

На правах рукописи

ЯНТУРИН РУСЛАН АЛЬФРЕДОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ
ПАРАМЕТРОВ КОМПОНОВОК НИЗА БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ
И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ БЕЗОРИЕНТИРОВАННОГО БУРЕНИЯ**

Специальность 05.02.13 – “Машины, агрегаты и процессы”
(нефтегазовая отрасль)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

УФА - 2005

Работа выполнена на кафедре нефтегазопромыслового оборудования Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Научный руководитель

доктор технических наук,
профессор Матвеев
Юрий Геннадиевич.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Габдрахимов
Мавлитзян Сагитьянович;

кандидат технических наук
Фатхутдинов
Исламнур Хасанович.

Ведущая организация

ООО НПП "Буринтех".

Защита состоится «21» апреля 2005 года в 14-00 на заседании диссертационного совета Д.212.289.05 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан «21» марта 2005 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Закирничная М.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа посвящена повышению эффективности безориентированного способа проводки ствола вертикальных, наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

Актуальность темы обусловлена необходимостью более точного проектирования и выбора конструкции компоновки низа бурильной колонны (КНБК) для безориентированного управления траекторией ствола при бурении, проработке скважины и вскрытии продуктивных горизонтов с учетом влияния горно-геологических и технико-технологических условий проводки.

Обзор литературных источников показал, что существуют несколько методик расчета, которые позволяют, с определенной степенью точности, подбирать КНБК для проводки участков стабилизации, набора и спада зенитного угла. Основным недостатком этих методик является затруднительность подбора КНБК для участков малоинтенсивных набора и спада зенитного угла, особенно в неблагоприятных горно-геологических условиях проводки скважин. В связи с этим для повышения эффективности бурения скважин в сложных горно-геологических и технологических условиях проводки ствола скважины возникает необходимость совершенствования методики расчета КНБК.

С технической точки зрения эффективность безориентированного способа бурения зависит от совершенства конструкций опорно-центрирующих элементов (ОЦЭ) регулируемого диаметра, которые могут располагаться как в местах крепления элементов КНБК между собой, так и на гладкой части корпуса забойного двигателя или утяжеленной бурильной трубы (УБТ).

Цель работы

Повышение эффективности безориентированного способа проводки скважин за счет совершенствования методики расчета КНБК путем

исследования ее устойчивости к изменению горно-геологических и технологических условий проводки вертикальных, наклонно-направленных и горизонтальных участков скважин, а также путем разработки и совершенствования серии ОЦЭ регулируемого диаметра.

Задачи исследований

1 Анализ влияния горно-геологических, технико-технологических факторов и конструкции КНБК на искривление скважин при безориентированном управлении траекторией ствола скважины.

2 Исследование продольно-поперечной деформации КНБК различных типоразмеров в наклонно-направленной скважине.

3 Исследование устойчивости КНБК к изменению горно-геологических и технико-технологических условий проводки скважин.

4 Разработка ряда ОЦЭ регулируемого диаметра.

5 Разработка ОЦЭ, совмещенных с демпферами поперечных и крутильных колебаний низа бурильного инструмента.

Научная новизна

1 Установлено, что при выборе конструкции КНБК для безориентированного бурения скважин на верхней границе отрыва забойного двигателя или УБТ от нижней стенки ствола скважины распределенную величину усилия прижатия к стенке ствола необходимо принимать эквивалентной нулю.

2 Разработана методика учета неблагоприятных горно-геологических и технологических условий проводки скважины, радиального люфта вала забойного двигателя и некоторых других факторов при выборе конструкции КНБК. Показано, что при выборе КНБК для участков стабилизации и слабоинтенсивных набора или спада зенитного угла следует учитывать радиальный люфт турбобура, начиная с величин от 1...2 мм.

3 Аналитически подтверждено, что при выборе конструкций КНБК для безориентированного управления траекторией ствола скважины к их

основным технологическим параметрам следует относить не только отклоняющую силу на долоте, но также угол отклонения оси долота от оси скважины. Причем для стабилизации зенитного угла может быть достаточным уравнивание обоих параметров друг другом, а для стабилизации азимута скважины (при бурении изотропных пород и при совпадении оси скважины с нормалью к плоскости напластования пород) – стремление их к нулю.

Основные защищаемые положения

1 Результаты анализа влияния горно-геологических и технико-технологических факторов на искривление скважин при безориентированном бурении.

2 Методика выбора КНБК при неблагоприятных горно-геологических и технико-технологических условиях проводки скважины.

3 Новые конструкции ОЦЭ и расширителей регулируемого диаметра.

Практическая и теоретическая ценность

1 Разработан и внедрен в АНК «Башнефть» "Технологический регламент на проектирование и выбор конструкций КНБК для бурения, проработки ствола и вскрытия продуктивных горизонтов (РД 03-00147275-091-2002)".

2 Разработан ряд ОЦЭ регулируемого, перед спуском в скважину, и восстанавливаемого, по мере износа, рабочего диаметра, в т.ч. с возможностью установки их (с деформационным креплением) на гладкой части корпуса забойного двигателя или УБТ.

3 Разработаны конструкции наддолотных калибраторов, совмещенные с демпферами крутильных и поперечных колебаний низа бурильного инструмента.

4 Разработана методика расчета КНБК повышенной устойчивости к воздействию внешних факторов, сочетающая рациональный выбор конструкции низа колонны с заменой нижнего полноразмерного ОЦЭ на

эксцентричный с эксцентриситетом радиального смещения долота относительно оси скважины, равным 0,5...2,0 мм.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались:

- на 1-й научно-практической конференции (г. Когалым, 2001 г.);
- научно-практической конференции, посвященной 70-летию башкирской нефти (г. Уфа, 2002 г.);
- 54-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (г. Уфа, 2003 г.);
- научно-методическом семинаре кафедры нефтегазопромыслового оборудования УГНТУ (г. Уфа, 2003 г.);
- 2-й Всероссийской учебно-научно-методической конференции (г. Уфа, 2004 г.).

Публикации

Основные положения диссертации отражены в 11 публикациях, в том числе 1 монографии, 1 технологическом регламенте, 1 статье, 6 тезисах докладов и 2 патентах РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, библиографического списка, состоящего из 99 наименований, и приложения. Работа изложена на 183 страницах машинописного текста, включая 99 рисунков и 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе представлены результаты анализа влияния основных горно-геологических и технико-технологических факторов на устойчивость КНБК.

Рассмотрены результаты исследований, проведенных В.О. Белорусовым, В.М. Беляевым, Д.Б. Боги, В.Ф. Буслаевым, Г. Вудсом, Н.А.

Григоряном, В.Г. Григулецким, М.П. Гулизаде, Е.И. Ишемгужиным, А.Г. Калинин, Л.Я. Кауфманом, А.Е. Колесниковым, Н.Ф. Лебедевым, А. Лубинским, А.В. Ляговым, О.К. Мамедбековым, В.Д. Поташниковым, П.Р. Пэслэйем, Р.Р. Сафиуллиным, С.С. Сулакшиным, Б.З. Султановым, Л.Я. Сушоном, Де-Тревилем и др..

Анализ проведен по наиболее распространенным при бурении забойными двигателями конструкциям КНБК, предназначенным для набора, стабилизации и спада зенитного угла, а также для управления азимутом скважины. Показано, что в реальных промысловых условиях наиболее затруднено обеспечение стабилизации зенитного угла и азимута скважины.

При неблагоприятных горно-геологических и технико-технологических условиях проводки скважин наиболее приемлемыми для стабилизации направления ствола, а также малоинтенсивных набора или спада зенитного угла, являются КНБК с количеством ОЦЭ не менее трех-четырех. Эффективность их возрастает при установке в нижней части бурильной колонны эксцентричного ниппеля, эксцентричного переводника или бицентричного долота, УБТ квадратных или шестигранных, при использовании роторно-турбинного способа бурения и др.

Среди геологических факторов в наиболее заметной мере на изменение траектории ствола оказывают:

- углы падения пластов (для вертикальных скважин) или отклонения оси ствола от нормали к плоскости напластования пород (для наклонных скважин);
- анизотропность пород;
- частая перемежаемость пород различной твердости.

Среди технико-технологических причин, влияющих на изменение траектории ствола, следует выделить:

- тип и конструктивные особенности породоразрушающего инструмента (в т.ч. боковая фрезерующая способность долота);

- неудачный выбор конструкции КНБК;
- способ бурения;
- режимы бурения (осевая нагрузка, скорость вращения долота);
- износ ОЦЭ в процессе бурения (изменение радиальных зазоров между стенкой ствола и КНБК и соответственно изменение угла перекоса оси долота относительно оси скважины) и т.д.

Среди этих факторов доминируют конструкция КНБК, диаметры ОЦЭ и расстояния между ними, жесткость элементов КНБК. Выбор конструкции порой основывается на несовершенных методах расчета. Например, в ряде машинных программ расчета выбор расстояний между ОЦЭ основывается на известной формуле Эйлера для определения критической сжимающей нагрузки, причем не только первого, но и последующих родов, не имеющих физического аналога в наклонной скважине.

Действительно, в наклонной скважине всегда наблюдается, в той или иной мере, продольно-поперечная деформация. В вертикальной, после потери продольной устойчивости плоская форма деформации будет преобразовываться в пространственную (Н.Ф. Лебедев, Е. Николаи и др.), т.е. никакой формы потери устойчивости второго и последующего родов наблюдаться не будет. Исключение составляют случаи использования элементов КНБК с жесткостью на изгиб $EI \neq \text{const}$ (квадратные или шестигранные УБТ и др.)

В целом проведенный анализ известных результатов исследований подтвердил, что до настоящего времени учет влияния ряда горно-геологических и технологических факторов при выборе технологических решений может оказаться затрудненным, т.к. требует статистического анализа обширного промыслового материала по каждой конкретной площади. Именно поэтому для наклонных скважин до настоящего времени в технической литературе отсутствуют удобные для практического использования методические указания по учету, при выборе конструкций

КНБК, устойчивости их к воздействию ряда внешних факторов. Соответственно излишне возрастает роль эмпирического фактора. Поэтому для безориентированного управления траекторией ствола наклонных скважин назрела необходимость, в частности:

- разработки новых конструкций КНБК повышенной устойчивости к влиянию горно-геологических и технологических условий проводки скважин;

- разработки новых конструкций ОЦЭ с расширенными функциональными возможностями (регулирование рабочего диаметра перед спуском в скважину, обеспечение возможности локального расширения ствола на отдельных участках скважины, возможность использования ОЦЭ в режиме эксцентричного ниппеля и т.д.);

- создании методики расчета КНБК с тремя-четырьмя и более ОЦЭ, учитывающей (в отличие от распространенных) условия отрыва корпуса забойного двигателя или УБТ от нижней стенки ствола на верхней границе контакта КНБК (т.е. третья производная поперечного прогиба по длине должна быть равна нулю).

Во второй главе приведены результаты аналитического исследования продольно-поперечной деформации КНБК в наклонной скважине. Рассматриваются различные их конструкции с количеством ОЦЭ до четырех (с большим количеством в настоящей работе не представлены).

На верхней границе отрыва КНБК от нижней стенки ствола распределенная величина усилия прижатия к стенке ствола равна нулю, что учитывается в работе. Это позволило, в отличие от ряда известных исследований, отказаться от равенства нулю момента изгиба (в этой точке), что подразумевает наличие шарнира, а также от предложенного отдельными исследователями коэффициента заделки (ВНИИБТ), определение которого может оказаться затруднительным. Поэтому для обеспечения возможности проведения анализа устойчивости КНБК в работе рассматривается система

уравнений продольно-поперечной деформации четвертой степени, которая для произвольно выбранного участка КНБК (рисунок 1) имеет вид

$$EI_i \frac{d^4 v_i}{dx_i^4} + P_i \frac{d^2 v_i}{dx_i^2} = q_i \sin \alpha, \quad (1)$$

где α – зенитный угол скважины; EI_i – жесткость на изгиб; v_i – поперечный прогиб рассматриваемого однородного участка КНБК на длине x_i в интервале $0 \dots l_i$; P_i – осевая сжимающая нагрузка на нижний конец i -го участка КНБК; q_i – вес единицы длины участка (забойного двигателя или УБТ).

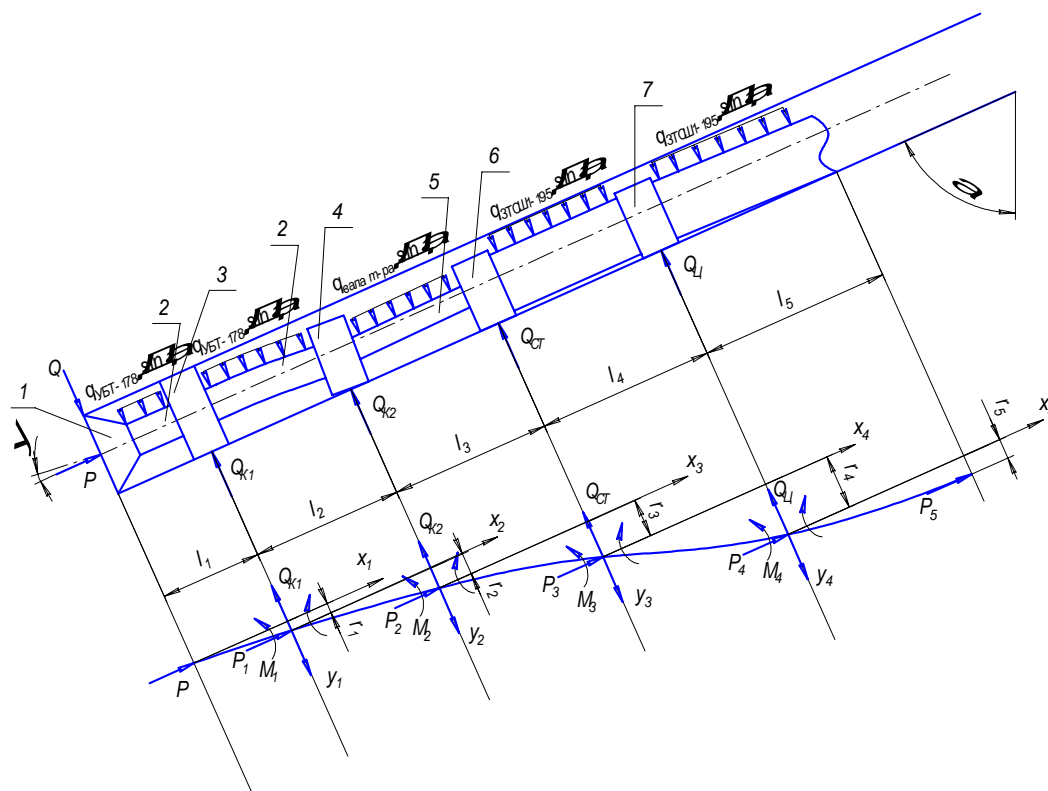
Граничные условия на долоте соответствуют равенству нулю поперечного прогиба $v_1(0)$ и изгибающего момента. На верхнем конце участка l_5 (длина которого неизвестна), т.е. в точке отрыва его от нижней стенки ствола ось колонны параллельна оси скважины, а распределенная величина реакции стенки ствола равна нулю. Условия сопряжения на границах между участками соответствуют эквивалентности первых производных, изгибающих моментов и поперечных нагрузок (с учетом наличия сил прижатия ОЦЭ к стенке ствола скважины).

Решение уравнения (1), полученное (с целью облегчения задачи) с использованием преобразований Лапласа, имеет вид

$$v_i = \frac{k_{qi}}{k_{pi}^4} \left[-1 + \frac{k_{pi}^2 x_i^2}{2} + \cos k_{pi} x_i \right] + v_i'(+0) x_i + \frac{v_i''(+0)}{k_{pi}^2} (1 - \cos k_{pi} x_i) + \frac{v_i'''(+0)}{k_{pi}^2} (x_i - \frac{\sin k_{pi} l_i}{k_{pi}}) . \quad (2)$$

На основе решения (2) для КНБК по рисунку 1 получена система из 21 алгебраического уравнения, которая решалась по составленной автором программе расчета в среде MathCad. При анализе устойчивости в работе рассматриваются конструкции КНБК с различным количеством ОЦЭ. При

этом учитывается, что положительные величины отклонения оси долота от оси скважины ψ и радиальной составляющей реакции забоя Q способствуют набору зенитного угла скважины α , отрицательные величины ψ и Q - спад α . Если ψ и Q имеют различные знаки, то набор или спад α будут предопределяться соотношениями их, а также фрезерующей способностью долота.



1 – долото; 2 – переводник; 3 – калибратор наддолотный; 4 – калибратор верхний; 5 – вал турбобура; 6 – стабилизатор; 7 – центратор

Рисунок 1 - Схема к расчету КНБК

В результате анализа полученного решения подтверждено, что устойчивость к воздействию горно-геологических и технико-технологических условий проводки скважины с увеличением количества ОЦЭ возрастает. Например, КНБК с 4-мя ОЦЭ целесообразно использовать на участках стабилизации (параметры КНБК определяются исходя из условия минимизации величины ψ - см. рисунок 1), слабоинтенсивных набора или стабилизации зенитного угла скважины. Соотношения между

диаметрами ОЦЭ, углом ψ между осью долота и скважины и отклоняющей силой на долоте Q приведены соответственно на рисунке 2 и рисунке 3. Причем при $Q = 0$ угол (см. рисунок 2) $\psi \rightarrow 0$, что лучше других типов КНБК обеспечивает и стабилизацию зенитного угла и борьбу с локальной кривизной ствола (при $\alpha = 30^0$).

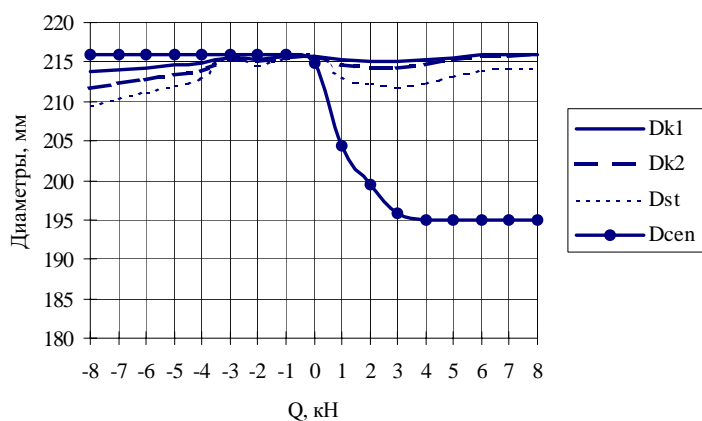


Рисунок 2 - Зависимость диаметров калибраторов (D_{k1} и D_{k2}), стабилизатора (D_{st}) и центратора (D_{cen}) от отклоняющей силы на долоте

Рассматриваемую конструкцию КНБК нецелесообразно применять для стабилизации направления ствола в интервале зенитных углов, $\alpha_{кр} = 10...25^0$, т.к. в этом случае заметно возрастает влияние износа стабилизатора и центратора на корпусе шпинделя двигателя (см. рисунок 3). При $\alpha > 30^0$ для стабилизации лучше использовать полноразмерные ОЦЭ.

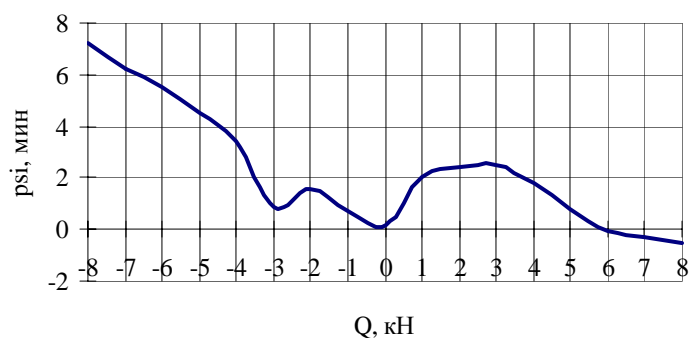


Рисунок 3 - Зависимость угла ψ от отклоняющей силы на долоте Q

Проведенный анализ показал, что увеличение длины участка l_1 (на участке стабилизации зенитного угла) свыше 1,5...2,0 м не приводит к необходимости уменьшения диаметров трех нижних ОЦЭ, т.е. не имеет существенного значения. С точки зрения обеспечения прямолинейности участка стабилизации и борьбы с локальной кривизной ствола лучше принимать $l_1 = 1$ м. Следует также иметь в виду, что увеличение длины l_1 приводит к снижению длины участка l_5 и соответственно к росту величины изгибающего момента в точке отрыва КНБК на участке l_5 от нижней стенки ствола скважины. Увеличение длины l_1 на участке спада зенитного угла свыше 2 м нецелесообразно. Интенсивность спада будет снижаться и за счет положительной величины угла ψ .

Длину участка l_2 для интервала стабилизации зенитного угла нежелательно принимать больше 1,5 м (рисунок 4). При этом диаметры ОЦЭ должны быть близкими к полноразмерным. Незначительно снижая диаметры ОЦЭ с сохранением условия $D_{\text{ц}} > D_{\text{к1}} > D_{\text{к2}} > D_{\text{ст}}$ можно плавно перейти от стабилизации к малоинтенсивному спаду α , а исключая из КНБК центратор и соблюдая условие $D_{\text{к1}} > D_{\text{к2}} > D_{\text{ст}}$ - к слабоинтенсивному набору α .

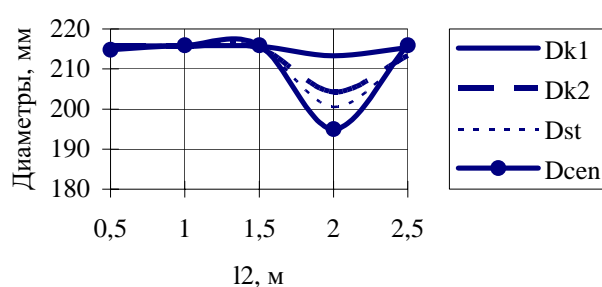


Рисунок 4 - Зависимость диаметров ОЦЭ от длины второго участка l_2 при стабилизации зенитного угла

Изменением длины 4-го участка (например, используя разработанную конструкцию ОЦЭ с деформационным креплением на гладкой части

забойного двигателя или УБТ) можно расширить устойчивость и диапазон эффективного применения КНБК с 4-мя ОЦЭ (рисунок 5).

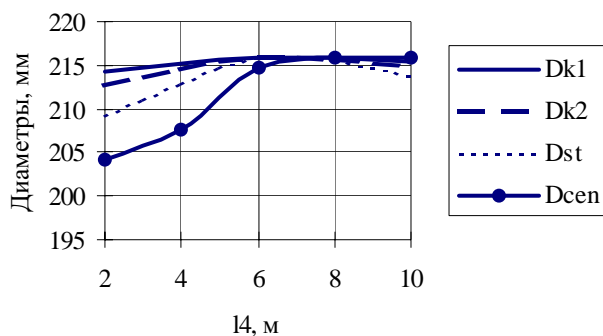


Рисунок 5 - Зависимость диаметров ОЦЭ от длины l_4 четвертого участка при стабилизации зенитного угла

Интересно отметить также, что КНБК с 4-мя ОЦЭ наиболее устойчива (для рассмотренных конструкции и геометрических параметров) и к влиянию осевой нагрузки на забой скважины.

Радиальный люфт вала шпинделя забойного двигателя в наибольшей мере влияет на необходимость уменьшения диаметров верхнего калибратора, стабилизатора и центратора (рисунок 6). В меньшей мере от радиального люфта зависит устойчивость КНБК к влиянию технологических и горно-геологических условий проводки скважины.

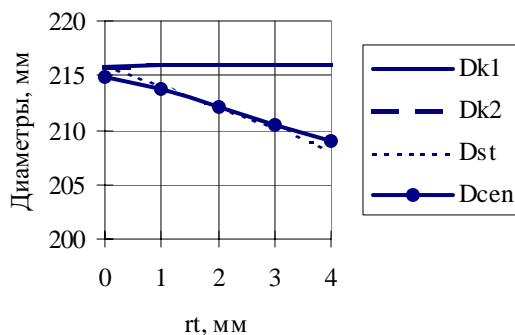


Рисунок 6 - Зависимость диаметров ОЦЭ от величины радиального люфта ($r_t = \Delta$) турбобура на участке стабилизации зенитного угла

В целом проведенный на основе полученного решения, анализ подтвердил, что для стабилизации зенитного угла скважины необходим как минимум подбор КНБК, у которых отклоняющая сила на долоте Q (с учетом фрезерующей способности долота) и угол ψ уравнивают друг друга (в т.ч. по направлению – «+» или «-»). Для стабилизации азимута скважины (при бурении изотропных пород и при совпадении оси скважины с плоскостью напластования пород) необходимо равенство (стремление к) нулю одновременно величин Q и ψ . Управление интенсивностью безориентированного набора или спада зенитного угла лучше осуществлять подбором (например, по приведенному в работе решению) соотношений и направлений Q и ψ . Радиальный люфт забойного двигателя (на ниппеле шпинделя) может привести к потере прогнозирования безориентированным управлением траекторией ствола в мере, эквивалентной потере диаметра (на близкую к нему величину) наддолотных калибраторов и (или) стабилизатора на ниппеле двигателя. Учет радиального люфта, даже при величинах его до 1...2 мм, необходим, в первую очередь, при выборе КНБК для участков стабилизации и слабоинтенсивных набора или спада зенитного угла.

В третьей главе проведено исследование устойчивости КНБК к изменению горно-геологических и технико-технологических условий проводки скважин. В наклонной скважине из-за продольно-поперечной деформации КНБК доминируют случаи наличия той или иной величины отклоняющей силы на долоте и смещения оси долота на какой-то угол ψ относительно оси скважины. Величины их лишь в отдельных частных случаях могут стремиться к нулю. В результате ствол скважины на участках стабилизации зенитного угла и вертикальных формируется в виде некоторой винтовой спирали, осью которой является относительно наклонный или вертикальный участок профиля.

Величина шага спирали h зависит от соотношений и направленности вектора отклоняющей силы на долоте и угла ψ . При переходе от участка стабилизации зенитного угла к участку безориентированного спада или набора спираль постепенно исчезает.

Обеспечение прямолинейности наклонного или вертикального интервала скважины является, как известно, одним из основных требований обеспечения последующего качественного цементирования обсадных колонн. Выполнение этого требования наилучшим способом обеспечивается для участков стабилизации зенитного угла подбором КНБК, у которых отклоняющая сила на долоте Q и угол смещения ψ оси его относительно оси скважины стремятся к нулю.

На рисунках 7 и 8 представлены зависимости угла ψ от зенитного угла α и отклоняющей силы на долоте Q . Из рисунка 7 видно, что минимальная величина угла ψ обеспечивается КНБК с 4-мя ОЦЭ, для которой зона наименьшей устойчивости наблюдается в интервале зенитного угла скважины $\alpha \leq 14^\circ$ и $\psi < 2'$. При $\alpha = 14 \dots 27^\circ$ (зона наименьшей устойчивости) ψ увеличивается до $5'$ (минут), а начиная с величины $\alpha = 30^\circ$ и вплоть до горизонтального ствола скважины ($\alpha = 90^\circ$) величина ψ практически эквивалентна нулю. Именно этим и объясняется сравнительная легкость управления траекторией ствола в скважинах, близких к горизонтальным. С уменьшением количества ОЦЭ угол отклонения оси долота от оси скважины последовательно возрастает до $9 \dots 12^\circ$. Поэтому с 2-мя и с 3-мя ОЦЭ следует ожидать роста локального искривления оси скважины. Для уменьшения угла ψ и соответственно предупреждения локального искривления ствола в виде винтовой спирали следует обеспечить более широкое варьирование расстояниями между ОЦЭ.

Синхронность совмещения условий $Q \rightarrow 0$ и $\psi \rightarrow 0$ также обеспечивается только КНБК (для рассматриваемых конструкций) с 4-мя ОЦЭ (рисунок 8) и несколько хуже в КНБК с 3-мя и 2-мя ОЦЭ. Следовательно, подтверждается промышленный опыт о достаточности применения для участков безориентированного спада и набора зенитного угла КНБК с количеством ОЦЭ три и менее. Причем уменьшение количества ОЦЭ ведет к увеличению интенсивности (снижению радиуса участка) спада или набора.

Необходимые для стабилизации направления ствола диаметры ОЦЭ при количестве их в КНБК не более трех с увеличением зенитного угла скважины уменьшаются. Для КНБК с 4-мя ОЦЭ диаметры их при $\alpha \geq 30^\circ$ близки к полноразмерным. Зона работы этих КНБК наименее устойчива в интервале зенитных углов $\alpha = 14 \dots 27^\circ$.

Обеспечение требуемого качества траектории ствола снижением нагрузки на забой (бурением «с навеса») увеличивает стоимость бурения.

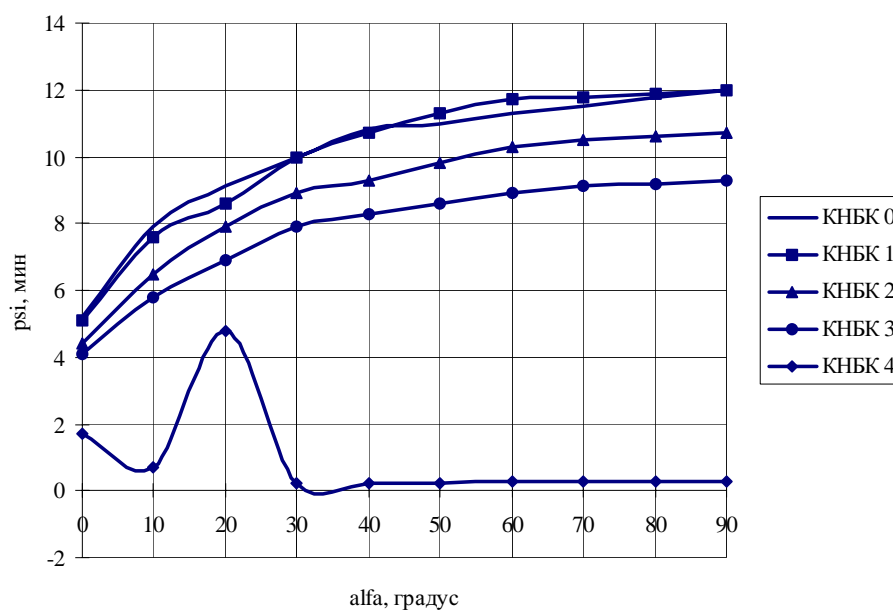


Рисунок 7- Зависимость $\psi = f(\alpha)$ для КНБК с разным количеством ОЦЭ (0-4)

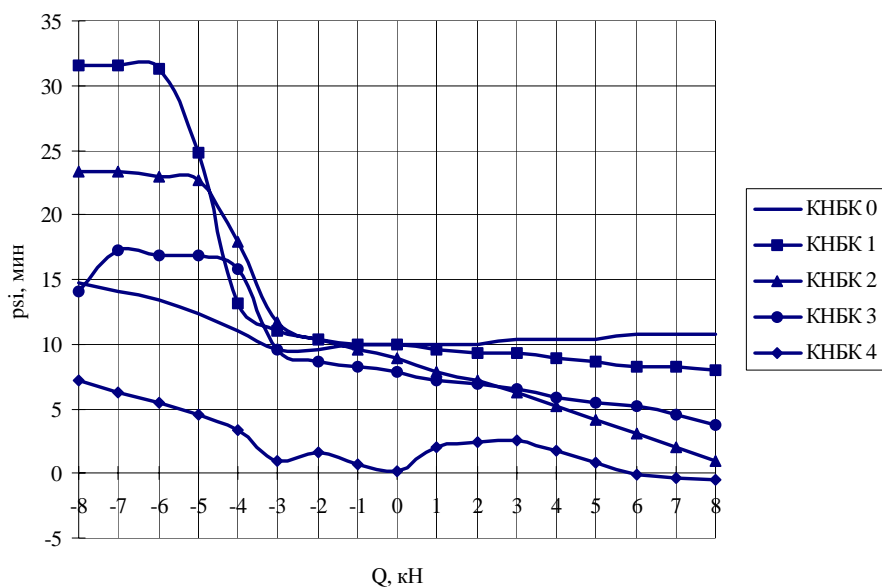


Рисунок 8 - Зависимость $\psi = f(Q)$ для КНБК с разным количеством ОЦЭ (0-4)

Несколько более эффективно использование так называемых «жестких» (условно жестких) КНБК (увеличенное количество ОЦЭ, применение квадратных, шестигранных или спиральных УБТ и др.). Однако это не устраняет проблемы, т.к. не позволяет полностью исключить продольно-поперечную деформацию низа колонны и влияние ее на кривизну ствола. Несколько лучшие результаты дает, в зависимости от конкретной ситуации, бурение естественно-искривленных скважин, использование одно-трехметровых вращающихся маховиков на валу забойного двигателя, постоянное вращение корпуса забойного двигателя, принудительное вращение низа КНБК по траектории «вокруг оси скважины» с помощью эксцентричных ниппелей и переводников, бицентричных (со смещенными осями породоразрушающих элементов) долот и ряда других устройств.

Однако во всех случаях необходим правильный выбор конструкции КНБК с учетом устойчивости ее к изменению условий проводки скважины, регулирование расстояния между ОЦЭ, контроль за изменением их диаметров.

Наиболее затруднителен выбор КНБК для стабилизации азимута скважины. Это объясняется тем, что при кустовом бурении (особенно при наличии углов падения пластов) у наклонных скважин отклонение осей стволов относительно нормали к плоскости напластования пород будет различным. Соответственно неодинаковым будет влияние анизотропности, направления напластования пород и ряда других факторов на изменение азимута скважины.

Очевидно, что стабилизация азимута лучше может быть обеспечена в случаях:

- равенства нулю одновременно отклоняющей силы на долоте Q и угла ψ отклонения оси долота от оси скважины;
- уравнивания друг другом величин и направлений Q и ψ ;
- сочетания указанных случаев с дополнительным использованием эксцентричных ОЦЭ (при наличии отрицательного влияния горно-геологических факторов).

Во всех трех случаях в соответствии с результатами проведенных исследований для стабилизации азимута лучше использовать не менее 4-х ОЦЭ, или, что хуже, не менее 3-х .

При выбранной в соответствии с разработанной программой расчета конструкции КНБК дополнительная стабилизация азимута обеспечивается установкой вместо нижнего ОЦЭ эксцентричного ниппеля, переводника или накладки на гладкой части корпуса забойного двигателя. При использовании любого из указанных методов величина эксцентриситета смещения долота относительно оси скважины более $\varepsilon = 0,5 \dots 2,0$ мм нецелесообразна.

Стабилизация азимута может несколько улучшиться с увеличением радиального люфта вала забойного двигателя. Однако в этом случае конструкцию КНБК следует подбирать с учетом величины люфта.

Для наклонных скважин проблема устойчивости КНБК даже при платформенном залегании пород обостряется из-за наличия меняющейся вдоль профиля ствола (для горизонтальных скважин – до 90^0) величины угла между осью долота (скважины) и нормалью к плоскости напластования пород. При корректировке направления ствола по азимуту (с помощью отклоняющих устройств) и при кустовом бурении этот угол также меняется, что осложняет возможность прогнозирования безориентированного управления азимутом скважины.

Поэтому в рамках настоящей работы УГНТУ, с участием автора, совместно с БашНИПИнефть были разработаны два типа модификаций эксцентричных ниппелей:

- гидравлического типа, с эксцентрично самовыдвигающимися лопастями за счет перепада давления над долотом и в заколонном пространстве только в процессе бурения или проработки ствола, модели КПр-ЭН;

- механического типа, с жестко фиксируемыми лопастями перед спуском бурильного инструмента в скважину, модели КСмР-ЭН.

В четвертой главе представлены результаты разработки универсальных ОЦЭ регулируемого перед спуском в скважину диаметра, предназначенных для безориентированного управления траекторией ствола наклонной скважины.

Указанным условиям в наибольшей мере удовлетворяет разработанная УГНТУ с участием автора, совместно с БашНИПИнефть, и апробированная, по ряду устройств, в промысловых условиях серия ОЦЭ регулируемого, непосредственно перед спуском в скважину, диаметра. Был разработан ряд гидравлических и механических ОЦЭ (калибратор КСмР [Янтурин Р.А., Лягов А.В., Назаров С.В. и др. Центратор механический универсальный.-

Положительное решение ФИПС РФ от 28.01.2005 г. по заявке № 2004105337 / 03(005581)] и др.) с самовыдвигающимися (прямолопастными) ребрами.

Проведенные промысловые испытания подтвердили эффективность применения разработанных конструкций устройств:

- для кратного увеличения эксплуатационного ресурса ОЦЭ путем восстановления их диаметра (по мере износа), а при полном износе твердосплавной (рабочей) поверхности – смены калибрующих (центрирующих) лопастей;

- для сплошной или избирательной, по длине скважины, локальной проработки и расширки ствола.

В пятой главе рассматриваются конструкции наддолотных ОЦЭ, совмещенных с демпферами крутильных и поперечных колебаний. Разработка их вызвана тем, что интенсивность и глубина загрязнения прискважинной зоны продуктивного горизонта в значительной мере предопределяются колебаниями низа бурильной колонны и временем вскрытия пласта бурением. Поэтому установка в нижней части КНБК ОЦЭ, совмещенного с демпфером поперечных, продольных или крутильных колебаний, уменьшает степень снижения естественной проницаемости прискважинной зоны пласта (ПЗП).

Были разработаны две конструкции устройств:

- калибратор, совмещенный с обгонной муфтой, что позволяет гасить крутильные колебания;

- демпфер поперечных колебаний, совмещенный с калибратором наддолотным спиральным модели КС-М (разработанным УГНТУ с участием автора работы совместно с БашНИПИнефть).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1 Анализ известных результатов исследований в области разработки и эксплуатации КНБК различных типоразмеров, предназначенных для безориентированного набора или спада и стабилизации зенитного угла и азимута скважины показал, что при разработке КНБК необходимо учитывать влияние на искривление скважин геологических и технико-технологических условий проводки скважин.

2 Представлено аналитическое решение продольно-поперечной деформации КНБК, основанное на системе дифференциальных уравнений четвертой степени и учитывающее равенство нулю реакции стенки скважины в зоне плавного «отрыва» верхней границы КНБК (корпуса забойного двигателя или УБТ) от нижней стенки ствола. С целью снижения громоздкости задачи и возможности практического использования ее решение для КНБК с 4-мя и более ОЦЭ получено с использованием преобразований Лапласа. Разработана программа расчета КНБК в среде MathCad, результаты которой использованы при разработке РД 03-00147275-091-2002 «Технологический регламент на проектирование и выбор конструкций КНБК для бурения, проработки ствола и вскрытия продуктивных горизонтов».

3 При выборе конструкций КНБК для безориентированного управления траекторией ствола скважины, с учетом влияния горно-геологических и технологических факторов на ее устойчивость, к их основным технологическим параметрам следует относить не только величину отклоняющей силы на долоте Q , но и величину угла ψ отклонения оси долота от оси скважины. При этом:

- для стабилизации зенитного угла скважины необходим как минимум подбор КНБК, у которых отклоняющая сила на долоте Q (с учетом фрезерующей способности долота) и угол ψ уравновешивают друг друга (в т.ч. по направлению – «+» или «-»);

- для стабилизации азимута скважины целесообразно равенство (стремление к) нулю одновременно величин Q и ψ ;
- управление интенсивностью безориентированного набора или спада зенитного угла осуществляется подбором (например, по полученному решению) соотношений и направлений Q и ψ .

4 Радиальный люфт забойного двигателя (на ниппеле шпинделя) может привести к потере прогнозирования безориентированным управлением траекторией ствола в мере, эквивалентной потере диаметра (на близкую к нему величину) наддолотных калибраторов и (или) стабилизатора на ниппеле двигателя. Учет радиального люфта, даже при величинах его от 1...2 мм, необходим, в первую очередь, при выборе КНБК для участков стабилизации и слабоинтенсивных набора или спада зенитного угла.

5 На участках стабилизации и малоинтенсивных набора или спада зенитного угла устойчивость КНБК к воздействию внешних факторов возрастает при сочетании рационального выбора конструкции КНБК с заменой нижнего полноразмерного ОЦЭ на эксцентричный с эксцентриситетом радиального смещения долота относительно оси скважины, равным 0,5...2,0 мм. Для стабилизации азимута скважины лучше использовать эксцентричные ОЦЭ с самовыдвигающимися калибрующими ребрами.

6 Совместно с БашНИПИнефть разработана серия универсальных ОЦЭ регулируемого диаметра (восстанавливаемого по мере износа).

7 Разработаны конструкции ОЦЭ, совмещенных с демпферами поперечных и крутильных колебаний низа бурильного инструмента.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1 Янтурин Р. А. Продольно-поперечный изгиб многоопорной балки на упругом основании// Проблемы строительного комплекса России: Материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф. –Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. - 246с.

2 Янтурин Р. А., Гилязов Р. М., Болтов А. А. Создание комплекса опорно-центрирующих элементов (ОЦЭ) регулируемого диаметра для КНБК повышенной устойчивости//Проблемы нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности: Материалы 1-й науч.-практ. конф. (17-18 декабря 2001г.). –Когалым: Изд-во КогалымНИПИнефть, 2001.- Кн.2. -С.147.

3 Гилязов Р.М., Рамазанов Г.С., Янтурин Р.А. Технология строительства скважин с боковыми стволами.–Уфа: Монография, 2002.-290 с.

4 Рекин С. А., Янтурин Р. А. Частота размещения и жесткость центраторов обсадной колонны на наклонных и горизонтальных участках скважины//НТЖ “Нефтепромышленное дело”. - М.: ОАО “ВНИИОЭНГ”, 2002. -№8. –С.39.

5 РД 03-00147275-091-2002. Технологический регламент на проектирование и выбор конструкций КНБК для бурения, проработки ствола и вскрытия продуктивных горизонтов. –Уфа: Изд-во БашНИПИнефть, 2002. - 60с.

6 Янтурин Р. А. Анализ результатов промысловых испытаний ОЦЭ регулируемого диаметра// Тез. докл. 54-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. –Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. –С.207.

7 Янтурин Р. А., Борис А. А. Исследование КНБК с четырьмя ОЦЭ// Тез. докл. 54-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. –С.207.

8 Янтурин Р. А., Рекин С. А. О влиянии упругодеформированного состояния компоновки низа бурильной колонны на локальную кривизну ствола скважины//Методы увеличения нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов. Проблемы и решения. –Уфа: Изд-во «Монография», 2003.-Вып.4. – С.250.

9 Янтурин Р. А. Исследование работы КНБК с эксцентричными ниппелями// Реализация государственных образовательных стандартов при подготовке инж-ров механиков: проблемы и перспективы: Материалы 2-й Всерос. учеб.-науч.-метод. конф. –Уфа: Изд-во УГНТУ, 4004. –С.363.

10 Пат. 2227199 РФ, МКИ Е 21 В 17/22. Колонна труб для бурения или эксплуатации горизонтальных и наклонно-направленных скважин/ Г.С. Рамазанов, Р.М. Гилязов, А.Г. Сунагатуллин, Р.А. Янтурин и др. - №2001132019/03; Заявлено 27.11.01; Опубл. 20.04.04//Бюл.№11.

11 Пат. 2232249 РФ, МКИ Е 21 В 17/07, 17/10. Виброгаситель-калибратор/ А.В. Лягов, С.В. Назаров, Р.А. Янтурин и др. -№2003100250/03; Заявлено 01.04.03; Опубл. 10.07.04//Бюл.№19.