание методики определения потерь осевой нагрузки на трение по длине бурильной колонны в многоинтервальных горизонтальных скважинах различного профиля, которая бы учитывала продольно-поперечную деформацию колонны, профиль скважины и локальную кривизну ствола по данным инклинометрии. Решение обозначенной задачи обеспечивает выбор наиболее эффективных технологических методов и режимов бурения для увеличения длины горизонтальных интервалов стволов скважин.

Цель диссертационной работы

Создание методики расчета осевых нагрузок на забой 3-х ... 6-и интервальной горизонтальной скважины и на верхнюю часть бурильной колонны (талевую систему подъемного механизма буровой установки), оценки и выбора наиболее эффективных технологических методов и режимов бурения, обеспечивающих увеличение длины горизонтальных интервалов стволов скважин, с целью повышения их продуктивности или приемистости.

Объект исследования – горизонтальные скважины.

Предмет исследования – технология бурения, обеспечивающая увеличение длины горизонтальных интервалов стволов скважин.

Основные задачи исследования

1. Анализ основных проблем увеличения длины горизонтальных интервалов стволов скважин при их бурении.

2. Исследование осевых нагрузок на забой и на подъемный механизм буровой установки в 3-х...6-и интервальных горизонтальных скважинах с учетом потерь их на трение на различных интервалах и участках ствола: стабилизации набора и спада зенитного угла, управляемого изменения азимута.

3. Исследование и прогнозирование эффективности различных технологических способов увеличения длины горизонтальных интервалов стволов при бурении скважин.

4. Выбор рациональных способов и режимов бурения, предназначенных для увеличения длины горизонтальных интервалов скважин (с использованием новых конструкций труб, многоступенчатых гидроцилиндров, скважинных вибраторов, смазочных добавок в раствор и др.).

Методы исследования

Решение поставленных задач основано на анализе распределения осевых нагрузок по длине бурильной колонны при бурении и спуско-подъемных операциях, оценке соответствия их методам расчета, аналитических исследованиях продольно-поперечной деформации колонн (в т.ч. в за-Эйлеровой области), элементах кинестатики гибких нитей, известных результатах анализов аварий и осложнений с бурильными и обсадными колоннами.

Научная новизна

1. На основе исследований нелинейности распределения осевых нагрузок по длине колонны бурильного инструмента в многоинтервальных горизонтальных скважинах подтверждена недопустимость пренебрежения перерезывающими силами и поперечными распределенными нагрузками на интервалах набора и спада зенитного угла, на участке пространственной упругой деформации в нижней части колонны.

2. Разработан теоретический подход и на его основе создана методика определения осевой нагрузки на долото и талевую систему спуско-подъемного механизма с учетом влияния, на отдельных интервалах ствола, нелинейности потерь осевой нагрузки на трение, продольно-поперечной деформации колонны в за-Эйлеровой области и ряда других факторов.

3. Создана, не имеющая аналога, методика определения осевой нагрузки на долото и талевую систему спуско-подъемного механизма в скважине с горизонтальным участком управляемого изменения траектории ствола по азимуту.

Основные защищаемые научные положения

1. Теоретические и методические основы определения осевых нагрузок на долото и спуско-подъемный механизм буровых установок с комплексным учетом профиля скважины, локальной кривизны ствола, способа и режимов бурения и ряда других факторов, обеспечивающих эффективное бурение при увеличении длины горизонтального интервала ствола.

2. Методический подход к прогнозированию эффективности удлинения горизонтального интервала ствола скважины с обоснованием рабочих параметров, режимов работы и мест установки многоступенчатых гидроцилиндров для управления направлением сил трения, скважинных

вибраторов для интенсификации процесса разрушения забоя и снижения сил трения, специальных бурильных труб и ряда других технологических приемов.

3. Инновационное обоснование метода определения осевой нагрузки на забой и на спуско-подъемный механизм в скважине с горизонтальным интервалом управляемого изменения траектории ствола по азимуту с целью:

- приближения траектории ствола, в плоскости напластования пород продуктивного коллектора, к линиям изобар пластового давления – для увеличения нефтеотдачи пласта;

- то же, с целью огибания горизонтальным стволом зон, деформация которых может повлиять на устойчивость наземных сооружений;

- то же, с целью огибания горизонтальным стволом зон, сообщающихся с элементами водоохранного комплекса.

4. Теоретико-методические основы расчета потерь осевых нагрузок на трение колонны о стенки горизонтальной скважины на интервалах набора и спада зенитного угла, а также на пространственно деформированном участке сжатой части колонны - для обеспечения учета влияния реакции стенки скважины на увеличение потенциальной энергии продольно-поперечной деформации колонны, с дополнительным учетом влияния перерезывающих сил и распределенных поперечных нагрузок на увеличение потерь на трение.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обосновывается:

- использованием промысловых материалов по определению осевых нагрузок на колонну и на талевую систему подъемного механизма бурой установки при бурении и спуско-подъемных операциях, регистрируемых наземными индикаторами веса и, в отдельных частных случаях, глубинными измерительными устройствами;

- применением классических методов исследования продольно-поперечной деформации колонн, характеризуемых системами уравнений кинестатики гибких нитей, позволяющими дополнительно учитывать влияние перерезывающих сил и распределенных поперечных нагрузок на увеличение сил трения колонны о стенки скважины.

Практическая значимость и реализация результатов работы

1. Создана методика расчета осевой нагрузки на забой многоинтервальной горизонтальной скважины путем наложения результатов инклинометрических замеров на профиль ствола, что позволяет (в отличие от распространенных в нефтепромысловой практике расчетов только по результатам инклинометрии) при проведении проектных и текущих технологических расчетов дополнительно учитывать влияние нелинейности, на отдельных интервалах, геометрических связей колонны со стенками ствола на увеличение сил сопротивления продольному перемещению бурильного инструмента в скважине и, соответственно, на снижение осевой нагрузки на долото и на увеличение растягивающих нагрузок на талевую систему спуско-подъемного механизма буровой установки.

2. Создана методика расчета осевой нагрузки на забой горизонтальной скважины с управляемым изменением траектории ствола только по азимуту, с

целью повышения продуктивности или приемистости скважины и обеспечения, при необходимости, возможности огибания горизонтальным стволом зон, сообщающихся с водоохраным комплексом или зон, деформация которых при снижении пластового давления может повлиять на устойчивость отдельных наземных сооружений.

3. Предложен методический подход к выбору рациональных технологических приемов увеличения длины горизонтального интервала ствола скважины.

4. Разработано и внедрено в учебный процесс филиала ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г.Октябрьском учебно-методическое пособие «Расчет осевой нагрузки на забой и подъемный механизм при бурении и спуско-подъемных операциях в горизонтальных скважинах и боковых ответвлениях стволов скважин», предназначенное для повышения качества подготовки дипломированных специалистов.

Личный вклад автора заключается: в научно-методическом обосновании разрабатываемых методов увеличения длины горизонтальных интервалов стволов; анализе и решении задач по увеличению осевой нагрузки на долото с дополнительным использованием гидроцилиндров, вибрационных устройств и ряда других технологических решений; не имеющем аналога способе создания осевой нагрузки на забой горизонтальной скважины, дополнительно включающем для увеличения нагрузки на долото, управление направлением силами трения колонны о стенки ствола на горизонтальном интервале ствола.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на:

- всероссийской научно-технической конференции «Современные технологии нефтегазового дела» в филиале ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Октябрьский, 2011);
- 38-й научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в филиале ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Октябрьский, 2011);
- научно-практической конференции «Новая техника и технология для геофизических исследований скважин» (Уфа, 2011).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 12 научных работах, в т.ч. 4 - в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав и основных выводов. Изложена на 151 странице машинописного текста, в т.ч. содержит 5 таблиц, 29 рисунков, список использованной источников из 89 наименований

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и основные задачи исследования, приведены научная новизна, защищаемые положения и практическая значимость работы.

В первой главе на основе аналитического обзора научно-технической литературы и анализа промыслового опыта показано, что для повышения дебитов горизонтальных скважин (ГС) до 5...10 раз больших, чем наклонных, необходимо:

- достижение какой-то минимальной длины горизонтального интервала ствола, зависящей от характеристики месторождения;
- обеспечение возможности проведения дифференцированных, по длине горизонтального интервала ствола, режимов освоения скважины и др.

Необходимость дифференцированного освоения объясняется тем, что одной из основных проблем ГС является более интенсивное, по сравнению с вертикальными и наклонными, и сильно нелинейное по длине горизонтального интервала ствола загрязнение прискважинной зоны пласта, в процессе вскрытия бурением, при спуско-подъемных операциях (СПО), глушении и других операциях заканчивания скважин. инфильтратом закачиваемой в скважину жидкости. Неоднородность отбора нефти по длине горизонтального интервала ствола (ГИ) возрастает, при увеличении длины его, из-за гидравлического сопротивления в стволе скважины, дополнительно влияющего на неравномерность притока нефти. Именно этим и объясняется наблюдаемое на отечественных промыслах снижение производительности горизонтальных скважин, вплоть до кратной величины, по сравнению с потенциально возможными.

Таким образом, для обеспечения высокой производительности ГС необходимо относительное выравнивание притока пластового флюида по длине ГИ хотя бы с помощью дифференциации режимов освоения и ввода скважины в эксплуатацию. Однородность притока обеспечивается дифференцированием (пошаговым) величины депрессии на пласт по отдельным интервалам ГИ и при освоении и при эксплуатации скважины.

Технологически большей проблемой является то, что при бурении длина ГИ ствола ограничивается необходимостью обеспечения минимально допустимой осевой нагрузки на долото. Осевая нагрузка на долото, создаваемая весом растянутой части бурильного инструмента, из-за снижения потерь бурильной колонны на трение о стенки скважины может ограничить предельно допустимую глубину бурения. При минимальной предельно допустимой величине осевой нагрузки, предопределяемой конструкцией колонны, прочностными свойствами разбуриваемых пород и рядом других факторов, механическая скорость бурения резко снижается и дальнейшее углубление скважины без использования дополнительных технологических мероприятий становится экономически нецелесообразным.

При рассмотрении проблем бурения длинных ГИ и выборе рациональных технологических решений целесообразно, как подтвердил проведенный анализ, исходить из условия дифференциации их по двум основным типам:

- основанным на снижении коэффициента трения колонны о стенки скважины (смазывающие добавки к промывочным жидкостям; проектное и оперативное технологическое управление конструкциями бурильных колонн; использование облегченных ЛБТ, дополнительная установка УБТ и ТБТ в растянутой части колонны и т.д.);

- обеспечивающим возможность управления направлением и величинами суммарных сил трения по отдельным участкам скважины с помощью, например, многоступенчатых гидроцилиндров, устанавливаемых, в зависимости от длины горизонтального интервала ствола, в различных расчетных местах колонны бурильного инструмента и др.

Как подтвердил проведенный анализ известных исследований, в промысловой практике при выборе технологических решений для бурения длинных ГИ получили распространение методы расчета нагрузок на долото и на спуско-подъемный механизм буровой установки, основанные на линейных дифференциальных уравнениях продольно-поперечной деформации колонны второго порядка (или идентичных им по структуре). Но подобные методы не учитывают перерезывающих сил в поперечном сечении колонны (третья производная от поперечного прогиба по элементарной длине колонны), а также интенсивности изменения поперечных распределенных нагрузок с учетом реакции, ограничивающей прогиб стенки ствола (четвертая производная), дополнительно увеличивающих потенциальную энергию продольно-поперечной деформации колонны в скважине. Такие расчеты приводят к занижению потерь осевой нагрузки на трение на интервалах набора и спада зенитного угла скважины, а также на пространственно-деформированном сжатой части колонны. Основанные на них методики, к сожалению, получили распространение в отечественной и зарубежной промысловой практике, по-видимому, из-за удобства расчетов по ним, с использованием данных кривизны ствола, по результатам инклинометрических замеров в реальных скважинах. И действительно, для вертикальных скважин такие расчеты вполне удовлетворительны (М.М. Александров). Но в наклонных и горизонтальных они приводят к погрешностям расчетов в десятки процентов, особенно, для интервалов набора и спада зенитного угла. Причем, погрешность эта возрастает с уменьшением радиуса кривизны ствола и ростом разницы начальных и конечных зенитных углов.

Следовательно, при проектных и текущих технологических расчетах целесообразно проведение расчетов осевой нагрузки по одному из следующих методов:

- по проектному профилю ствола скважины с дополнительным введением в них поправочных коэффициентов на локальную кривизну ствола;

- по результатам инклинометрических замеров в реальной скважине, но с использованием более полных методов расчета, основанных на решениях дифференциальных уравнений четвертого порядка или идентичных, по структуре, систем уравнений кинестатики гибких нитей.

В связи с указанным в рамках рассматриваемой работы приводятся результаты исследований и основанные на них методы расчета для трех...шести интервальных ГС, в т.ч.:

- с учетом влияния периодичности разгрузки части веса колонны на забой скважины тормозом лебедки (между двумя последовательными импульсами разгрузки) на изменение нагрузки на долото и местоположение нейтрального сечения по длине колонны;
- с выбором основных рабочих параметров многоступенчатых длинноходовых гидроцилиндров и расстояний между ними, обеспечивающих управляемое изменение направлений сил трения на отдельных участках колонны;
- с определением осевой нагрузки на забой ГС и на спуско-подъемный механизм в скважине с горизонтальным интервалом управляемого изменения траектории ствола только по азимуту, с целью: приближения траектории ствола, в плоскости напластования пород продуктивного коллектора, к линиям изобар пластового давления; огибания горизонтальным стволом зон, деформация которых, при снижении пластового давления, может повлиять на устойчивость наземных сооружений; огибания горизонтальным стволом зон, сообщающихся с элементами водоохранного комплекса;
- с учетом сравнительного влияния способа бурения (ротором и забойными двигателями) на снижение потерь осевой нагрузки на трение;
- с использованием одного или нескольких вибраторов, снижающих коэффициенты трения и, соответственно, силы сопротивления продольному перемещению бурильной колонны в скважине;
- с учетом влияния ряда других факторов.

Во второй главе представлены результаты исследований нелинейности потерь осевых нагрузок в целом по длине колонны и по отдельным интервалам ствола ГС (рис.1). Общие сведения о потерях осевой нагрузки дифференцируются по отдельным интервалам и участкам, в т.ч.:

- интервалам стабилизации зенитного угла скважины (вертикальным, наклонным и горизонтальным);
- интервалам набора и спада зенитного угла скважины;
- горизонтальным интервалам с управляемым изменением траектории ствола только по азимуту;
- участкам пространственной (спиральной) продольно-поперечной деформации сжатой части колонны;
- по участкам резкого искривления ствола (dog leg).

Представленный подход позволяет дополнительно определять:

- растягивающие нагрузки на талевую систему подъемного механизма буровой установки при бурении и спуско-подъемных операциях;
- моменты и мощность, необходимые для вращения или периодического проворачивания колонны бурильного инструмента в скважине;
- углы закручивания бурильной колонны, для ориентирования отклоняющих устройств бурильного инструмента по азимуту.

Потери осевой нагрузки по интервалам стабилизации зенитного угла определяются по распространенным методам расчета, основанным на

известных решениях дифференциальных уравнений второго порядка, характеризующих продольно-поперечную деформацию колонны (М.М. Александров и др.). На этих же интервалах могут возникать и участки винтообразного искривления ствола, впервые описанные А.Вудсом и Г.Лубинским, А.С.Яремичуком и Г.Г.Семаком. Параметры локального искривления предопределяются углом отклонения оси долота от оси скважины и периодическим винтообразным перемещением этого угла, по мере заглубления долота в породу, вдоль цилиндрической образующей ствола. Радиус винтовой линии может достигать нескольких десятков сантиметров и уменьшается с увеличением числа опорно-центрирующих элементов (ОЦЭ) в компоновке низа буровой колонны (КНБК). Проведенные исследования подтвердили, что величины потерь на трение от локального винтообразного искривления ствола обычно не превышают нескольких процентов от общих потерь осевой нагрузки на трение.

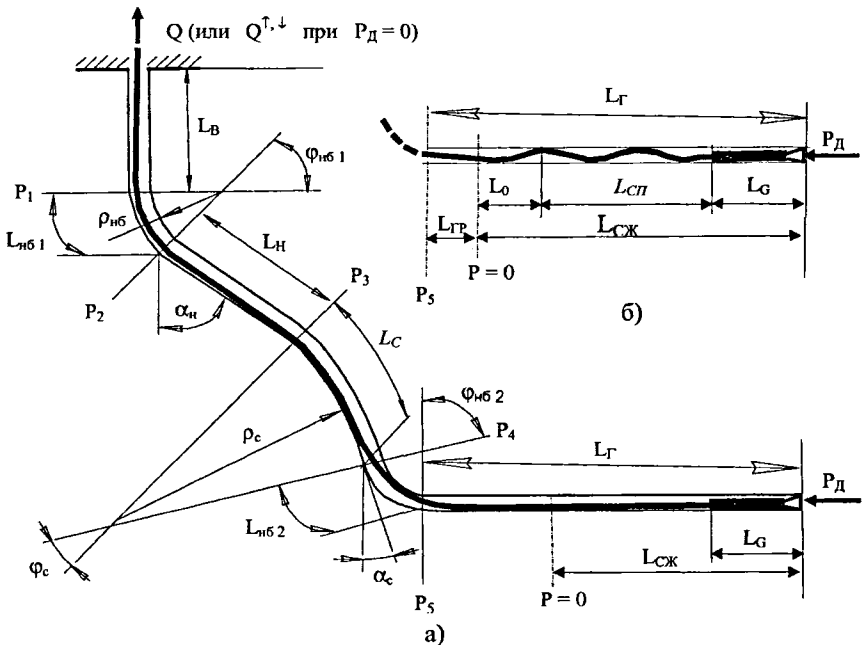


Рис. 1. Схема к расчету потерь осевой нагрузки по длине колонны в горизонтальной скважине: а) при отсутствии спирально деформированного участка труб над КНБК, б) – то же, при наличии. Интервалы ствола: L_B – вертикальный; $L_{нб 1}$ и $L_{нб 2}$ – набора зенитного угла α ; L_C – естественного спада α ; L_H – наклонный; L_G – горизонтальный. $L_{СЖ}$ – длина сжатой части колонны, в т.ч.: $L_{СП}$ – спирально деформированного; L_0 – недеформированного; L_G – КНБК

Винтообразное локальное искривление ствола на горизонтальном или наклонном интервале улучшает условия промывки по всему периметру поперечного сечения скважины, но в то же время снижает качество изоляции эксплуатационной колонны. Именно этим и объясняются массовые нарушения герметичности заколонного пространства, отмеченные в свое время в работах ВНИИГИС (г. Октябрьский).

На интервалах набора и спада зенитного угла влияние отклонения оси долота от оси скважины, как правило, незначительно по сравнению с влиянием отклоняющей силы на долоте. Поэтому при инклинометрии скважины винтообразное искривление ствола обычно не фиксируется.

На интервалах стабилизации зенитного угла винтообразное искривление часто фиксируется как плоское. Это объясняется тем, что, например, инклинометр серии ИН1-271 имеет погрешность измерений: по зенитному углу – ± 24 мин., по азимуту – $\pm 2^\circ$. Именно данный фактор может привести в промысловой практике к интерпретации отдельными операторами локального искривления ствола в виде не пространственной кривой, а плоской – в вертикальной плоскости.

От винтообразного искривления ствола следует отличать случаи образования участков резкого искривления ствола (dog leg), возникающие:

- при корректировке траектории ствола горизонтальных и наклонных скважин с помощью отклоняющих устройств;
- при отклонении оси скважины от нормали к плоскости напластования пород и, одновременно, изменении прочностных свойств пород.

Однако влияние тех или иных видов интенсивного локального искривления ствола из-за выработки продольных желобов нивелируется при СПО в процессе последующих рейсов бурильного инструмента в скважину. Поэтому наиболее заметным может оказаться влияние локального искривления ствола на горизонтальном интервале скважины.

По сравнению с локальным искривлением ствола существенно более значимое влияние на потери осевой нагрузки на трение оказывается на интервалах набора и спада зенитного угла скважины, а также на пространственно деформированном в виде винтовой спирали участке сжатой части колонны. Это объясняется ростом влияния реакции стенки скважины на увеличение потенциальной энергии продольно-поперечной деформации бурильной колонны, в т.ч., за счет:

- влияния перерезывающих сил, пропорциональных третьей производной от поперечного прогиба по элементарной длине дуги искривленной оси колонны;
- увеличения «фиктивной» (по А.С. Вольмиру) поперечной распределенной нагрузки, пропорциональной четвертой производной.

Для учета их необходимо на указанных интервалах и участках ствола скважины определить потерь осевых нагрузок на трение на основе решения уравнений (или систем уравнений) продольно-поперечной деформации колонны четвертого порядка или систем уравнений кинестатики гибких нитей, идентичных по структуре рассмотренным в настоящей работе.

Пренебрежение этим фактором может привести к ошибке определения реальных потерь осевой нагрузки на указанных интервалах в десятки процентов. Использование же для компенсации указанной ошибки завышенных величин коэффициентов трения не может не исказить картину распределения потерь осевой нагрузки между отдельными интервалами скважины, что отражается на рациональности выбираемых технологических решений для увеличения длины ГС и, соответственно, росте продуктивности или приемистости скважины и относительной нефтеотдачи пласта, в целом.

Суммарные потери на трение при расчете осевой нагрузки определяются по формулам (см. рис.1):

- для подвешенной на крюке буровой установки (при отсутствии сжимающей нагрузки на забой) колонны (в т.ч. и при СПО) и с учетом пренебрежения незначительным влиянием локального искривления ствола на интервалах набора и спада зенитного угла (за исключением случаев наличия отдельных участков резкого перегиба ствола)

$$\Sigma \Delta P_{\text{сно}} = \Delta P_{\text{мв}} + \Delta P_{\text{н61}} + \Delta P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{мн}} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{н62}} + \Delta P_{\text{г}} + \Delta P_{\text{мг}} + \Sigma \Delta P_{\text{Г}}; \quad (1)$$

в процессе бурения или при разгрузке части веса колонны на забой

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{\text{сж}} - \Delta P_{\text{р}} = \Delta P_{\text{сп}} + \Delta P'_{\text{г}\Sigma} - \Delta P''_{\text{г}\Sigma} - \Delta P_{\text{н6}} - \Delta P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{н}\Sigma} - \Delta P_{\text{мв}} + \Sigma \Delta P_{\text{Г}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{н}\Sigma} = \Delta P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{мн}}$; $\Delta P_{\text{г}\Sigma} = \Delta P_{\text{г}} + \Delta P_{\text{пг}}$; $\Delta P_{\text{н6}}$, $\Delta P_{\text{с}}$, $\Delta P_{\text{н}}$, $\Delta P_{\text{г}}$, $\Delta P_{\text{сп}}$ и $\Sigma \Delta P_{\text{Г}}$ - потери на трение, соответственно, на участках набора, спада и стабилизации зенитного угла, а также горизонтальном (на длине L_0 и $L_{\text{тр}}$), спирально деформированном колонны труб и направляющем (турбобура и УБТ); индекс (') относится к сжатой части колонны, (") - к растянутой; $\Delta P_{\text{мв}}$, $\Delta P_{\text{мн}}$ и $\Delta P_{\text{мг}}$ - потери на трение от локального искривления ствола (высшего порядка), соответственно, на вертикальном, наклонном и горизонтальном интервалах скважины.

Для спирально деформированного участка сжатой части колонны длиной $L_{\text{сп}}$ верхняя граница его, как и сжатой части длиной $L_{\text{сж}} = L_0 + L_{\text{сп}}$ (рис.1) в определенные периоды бурения скважины может находиться как на горизонтальном или наклонном интервалах ствола, так и на интервалах набора или спада зенитного угла или вертикальном. В случае расположения на вертикальном интервале сжатая часть будет полностью деформироваться в виде пространственной винтовой спирали. В остальных случаях только нижний участок сжатой части колонны длиной $L_{\text{сп}}$ (см. рис.1,б) при осевой сжимающей нагрузке, превышающей какую-то критическую величину P_{α} (6), зависящую от величины зенитного угла α , будет спирально деформирован, а верхняя часть её длиной L_0 будет лежать на нижней стенке ствола и частично деформироваться в виде «змейки». По мере увеличения длины горизонтального интервала спирально деформированный участок будет постепенно исчезать.

Величины потерь осевой нагрузки на трение на спирально деформированном участке сжатой части колонны в за-Эйлеровой области можно определить, в первом приближении, исходя из условия равновесия сил на элементарной длине ds , под действием осевой сжимающей нагрузки P

(рис.2). В этом случае, пренебрегая бесконечно малыми величинами высшего порядка, согласно основам кинестатики гибких упругих стержней (Е.П. Попов и др.) имеем систему известных уравнений (обозначения изменены применительно к колонне труб в скважине):

$$dP/ds = \Sigma p - Q/\rho; \quad dQ/ds = P/\rho - \Sigma \eta; \quad dM_c/ds \approx Q + m, \quad (3)$$

где $m = dM_c/ds$; M_c - момент изгиба, вызываемый в поперечном сечении труб криволинейностью контакта их с цилиндрической поверхностью ствола скважины; dQ/ds и $Q = d^3 \bar{\rho}/ds^3$ - соответственно, фиктивная поперечная нагрузка (по А.С. Вольмиру) и перерезывающая сила в поперечном сечении колонны; $\bar{\rho}$ - радиус-вектор точки упругой линии оси колонны (рис.2), с радиусом $\rho = EI/M_c = (\gamma^2 r)^{-1} = 1,5 EI (P r)^{-1} = h^2 / (4 \pi^2 r)$; h - осредненная величина одного витка спирали; EI - жесткость колонны на изгиб;

$\Sigma \eta = d^4 \bar{\rho}/ds^4 + q \sin \alpha \cos (2 \pi x / h)$; $\Sigma p = q \cos \alpha \pm \mu \Sigma \eta$;
 $q \sin \alpha \cos (2 \pi x / h)$ - проекция поперечной составляющей веса 1 м труб в жидкости q на нормаль к кривизне упругой линии оси колонны;
 α - зенитный угол; μ - коэффициент трения колонны о стенки скважины.

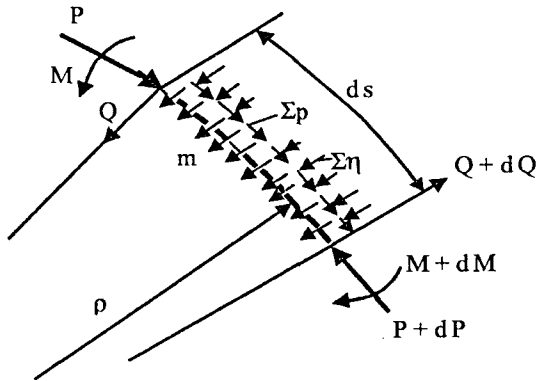


Рис.2. Схема упругой пространственной деформации колонны на элементарной длине ds с радиусом кривизны ρ

Решение системы уравнений (3) без учета, на элементарной длине ds , влияния собственного веса труб на форму кривой изгиба после выполнения операций дифференцирования сводится к частному случаю дифференциального уравнения Риккарти, решение которого, с учетом условия $P|_{s=0} = 0$, позволяет определить диапазон изменения осевой нагрузки на долото в зависимости от влияния спиральной деформации примыкающего к КНБК нижнего участка колонны труб. В результате, вместо (3) получим диапазон изменения осевых нагрузок на долото (от влияния только спиральной деформации) между двумя последовательно осуществляемыми импульсами

разгрузки (тормозом буровой лебедки) части веса растянутой части колонны на забой скважины, в т.ч.:

- отклонения потерь осевой нагрузки $P_{+\mu}$ от средней величины $P_{ИВ}$, регистрируемой (определяемой) по наземному индикатору веса колонны непосредственно после очередного импульса разгрузки,

при $[-(q \cos \alpha) (\mu P^2 r) (2,25 EI)^{-1}] < 0$,

$$\Delta P_{+\mu} = P_{+\mu} - P_{ИВ} \text{ и } P_{+\mu} = a \operatorname{tg}(q L / a); \quad (4)$$

- отклонение потерь осевой нагрузки $P_{-\mu}$ от средней величины $P_{ИВ}$ непосредственно перед следующим импульсом разгрузки, при $[(q \cos \alpha) (\mu P^2 r) (2,25 EI)^{-1}] > 0$,

$$\Delta P_{-\mu} = P_{ИВ} - P_{-\mu} \text{ и } P_{-\mu} = a \operatorname{th}(q L / a). \quad (5)$$

где r – полуразность диаметров скважины и замка труб; $L = L_{СП}$ – длина рассматриваемого спирального деформированного участка колонны равная:

при $P = P_{-\mu}$ $L_{СП} = (a / q) \operatorname{Arc} \operatorname{th}(P_{-\mu} / a)$,

при $P = P_{+\mu}$ $L_{СП} = (a / q) \operatorname{arc} \operatorname{tg}(P_{+\mu} / a)$;

$a = [2,25 q \cos \alpha EI (\mu r)^{-1}]^{0,5}$; $P = P_d - G (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)$;

P_d – нагрузка на долото; G – вес турбобура и УБТ в промывочной жидкости.

Верхней границе спиральной деформации соответствует осевая нагрузка

$$P_{\alpha} \cong 1,5 (E I r^{-1} q \sin \alpha)^{0,5}. \quad (6)$$

Пример значимости потерь ΔP на интервале осевых нагрузок $P_{\alpha} \dots P$ характеризуется данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 - Потери осевой нагрузки ΔP при спиральной деформации колонны труб 127 x 9 (ЗУ-155) в скважине диаметром 215,9 мм (без учета кавернозности ствола) в интервале осевых нагрузок $0 \dots P$

Момент кручения, КН·м	Коэффициент трения	Потери нагрузки ΔP , кН при осевой сжимающей нагрузке P , кН				
		50	100	150	200	250
0	0,1	0,10	1,2	4,0	11,0	23,2
	0,2	0,20	2,5	9,0	25,5	56,0
	0,3	0,40	4,0	15,0	43,5	112,0
	0,4	0,53	5,5	22,0	68,5	333,0
4	0,1	0,11	1,24	4,3	11,4	24,0
	0,2	0,22	2,6	9,4	25,8	59,0
	0,3	0,41	4,2	15,5	44,5	122,0
	0,4	0,55	5,6	22,4	70,6	380,0
10	0,1	0,12	1,3	4,8	12,0	24,3
	0,2	0,25	2,7	10,0	26,5	61,0
	0,3	0,44	4,5	16,1	46,0	128,0
	0,4	0,60	5,8	23,2	74,0	550,0
18	0,1	0,13	1,4	5,0	12,3	25,0
	0,2	0,27	2,8	10,5	27,5	63,5
	0,3	0,46	4,6	17,0	48,0	136,0
	0,4	0,65	6,0	24,3	78,0	-

Примечание: для горизонтального интервала ствола потери осевой нагрузки равны, например, при вращающем моменте $M = 10 \text{ кН}\cdot\text{м}$, $P_\alpha \dots P = 100 \dots 150 \text{ кН}$ и $\mu = 0,2$: $\Delta P = 10,0 - 2,7 = 7,3 \text{ кН}$.

С увеличением длины горизонтального интервала ствола скважины величины потерь осевой нагрузки ΔP при спиральной деформации колонны все более снижаются, вплоть до полного исчезновения их. Поэтому, по мере увеличения длины горизонтального интервала, все более доминирующими становятся потери осевых нагрузок на интервалах набора и спада зенитного угла, величины, которых, обычно, многократно превышают потери от локального искривления ствола.

Практические расчеты потерь осевой грузки на трение на интервалах набора ($\Delta P_{нб}$) и спада (ΔP_c) зенитного угла скважины можно определять исходя из известных уравнений кинестатики движения колонны, рассматриваемой как гибкая нить.

Решения таких уравнений, по структуре совпадающих с (3), в частном случае при пренебрежении величинами скоростей и ускорений перемещений колонны, приводят к формулам для определения осевой нагрузки на верхнем конце рассматриваемого интервала в виде:

- для интервала спада зенитного угла скважины при движении колонны вверх ($P_c^{н,н}$) или вниз ($P_c^{в}$)

$$P_c^{н,н} = P_n e^{\pm \mu \varphi} - \frac{c(1 - e^{\pm \mu \varphi})}{\pm \mu} - \frac{q \rho_c}{\mu^2 + 1} \left\{ (\mu^2 - 1) \left[\sin \alpha - \frac{\sin \alpha_n}{e^{\pm \mu \varphi}} \right] \mp 2\mu (\cos \alpha - e^{\pm \mu \varphi} \cos \alpha_n) \right\}; \quad (7)$$

аналогично, для интервала набора зенитного угла

$$P_{нб}^{н,н} = P_n e^{\pm \mu \varphi} + \frac{q \rho_{нб}}{\mu^2 + 1} (\mu^2 - 1) (\sin \alpha - e^{\pm \mu \varphi} \sin \alpha_n) - \frac{c}{\pm \mu} (1 - e^{\pm \mu \varphi}), \quad (8)$$

Здесь α_n и α - зенитные углы, соответственно, на нижнем (со стороны забоя скважины) и верхнем концах интервала спада или набора α ; P_n - осевая нагрузка на нижнем конце рассматриваемого интервала ствола; верхние знаки перед μ относятся к случаю подъема колонны из скважины, нижние - спуска.

На рис.3 показана зависимость растягивающей осевой нагрузки на верхнем конце интервала набора или спада зенитного угла от нагрузки P_n на нижнем конце и от угла охвата φ (при пренебрежении влиянием изменения азимута). На рис.4 - зависимость потерь ΔP на этих же участках от коэффициента трения μ при натяжении или перемещении колонны вверх и вниз.

Для соответствующих рис. 3 и рис.4 исходных условий задачи потери осевых нагрузок достигают сотен килоньютон, что соизмеримо с нагрузкой на забой скважины.

Таким образом, полученные зависимости (7) и (8) подтверждают недопустимость пренебрежения влиянием профиля многоинтервальной скважины, что встречается в распространенных в промысловой практике методах расчета, которые были разработаны, в свое время, для вертикальных скважин и, соответственно, не учитывают влияния перерезывающих сил и

фиктивных поперечных нагрузок в поперечном сечении колонны на увеличение потерь осевых нагрузок на трение. Этим объясняется, в частности, и ряд случаев недоспуска эксплуатационных колонн до забоев, заниженной, по сравнению с проектной, длины горизонтального интервала и ряд других осложнений при бурении и эксплуатации скважин.

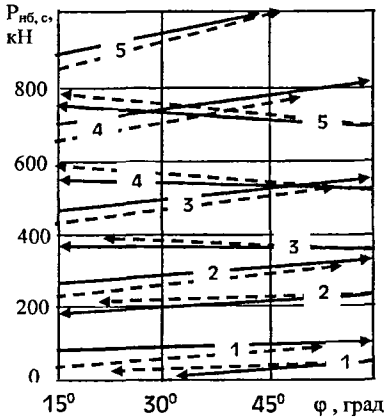


Рис. 3. Зависимость осевой нагрузки на интервалах спада (—; $\alpha_n = 0$) и набора (---; $\alpha_0 = 0$) зенитного угла от угла охвата φ (трубы 127х9; $\rho = 300$ м; $\mu = 0,2$; $\rho_{ж} = 1,2$ г/см³). 1 - растягивающая нагрузка $P_n = 0$; 2 - 200; 3 - 400; 4 - 600; 5 - 800 кН. ↗ - натяжение колонны; ↘ - спуск

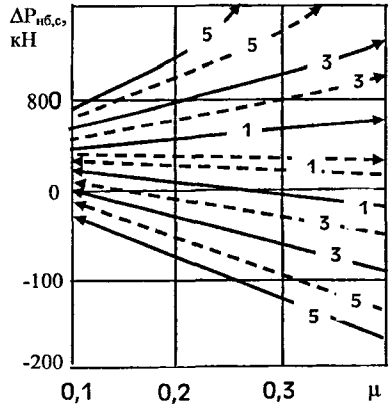


Рис.4. Влияние коэффициента трения μ на потери осевой нагрузки на интервалах спада (—; $\alpha_n = 0$) и набора (---; $\alpha_0 = 0$) зенитного угла (трубы 127х9; $\rho_{ж} = 1,2$ г/см³; $\rho = 300$ м; $\varphi = 30^\circ$). 1 - $P = 0$; 3 - 400; 5 - 800 кН. ↗ - натяжение колонны; ↘ - спуск

В третьей главе представлены методы расчета осевых нагрузок на забой и на верхнюю часть бурительной колонны. Полученные решения предназначены, в частном случае, и для прогнозирования предельной длины обсадных колонн, спускаемых в горизонтальные скважины для обеспечения возможности дифференцированного освоения и ввода их в эксплуатацию, с целью увеличения продуктивности или приемистости.

Для общего случая горизонтальной шестинтервальной скважины (рис.5) осевая нагрузка на забой равна

$$P_{заб}^{П/С,Б} = \sum q_n L_n [\exp \pm \mu (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)]^{-1} + \{q_1 \rho_1 [(\mu^2 - 1) / (\mu^2 + 1)] \sin \alpha_1 - q_n L_n (\cos \alpha_1 \pm \mu \sin \alpha_1)\} [\exp \pm \mu (\varphi_2 + \varphi_3)]^{-1} - q_2 \rho_2 [(\mu^2 - 1) / (\mu^2 + 1)]^{-1} [\exp (\pm \mu \varphi_3)]^{-1} - q_3 \rho_3 [(\mu^2 - 1) / (\mu^2 + 1)] [(\exp \pm \mu \varphi_3)]^{-1} \sin \alpha_2 - \sin \alpha_r] - (\pm \mu) (G + q_r L_{rr}) \sin \alpha_r. \quad (9)$$

А осевые нагрузки на верхнюю часть колонны при спуско-подъемных операциях определяются из выражения

$$\begin{aligned}
 Q^{П/С,Б} = И A^{П/С,Б} = & \pm \mu (G + q_r L_{TT}) \exp [\pm \mu (\varphi_3 + \varphi_2 + \varphi_1)] \sin \alpha_r + \\
 & + q_3 \rho_3 [(\mu^2 - 1) / (\mu^2 + 1)] [\sin \alpha_2 - \exp(\pm \mu \varphi_3) \cdot \sin \alpha_r] \exp[\pm \mu (\varphi_2 + \varphi_1)] + \\
 & + \{q_2 \rho_2 [(\mu^2 - 1) / (\mu^2 + 1)] [\sin \alpha_1 - \exp(\pm \mu \varphi_2) \cdot \sin \alpha_2] + q_n L_n (\cos \alpha_1 \pm \mu \sin \alpha_1) - \\
 & - q_1 \rho_1 [(\mu^2 - 1) / (\mu^2 + 1)] \sin \alpha_1\} \exp(\pm \mu \varphi_1) + \Sigma q_b L_b, \quad (10)
 \end{aligned}$$

где $A^{П/С,Б}$ – число делений по наземному индикатору веса колонны, соответствующее нагрузке на крюк при подъеме ($A^П$) или спуске и бурении ($A^{С,Б}$) колонны; И – цена деления индикатора веса.

Результаты проведенного по формулам (9) и (10) примера расчета, для частного случая прогнозирования предельной глубины спуска обсадной колонны в скважину, представлены в табл.2, из которой следует, что колонна под действием только сил собственного веса будет перемещаться в скважине до тех пор, пока нагрузка P^B не станет равной нулю. Поэтому еще на стадии проектирования целесообразно изменение геометрических параметров профиля скважины (в первую очередь – увеличение радиусов кривизны на интервалах набора α) или профиля ствола.

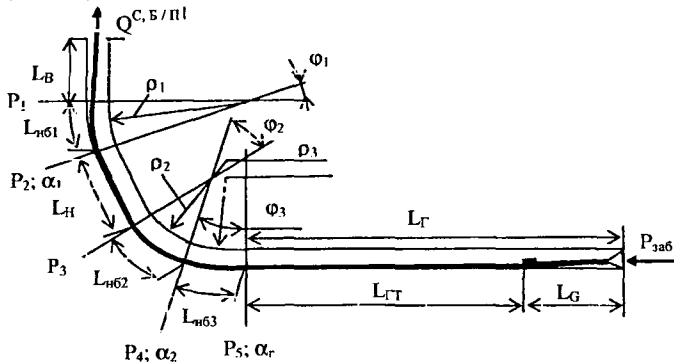


Рис.5. Схема горизонтальной шестиинтервальной скважины.

L_G – направляющий участок колонны

Таблица 2 - Влияние коэффициента трения труб о стенки скважины на максимальные растягивающие нагрузки и на возможность спуска колонны обсадных труб 168,3 x 8,9 мм в шестиинтервальную горизонтальную скважину

Осевая нагрузка, кН	Коэффициент трения μ			
	0,16	0,24	0,30	0,36
Q^B		264		
$Q^{С,Б}$		106		
P^B		- 25		- 65
$P^{С,Б}$		177		244

В настоящее время достигнутый уровень технологии бурения наклонных скважин обеспечивает возможность управляемого изменения траектории ствола и только по азимуту (или, как вариант, в плоскости напластования пород). Такие скважины обеспечивают максимально возможную нефтеотдачу пласта, а

в отдельных случаях могут решать ряд проблем защиты верхнего водоохранного комплекса или наземных сооружений. В скважине с профилем, например по рис.6, для бурильной колонны, состоящей из секций стальных бурильных труб (СБТ), легкосплавных (ЛБТ) и КНБК, полученные в результате проведенных исследований формулы имеют вид:

- для нахождения максимальной нагрузки на крюк при подъеме бурильной колонны из скважины

$$Q_{\max} = Q^{\Pi} = \mu G e^{(\mu \varphi_{\text{ар}} + \mu \alpha_r)} + q_{\text{ЛБТ}} \rho_a \operatorname{sh} \{ \mu (L_a - L_G) \rho_a^{-1} + \ln [\mu G q_{\text{ЛБТ}}^{-1} \rho_a^{-1} + (1 + \mu^2 G^2 q_{\text{ЛБТ}}^{-2} \rho_a^{-2})^{0,5}] \} e^{\mu \alpha_r} + q_{\text{ЛБТ}} L_{\text{ТН}} \mu e^{\mu \alpha_r} + q_{\text{ЛБТ}} \rho (1 - \sin \varphi_{\text{СБТ}}) [1 - \mu^{-1} (1 - e^{\mu \varphi_{\text{ЛБТ}}})] e^{\mu \varphi_{\text{СБТ}}} + \rho q_{\text{СБТ}} \sin \varphi_{\text{СБТ}} [1 - \mu^{-1} (1 - e^{\mu \varphi_{\text{СБТ}}})] + L_b q_{\text{СБТ}} ; \quad (11)$$

- для определения осевой нагрузки на долото

$$P_{\text{заб}} \equiv P_4^{\text{С, Б}} = \{ L_b q_{\text{СБТ}} e^{-\mu \alpha_r} + \rho q_{\text{СБТ}} \sin \varphi_{\text{СБТ}} [1 - \mu^{-1} (1 - e^{-\mu \varphi_{\text{СБТ}}})] e^{-\mu \varphi_{\text{ЛБТ}}} + q_{\text{ЛБТ}} \rho (1 - \sin \varphi_{\text{СБТ}}) [1 - \mu^{-1} (1 - e^{-\mu \varphi_{\text{ЛБТ}}}) - q_{\text{ЛБТ}} L_{\text{ТН}} \mu] \} e^{-\mu \varphi_{\text{ар}}} - q_{\text{ЛБТ}} \rho_a \sin [\mu (L_a - L_G) \rho_a^{-1} + \arcsin (\mu G q_{\text{ЛБТ}}^{-1} \rho_a^{-1})] - \mu G . \quad (12)$$

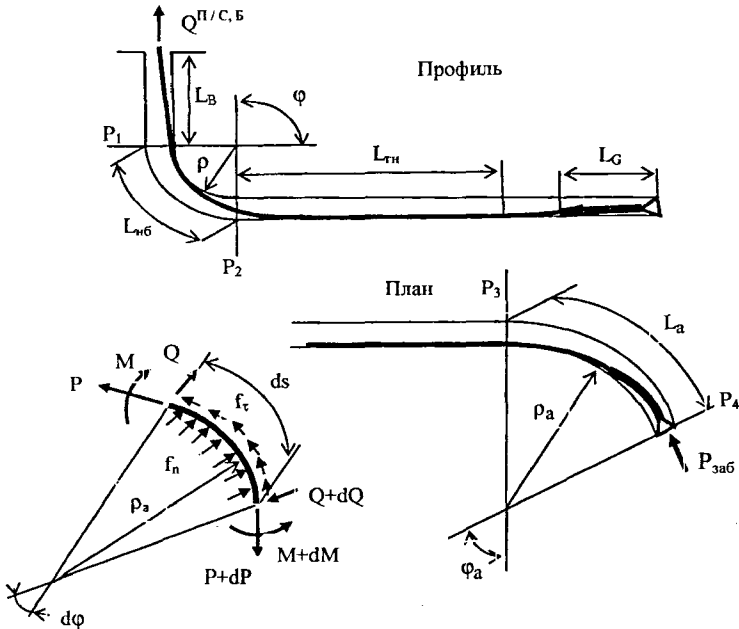


Рис.6. Схема четырехинтервальной скважины с искривлением горизонтального интервала ствола по азимуту

Проведенный на основе ряда примеров расчета анализ подтвердил, что при изменении траектории горизонтального интервала ствола только по азимуту дополнительные потери осевой нагрузки на трение целесообразно нивелировать за счет увеличения радиуса искривления этого интервала.

Представленные результаты исследований позволяют прогнозировать рациональность выбора методов и режимов увеличения нагрузки на забой с

целью увеличения длины горизонтального интервала ствола, с использованием ряда технологических решений, часть которых представлена в гл.4.

В четвертой главе рассмотрены малоисследованные методы уменьшения отрицательного влияния двух доминирующих причин ограничения при бурении шарошечными долотами длины горизонтальных интервалов стволов, предопределяемых:

- снижением энергии продольных колебаний низа бурильного инструмента. направленной на разрушение забоя скважины и достигающей в скважинах диаметром 139,7...295,3 мм нескольких десятков кВт, т.е. соизмеримой с мощностью, необходимой для разрушения забоя;

- недостаточной величиной статической нагрузки на долото, не обеспечивающей внедрения зубьев шарошек в породу на величину, требуемую для эффективного разрушения забоя.

Для снижения отрицательного влияния указанных факторов рассмотрен ряд малоисследованных методов увеличения длины горизонтального интервала ствола и выбора основных рабочих параметров их, учитывающих взаимосвязь изменения местоположения нейтрального сечения с режимом периодической разгрузки части веса растянутой части бурильной колонны на забой скважины (см. рис.7) и ряд других условий разрушения забоя скважины. Так, например, при использовании многоступенчатого гидроцилиндра осевая нагрузка на долото может быть увеличена, согласно (9) (например, в трехинтервальной скважине по рис.8), на величину

$$\Delta P_{\Sigma} = \Sigma q_{\Gamma} I_{\Gamma} (e^{+\mu \varphi_{\text{нб}}} + e^{-\mu \varphi_{\text{нб}}}) + 2q_{\text{нб}} \rho_{\text{нб}} [(\mu^2 - 1)(\mu^2 + 1)^{-1}] \sin \alpha_{\Gamma} + 2L_{\Gamma} q_{\Gamma} \mu \sin \alpha_{\Gamma}. \quad (13)$$

Причем, конструкция гидроцилиндра должна предусматривать замедленное движение поршней (относительно цилиндра) в направлении увеличения общей длины силового гидроцилиндра, а в направлении сокращения длины - ускоренное. Сокращение длины осуществляется периодическими импульсами разгрузки части веса колонны на забой тормозом лебедки. В отдельных случаях, как вариант, путем периодического увеличения гидравлического давления, создаваемого буровыми насосами на устье скважины.

Ускоренное перемещение поршней в направлении уменьшения общей длины гидроцилиндра обеспечивает полное восстановление исходного положения их относительно корпуса цилиндра, например, после каждого очередного импульса разгрузки части веса растянутой части колонны на забой тормозом лебедки. По мере последующего заглубления долота в породу нагрузка на забой поддерживается за счет сил трения части колонны о стенки ствола до полного выдвигания поршней из цилиндра. Первоначально гидроцилиндр может устанавливаться непосредственно над долотом (или КНБК), а затем, при последующем бурении, когда импульсы разгрузки $\downarrow \Delta Q$ не «смогут» преодолевать силы трения колонны о стенки ствола на участке расположенном выше гидроцилиндра, периодически перемещаться в направлении устья скважины. При недостаточной эффективности используется большее количество гидроцилиндров.

Другим рациональным методом относительного увеличения длины горизонтального интервала ствола и повышения механической скорости

бурения является снижение сил трения бурильной колонны о стенки скважины за счет продольных виброперемещений колонны (на горизонтальном интервале), создаваемых специальными гидромеханическими вибраторами. Эффективность вибраторов зависит от основных параметров их (амплитуды и частоты виброперемещений), а также от местоположения в колонне.

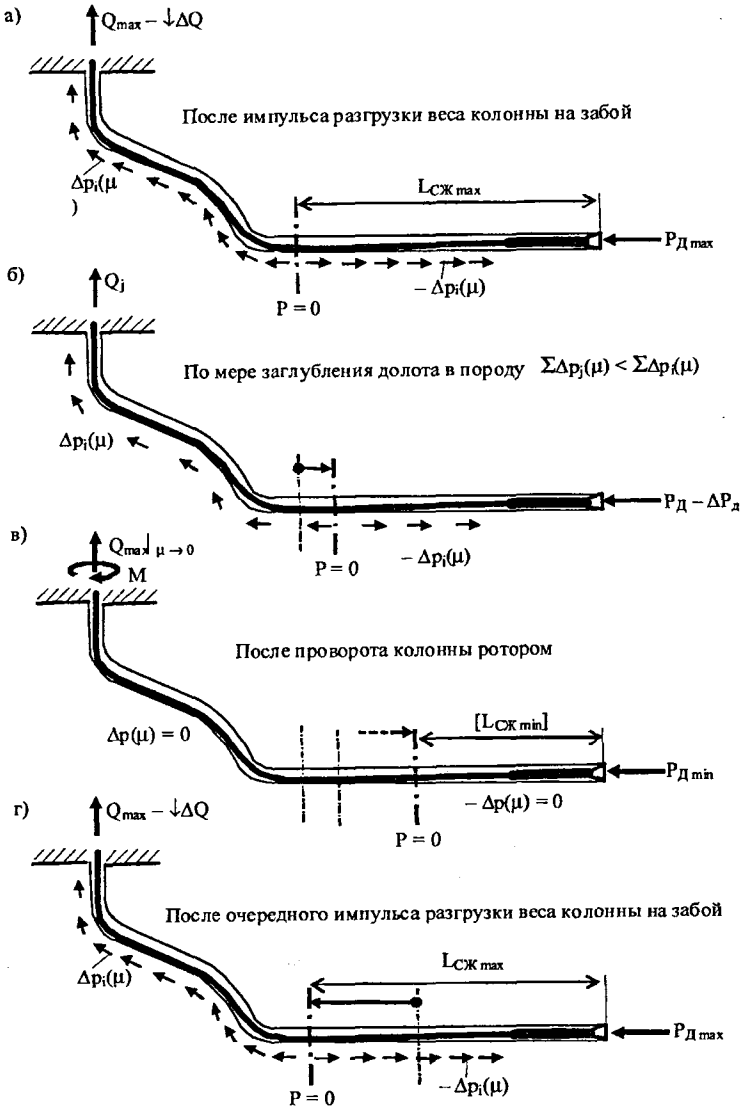


Рис. 7. Схема к расчету распределения осевых нагрузок по длине колонны и изменения местоположения нейтрального сечения ($P = 0$), между двумя импульсами разгрузки веса колонны на забой тормозом лебедки

Дополнительное увеличение затрачиваемой на генерирование мощности наземных буровых насосов для реальных 120,4...244,5 мм стволов скважин, согласно проведенному анализу известных из технической литературы материалов, должно быть соизмеримо с мощностью, затрачиваемой на разрушение породы, т.е. быть, в общем, не менее 10...60 кВт. Более точные величины ее определяют для каждой конкретной скважины, с учетом потерь мощности на трение колонны о стенки ствола.

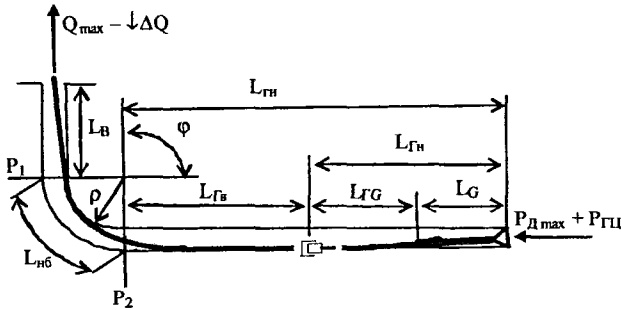


Рис.8. Схема к определению увеличения нагрузки на забой при использовании гидроцилиндра

Частота виброперемещений должна обеспечивать распространение их по длине горизонтального интервала ствола, не меньшей 200...300 м - без кратного уменьшения генерируемой амплитуды. Определение ее дифференцируется по способам бурения. Этим условиям удовлетворяют инфразвуковая и нижняя (не более нескольких десятков герц) области звукового диапазона частот.

Минимальная амплитуда выбирается в соответствии с указанной мощностью. Например, для 215,9-мм скважины должна быть в пределах от 3...7 до 40...75 мм.

Вибраторы с одинаковой частотой излучения, исходя из условия обеспечения синхронности работы, целесообразно устанавливать на расстоянии друг от друга, равном четверти длины генерируемых волн.

Остальные параметры дифференцируются по способам бурения, в соответствии с результатами проведенного в рамках настоящей работы исследования и по аналогии с приведенными примерами расчета.

В работе также исследованы и другие методы увеличения длины и улучшения промывки горизонтальных интервалов стволов скважин:

- с использованием винтообразных облегченных бурильных труб (из ЛБТ);
- с применением ЛБТ дополнительно облегченных, вплоть до плавучести их в потоке промывочной жидкости, цилиндрическими кольцами. например, из пламиллона со структурой в виде скрепленных между собой пластмассовых микробаллонов диаметром 0,1...0,3 мм или пермиллона с диаметрами микробаллонов 0,2...0,4 мм;

- при вращении колонны ротором и дополнительном использовании ряда других технологических приемов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны методики расчета осевой нагрузки на долото и на талевую систему спуско-подъемного механизма буровой установки при бурении трех...шестиинтервальных скважин различного профиля, в том числе с участком управляемого изменения азимута на горизонтальном интервале ствола.

2. Показано, что на интервалах набора и спада зенитного угла недопустимо пренебрежение влиянием перерезывающих сил и распределенных поперечных нагрузок в поперечном сечении колонны. Допускаемое в промышленной практике использование для этих интервалов методов расчета, предназначенных для определения потерь осевой нагрузки при локальном искривлении ствола, эквивалентном изменениям зенитного угла и азимута, регистрируемыми инклинометром может привести к осложнениям в процессе бурения скважин (недопуска обсадной колонны, несоответствия проектной величине длины горизонтального интервала ствола и др.).

3. Подтверждено, что для снижения интенсивности локального винтообразного искривления ствола при бурении горизонтального или наклонного интервала скважины необходимо уменьшение угла отклонения оси долота от оси скважины. Например, путем уменьшения осевой нагрузки на долото, увеличением в КНБК количества опорно-центрирующих элементов и др.

4. Для увеличения длины горизонтального ствола разработаны методы прогнозирования основных рабочих параметров, мест установки и режимов эксплуатации многоступенчатых гидроцилиндров, скважинных вибраторов, различных конструкций облегченных труб и ряда других технологических приемов.

5. Разработано и внедрено в учебный процесс в УГНТУ учебно-методическое пособие «Расчет осевой нагрузки на забой и подъемный механизм при бурении и спуско-подъемных операциях в горизонтальных скважинах и боковых ответвлениях стволов скважин».

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

- в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Янтурин Р.А. О методах расчета осевой нагрузки в колоннах штанг, бурильных, обсадных и насосно-компрессорных труб /Р.А. Янтурин, А.Ф. Зайнуллин, А.Ш. Янтурин, А.Х. Габзалилова// Научно-технический журнал «Нефтяное хозяйство», 2012. – № 1. – С. 88-91.
2. Янтурин Р.А. О некоторых аспектах увеличения длины эффективного бурения горизонтального интервала или бокового ответвления ствола скважины /Р.А. Янтурин, А.Х. Габзалилова, А.Ш. Янтурин // Научно-

технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – Москва: ВНИИОЭНГ, 2012. – № 2 – С.28-31.

3. Янтурин Р.А. Осевая нагрузка на забой и на подъемный механизм в четырехинтервальной горизонтальной скважине с участком управляемого изменения азимута /Р.А. Янтурин, А.Х. Габзалилова, А.Ш. Янтурин // Научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – Москва: ВНИИОЭНГ, 2012. – № 3 – С.4-7.

4. Габзалилова А.Х. О распределении потерь осевой нагрузки по длине колонны труб или штанг в многоинтервальной горизонтальной скважине. / А.Х. Габзалилова, А.Ш. Янтурин // Научно-технический журнал «Проблема сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов», 2012. - №1- С.39-45.

- в других изданиях:

5. Габзалилова А.Х. О некоторых аспектах увеличения глубины и эффективности бурения горизонтальных и боковых ответвлений стволов скважин /А.Х.Габзалилова, А.А.Суздальцев// Тезисы докладов научно – практической конференции «Новая техника и технология для геофизических исследований скважин». –Уфа, 2011.- С.187-189.

6. Габзалилова А.Х. Влияние колебаний на снижение перемещению колонны труб, штанг и геофизической аппаратуры в наклонных и горизонтальных скважинах /А.Х.Габзалилова, А.Ф.Зайнуллин, Ш.Г.Шаисламов // Сборник докладов научно-практической конференции «Разведочная геофизика: Проблемы и перспективы».- Уфа, 2011.- Вып.4. - С.160-164.

7. Габзалилова А.Х. О некоторых аспектах проводки горизонтальных скважин /А.Х.Габзалилова// Материалы 38-й научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Уфа, 2011. – Том 2.– С. 3-7.

8. Габзалилова А.Х. О некоторых ошибках при расчетах бурильных и нефтепромысловых колонн для наклонных и горизонтальных скважин /А.Х.Габзалилова, А.Ф.Зайнуллин// Материалы 38-й научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Уфа, 2011. – Том 2. - С. 22-25.

9. Габзалилова А.Х. Осевая нагрузка на забой и на подъемный механизм в горизонтальной скважине с интервалами: вертикальным, набора зенитного угла и изменения азимута /А.Х.Габзалилова, Р.А. Янтурин// Всероссийская научно техническая конференция. Сборник научных трудов «Современные технологии в нефтегазовом деле 2011». – Уфа, 2011- Том 1. - С.198-203.

10. Габзалилова А.Х. Об увеличении длины горизонтального или восстающего интервала ствола скважины при бурении /А.Х.Габзалилова// Всероссийская научно техническая конференция. Сборник научных трудов «Современные технологии в нефтегазовом деле 2011».–Уфа, 2011- Том 1. - С.193-198.

11. Габзалилова А.Х. О допустимых радиусах искривления скважины в интервалах набора зенитного угла и вынужденной корректировки траектории ствола /А.Х.Габзалилова// Сборник докладов научно-практической конференции «Разведочная геофизика: Проблемы и перспективы». - Уфа, 2011.- Вып. 5. - С.149-152.

12. Габзалилова А.Х. О проблеме определения осевых нагрузок по длине

колонны труб или штанг в интервалах набора и спада зенитного угла скважины /А.Х.Габзалилова, Д.А.Хисаева// Сборник докладов научно-практической конференции «Разведочная геофизика: Проблемы и перспективы», Уфа-2011.- Вып.5. - С.164-169.

Подписано в печать 12.04.12. Формат 60×84 1/16.

Бумага писчая. Гарнитура «Таймс».

Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 57.

Отпечатано с готовых авторских оригиналов

на ризографе в издательском отделе

Уфимской государственной академии экономики и сервиса
450078, г. Уфа, ул. Чернышевского, 145; тел. (347) 241-69-85.