

УСТОЙЧИВОСТЬ НЕОРИЕНТИРУЕМЫХ КОМПОНОВОК НИЗА БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ

Гречин Е.Г., Овчинников В.П.

ТюмГНГУ

Выполнен анализ устойчивости неориентируемых компоновок низа бурильной колонны с одним и двумя центраторами. Компоновки с оптимальными геометрическими параметрами имеют хорошую характеристику в отношении устойчивости, но требуют центраторов с увеличенным диаметром. Показаны пути создания достаточно устойчивых компоновок с более приемлемыми геометрическими параметрами.

Достоинствами неориентируемых компоновок низа бурильной колонны (КНБК) являются их низкая стоимость и возможность получения более высоких технико-экономических показателей бурения. В некоторых случаях особенно важна их способность автоматически самоустанавливаться в соответствии с апсидальной плоскостью, независимо от действия реактивного момента. В то же время надежность и стабильность результатов, получаемых при использовании неориентируемых КНБК, недостаточны. Главной причиной расхождения теоретических расчетов с практикой является то, что почти все параметры, заложенные в расчетную схему, в реальной скважине имеют совсем иные значения, причем степень их отличия на месторождениях различна, и одна и та же компоновка может давать разные результаты. Поэтому разработка инструкций, основанных только на теоретических расчетах, с требованием следования им на всех месторождениях региона, на наш взгляд, путь неоправданный, больше того, такой подход ограничивает (или вообще исключает) возможности технологов по оперативному определению наиболее эффективных для данного месторождения компоновок. Целью теоретических исследований наряду с расчетом КНБК при некоторых номинальных параметрах должен быть анализ влияния наиболее существенных технологических и конструктивных факторов на ее работу. Такую оценку можно произвести с помощью важнейшей характеристики КНБК, предложенной специалистами ВНИИБТ [1, 2] – её устойчивости. Компоновки с оптимальными размерами (далее – оптимальные компоновки) должны удовлетворять двум условиям полной стабилизации зенитного угла, заключающимся в отсутствии боковой реакции на долоте и несоосности долота и

скважины. Понятие устойчивости применено в первую очередь к оценке влияния отличия фактической величины зенитного угла от расчетной, для которой компоновка является оптимальной. Появились термины: устойчивая, неустойчивая, пассивная КНБК [1, 2]. По-видимому, можно говорить об устойчивости компоновок и по отношению к другим параметрам, например, диаметру скважины или диаметру центратора.

Представляет практический интерес оценить, в рассматриваемом плане, наиболее характерные неориентируемые компоновки. На месторождениях нефти и газа Западной Сибири в качестве стабилизирующих компоновок широко применяются компоновки с одним центратором. По расчетам при диаметрах долота и турбобура, соответственно, 215,9 и 195 мм оптимальная компоновка должна иметь центратор диаметром 213,6 мм (такое же значение получено ранее в работе [3]), установленный на расстоянии от 4,87 до 3,74 м от долота для значений зенитного угла, соответственно, от 20 до 80°. В методических целях нами принята система координат с привычным направлением оси «у» вверх и применен компактный и наглядный метод начальных параметров, становящийся особенно удобным при расположении начала координат в точке контакта забойного двигателя с нижней стенкой скважины, – тогда не требуется определять постоянные интегрирования. Решение проводилось в среде «Maple». Теоретически условия полной стабилизации выполняются при единственном конкретном сочетании расчетных геометрических параметров, и при их изменении на долоте появляется отклоняющая сила, характер изменения которой определяет компоновку как устойчивую, пассивную или неустойчивую.

Применительно к выбранной системе координат сказанное можно интерпретировать следующим образом. Если зависимость $Rd(\alpha)$ для заданной компоновки близка к линейной и имеет положительный угол наклона, компоновка устойчивая; отрицательный – неустойчивая; – близкий к нулю – пассивная. Если зависимость $Rd(\alpha)$ отличается от линейной, рассматривается угол касательной в каждой её точке. Естественно, можно говорить о разной степени устойчивости компоновки, и могут быть такие, которые весьма трудно отнести к той или иной группе даже при теоретическом рассмотрении, не говоря о практике. Окончательное заключение об устойчивости компоновки, учитывая

нестационарность процесса работы устойчивых и неустойчивых компоновок, может дать только экспериментальная проверка. В работах [1, 2] рассматривались двухцентраторные компоновки. Ввиду широкого применения КНБК с одним центратором целесообразно провести оценку их устойчивости. Зависимости $R_d(\alpha)$ приведены на рис. 1. Прежде всего убеждаемся, что пересечение оси каждой кривой наблюдается при таком значении α , для которого компоновка является оптимальной. Главный вывод из представленных результатов состоит в том, что оптимальные одноцентраторные компоновки являются устойчивыми, причем, чем больше зенитный угол, тем ближе к пассивной становится соответствующая этому углу оптимальная компоновка. Это явствует из того, что углы наклона линий $R_d(\alpha)$ с увеличением значения α уменьшаются.

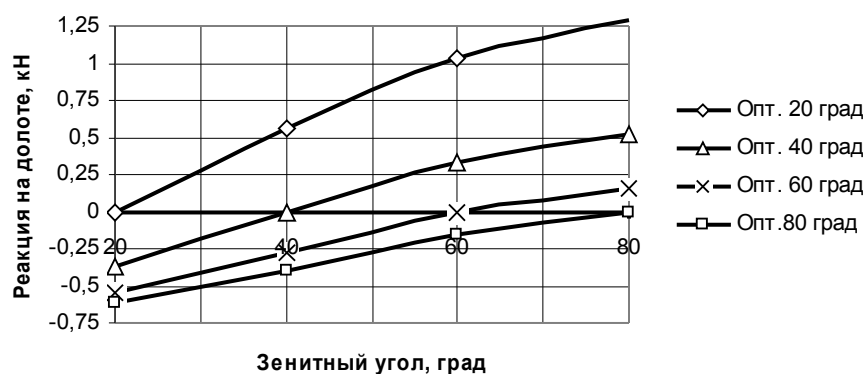


Рисунок 1. Проверка устойчивости оптимальных компоновок

Поскольку у рассматриваемой компоновки в расчетном режиме нет взаимодействия долота со стенкой скважины, она не должна быть критичной к отклонению фактического диаметра скважины в зоне забоя от диаметра долота. Кроме того, выполнение условий полной стабилизации зенитного угла, способствует также и стабилизации азимута, что отмечается, например, в работе [4]. Таким образом, у компоновок даже с одним центратором имеется ряд положительных качеств, но на практике они не реализованы, так как центратор располагают обычно не далее 1,5 м от долота, дополняя при этом компоновку полноразмерным калибратором [5].

Как указывалось выше, для реализации условий оптимальности одноцентраторных компоновок требуется центратор с увеличенным диаметром, зачастую неприемлемым на практике, поэтому представляет интерес проверка устойчивости компоновок, у которых отсутствует реакция на долоте, но имеется возможность малоинтенсивного увеличения угла за счет асимметричного разрушения забоя (для краткости назовем этот процесс механизмом разрушения А, а компоновки, ему соответствующие – компоновками типа А). Здесь требуется несколько иная трактовка понятия устойчивости КНБК. Допустим, компоновка типа А обеспечивает некоторую интенсивность увеличения зенитного угла i_α . Если она устойчива, в прежнем понимании этого термина, при увеличении зенитного угла величина i_α начнет снижаться и может поменять знак, если появляющийся при этом механизм фрезерования стенки скважины (назовем его для краткости механизмом Ф) станет доминирующим. При этом скважина будет стремиться вернуться к исходным значениям α и i_α . То же самое произойдет и при уменьшении зенитного угла, следовательно, по технологическим свойствам такая КНБК близка к стабилизирующей. Неустойчивая компоновка увеличивает интенсивность набора угла i_α с увеличением зенитного угла и уменьшает i_α с его уменьшением, т.е. уводит скважину от расчетной траектории. Пассивная компоновка не реагирует на изменение зенитного угла. Расчетные геометрические параметры компоновок, обеспечивающих условие $R_d = 0$, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Компоновки с реальными геометрическими параметрами,
удовлетворяющие условию $R_d = 0$

Диаметр центратора, мм	Расстояние между долотом и центратором L_1 , м			
	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 80^\circ$
208	–	–	–	–
209	3,41	2,91	2,7	2,62
210	3,96	3,38	3,14	3,04
211	4,29	3,67	3,4	3,29
212	4,55	3,88	3,61	3,49

Для оценки устойчивости компоновок типа А выбраны КНБК с центраторами диаметром 210 и 212 мм, при значениях зенитного угла 20, 40 и 60 град. Напомним, что компоновки оптимальные не могут иметь центраторы указанных размеров. По представленным на рис. 2. результатам расчетов видно, что все варианты компоновок типа А обладают устойчивостью. При построении зависимостей $R_d(\alpha)$ для этих компоновок выявилось их значительное сходство с аналогичными зависимостями оптимальных компоновок, поэтому они для сравнения совмещены на одном графике. Сплошные линии (оптимальные КНБК) идут несколько круче линий $R_d(\alpha)$ компоновок А. Это означает, что они быстрее должны восстанавливать расчетный угол стабилизации, чем компоновка А заданную интенсивность увеличения зенитного угла и его исходное значение. Линии $R_d(\alpha)$ при $D_c = 212$ мм (с коротким штрихом) идут несколько круче, чем при $D_c = 210$ мм (длинный штрих). Следовательно, компоновка с меньшим диаметром центратора будет дольше сохранять первоначальные параметры скважины. Но, в целом, компоновки типа А по своим технологическим свойствам должны быть близки к стабилизирующим компоновкам с тенденцией к незначительному увеличению зенитного угла. Такие их качества высоко ценятся технологами.

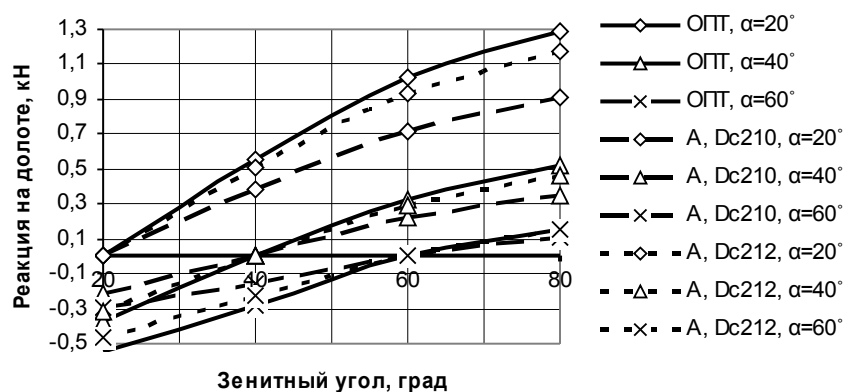


Рисунок 2. Сравнение устойчивости оптимальных компоновок и КНБК типа А. Компоновка: долото диаметром 215,9 мм; забойный двигатель диаметром 195 мм; геометрические параметры компоновок приведены в табл. 1

Особенностью реализации условий стабилизации двухцентраторных компоновок является то, что для заданных значений зенитного угла и диаметра первого центратора существует определенное расстояние между ним и долотом, при котором выполняются условия стабилизации (оптимальности КНБК). Это позволяет сначала определить оптимальные значения L_1 , а затем ввести их в программу расчета и на выходе получить пары значений L_2 , D_{c2} – диаметра и места расположения второго центратора.

Характерный вид зависимостей $Rd(D_{c2}, L_2)$ при фиксированных D_{c1} , L_1 , α показан на рис. 3, из которого видно, что каждая кривая Rd (сплошные линии) пересекает горизонтальную ось при двух значениях L_2 , соответствующих двум группам КНБК. Геометрические параметры соответствующих компоновок являются оптимальными только при этих двух указанных значениях расстояния между центраторами. С уменьшением L_2 кривые расходятся, т.е. повышается чувствительность компоновок к величине D_{c2} . Это нежелательное явление, так как любое, вполне вероятное, отклонение реальных условий от расчетной схемы приведет к значительному изменению режима работы компоновки. В зоне существования первых групп КНБК реакция на втором центраторе начинает резко снижаться до полной разгрузки, а на первом она, соответственно, сильно возрастает, и компоновка превращается в одноцентраторную.

При увеличении зенитного угла оптимизации принципиальных изменений не происходит. Следовательно, оптимальные КНБК первой группы можно назвать неустойчивыми к изменению диаметров центраторов и их нельзя рекомендовать к опробованию в промысловых условиях.

Геометрические параметры оптимальных компоновок с более высоким значением L_2 (второй группы) приведены в таблице 2.

Таблица 2 позволяет выбрать компоновки для оценки влияния на их устойчивость зенитного угла, для которого производилась оптимизация, и диаметров центраторов D_{c1} , D_{c2} . На рис. 4 представлены зависимости $Rd(\alpha)$ для КНБК, оптимизированных при $\alpha = 20^\circ$, о чем свидетельствует пересечение всеми линиями оси в точке $\alpha = 20^\circ$ (в легенде к графику изменены обозначения: D_{c2} на L_2 и т.д.).



Рисунок 3. Зависимости реакций на долоте и центраторах от геометрических параметров компоновки. Диаметр первого центратора 214 мм; расстояние между ним и долотом 4,64 м; зенитный угол 20°

Таблица 2

Расчетные геометрические параметры оптимальных стабилизирующих двухцентраторных компоновок

Dc ₁ =214 мм;		L ₁ = 4,64 м.; зенитный угол 20°					
Dc ₂ , мм	212	210	208	206	204	202	200
L ₂ , м	13,56	13,3	13,0	12,67	12,3	11,85	11,3
		L ₁ = 3,95 м.; зенитный угол 40°					
L ₂ , м	11,55	11,35	11,1	10,8	10,5	10,1	9,6
		L ₁ = 3,68 м.; зенитный угол 60°					
L ₂ , м	10,75	10,55	10,32	10,05	9,75	9,4	8,95
Dc ₁ =213 мм;		L ₁ = 5,15 м.; зенитный угол 20°					
L ₂ , м	14,9	14,7	14,5	14,25	14	13,7	13,4
		L ₁ = 4,4 м.; зенитный угол 40°					
L ₂ , м	12,75	12,57	12,38	12,18	11,95	11,72	11,45
		L ₁ = 4,1 м.; зенитный угол 60°					
L ₂ , м	11,85	11,7	11,5	11,35	11,14	10,92	10,65
Dc ₁ =212 мм;		L ₁ = 5,55 м.; зенитный угол 20°					
L ₂ , м	16,0	15,82	15,65	15,45	15,25	15,05	14,8
		L ₁ = 4,75 м.; зенитный угол 40°					
L ₂ , м	13,65	13,52	13,4	13,25	13,05	12,85	12,65
		L ₁ = 4,38 м.; зенитный угол 60°					
L ₂ , м	12,6	12,5	12,35	12,2	12,05	11,9	11,7

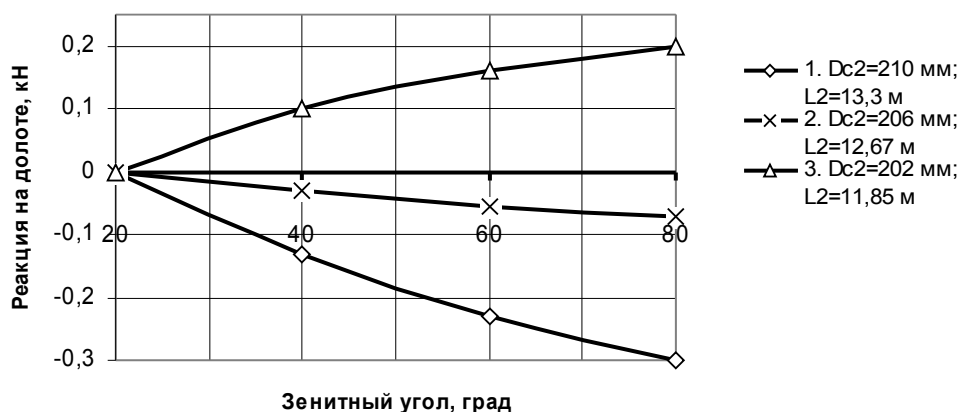


Рисунок 4. К оценке устойчивости стабилизирующих компоновок.
Диаметр первого центратора $D_{c1}=214$ мм;
расстояние между ним и долотом 4,64 м; зенитный угол 20

Визуально компоновки с $D_{c2} = 202, 206, 210$ мм можно было бы назвать, соответственно, устойчивыми, пассивными и пассивно-устойчивыми. Но изменение отклоняющей силы на долоте составляет всего 0,25 кН при изменении зенитного угла на 60° , что является незначительной величиной, и поэтому все приведенные компоновки можно отнести к пассивным. У компоновок, оптимизированных для зенитного угла 60° , а также при $D_{c1} = 213$ мм, наблюдаются такие же закономерности. Графическое изображение не приведено ввиду большого количества наложений зависимостей друг на друга. Совпадение $Rd(\alpha)$ с осью α (строго пассивная КНБК) произошло в вариантах:

- 1) $\alpha = 60^\circ$, $D_{c1} = 214$ мм, $D_{c2} = 206$ мм, $L_2 = 10,05$ м;
- 2) то же при $D_{c2} = 202$ мм, $L_2 = 9,4$ м;
- 3) $\alpha = 20^\circ$, $D_{c1} = 213$ мм, $D_{c2} = 202$ мм, $L_2 = 13,7$ м;
- 4) $\alpha = 60^\circ$, $D_{c1} = 213$ мм, $D_{c2} = 202$ мм, $L_2 = 10,92$ м.

При турбинном бурении нужно стремиться к применению ОЦЭ возможно меньшего диаметра. Оптимальные двухцентраторные компоновки подобно одноцентраторным требуют применения первого центратора с увеличенным диаметром, который должен устанавливаться на значительном расстоянии от долота (это не благоприятствует стабилизации азимута), еще более увеличивающемся при уменьшении его диаметра. Консольная часть КНБК между долотом и центратором должна быть достаточно длинной, чтобы под действием собственного веса угол поворота оси долота сравнился с углом несоосности

направляющего участка. Если в условии оптимизации КНБК оставить только требование равенства нулю реакции на долоте, между осями долота и скважины появится некоторый угол, который при расстоянии между долотом и первым центратором меньше значения, соответствующего оптимальной компоновке будет всегда положительным (при обеих реакциях на центраторах, направленных со стороны нижней стенки скважины). Следовательно, компоновка будет работать в режиме малоинтенсивного увеличения зенитного угла за счет асимметричного разрушения забоя. Для краткости и удобства изложения назовем её «КНБК типа А». Фактическую интенсивность увеличения зенитного угла (i_α) с помощью таких компоновок можно определить только опытным путем. Компоновки типа А имеют преимущества перед оптимальными КНБК, состоящие в том, что первый центратор можно располагать ближе к долоту, второй ближе к первому, и расширяются возможности применения центраторов уменьшенного диаметра. Расчетные значения геометрических параметров приведены в таблице 3.

Данные таблицы 3 позволяют выбрать варианты для оценки влияния на устойчивость компоновки зенитного угла, для которого производился её расчет по критерию $R_d = 0$, и её геометрических параметров – L_1 , D_{c1} , D_{c2} .

Из сравнения рисунков 5 и 6 видно, что удаление первого центратора от долота превращает компоновку из неустойчивой в пассивную, а уменьшение его диаметра повышает неустойчивость КНБК (рис. 7). С увеличением зенитного угла неустойчивость компоновок уменьшается (рис. 8, 9).

Выполненный анализ показывает, что оптимальные компоновки с одним и двумя центраторами, спроектированные с условием реализации условий полной стабилизации зенитного угла, имеют хорошую характеристику в отношении устойчивости, но требуют ОЦЭ увеличенного диаметра. При отказе от условия отсутствия несоосности долота и скважины появляется возможность уменьшить размеры центраторов и получить компоновки стабилизирующие, а также стабилизирующие с тенденцией к увеличению зенитного угла. Вопросы устойчивости таких компоновок также решаются путем подбора их геометрических параметров с учетом приведенных в работе результатов исследований.

Таблица 3

Геометрические параметры компоновок типа А

Диаметр первого центратора 212 мм, зенитный угол 20°							
№ п.	L ₁ , м	Dc ₂ , мм	210	208	206	204	202
1	2	L ₂ , м	10,8	10,4	9,9	9,24	8,2
2	3		11,3	10,8	10,4	9,7	8,8
3	4		12,7	12,3	12,0	11,6	11,1
зенитный угол 40°							
4	2	L ₂ , м	9,3	8,9	8,4	7,8	6,8
5	3		10,1	9,8	9,5	9,0	8,5
6	4		11,9	11,7	11,5	11,2	10,9
зенитный угол 60°							
7	2	L ₂ , м	8,6	8,3	7,9	7,3	6,4
8	3		9,7	9,5	9,2	8,8	8,4
9	4		11,6	11,5	11,3	11,1	10,9
Диаметр первого центратора 210 мм, зенитный угол 20°							
10	2	L ₂ , м	12,1	11,8	11,48	11,11	–
11	3		12,2	11,9	11,54	11,14	10,67
12	4		13,3	13	12,7	12,4	12,1
зенитный угол 40°							
13	2	L ₂ , м	10,2	10,0	9,7	9,3	8,9
14	3		10,8	10,6	10,3	10	9,6
15	4		12,3	12,1	11,9	11,7	11,5
зенитный угол 60°							
16	2	L ₂ , м	9,5	9,3	9,0	8,7	8,3
17	3		10,3	10,1	9,8	9,6	9,3
18	4		12,0	11,8	11,7	11,5	11,3
Диаметр первого центратора 208 мм, зенитный угол 20°							
19	2	L ₂ , м		12,9	12,6	12,4	12,0
20	3			12,7	12,5	12,1	11,8
21	4			13,6	13,4	13,1	12,8
зенитный угол 40°							
22	2	L ₂ , м	–	10,8	10,6	10,4	10,1
23	3		–	11,2	11,0	10,7	10,4
24	4		–	12,5	12,4	12,2	12,0
зенитный угол 60°							
25	2	L ₂ , м	–	10,0	9,8	9,6	9,3
26	3		–	10,6	10,4	10,2	9,9
27	4		–	12,1	12,0	11,8	11,7

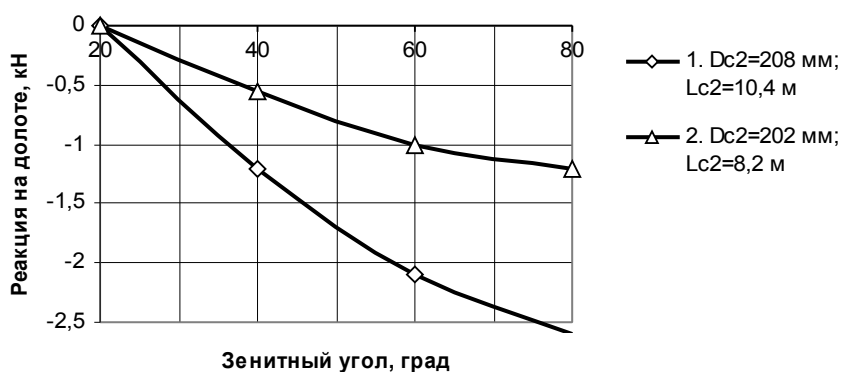


Рисунок 5. К оценке устойчивости компоновок типа А.
Диаметр первого центриатора $D_{c1}=212$ мм;
расстояние между ним и долотом 2 м; зенитный угол 20°

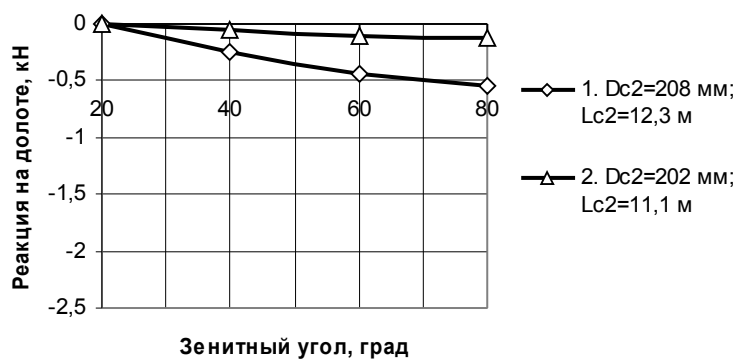


Рисунок 6. Влияние увеличения расстояния между долотом и первым центриатором на устойчивость компоновок. Диаметр первого центриатора $D_{c1}=212$ мм; расстояние между ним и долотом 4 м; зенитный угол 20°

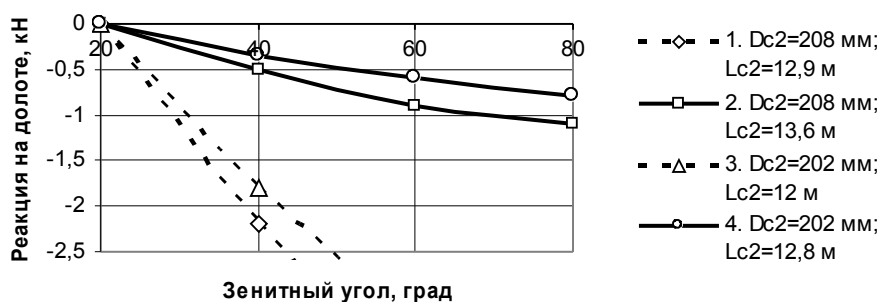


Рисунок 7. Возрастание неустойчивости КНБК при уменьшении диаметра первого центриатора. Диаметр первого центриатора $D_{c1}=208$ мм; расстояние между ним и долотом 2 м (пунктирные линии) и 4 м (сплошные линии); зенитный угол 20° .

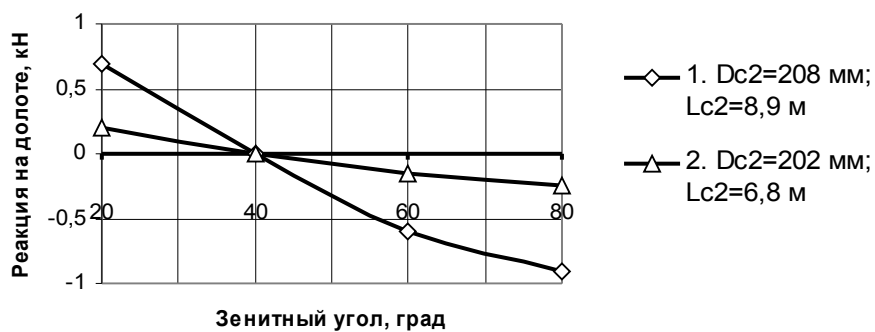


Рисунок 8. Влияние зенитного угла на устойчивость компоновок.
Диаметр первого центратора $D_{c1}=212$ мм; расстояние между долотом и первым центратором – 2 м; зенитный угол 40°

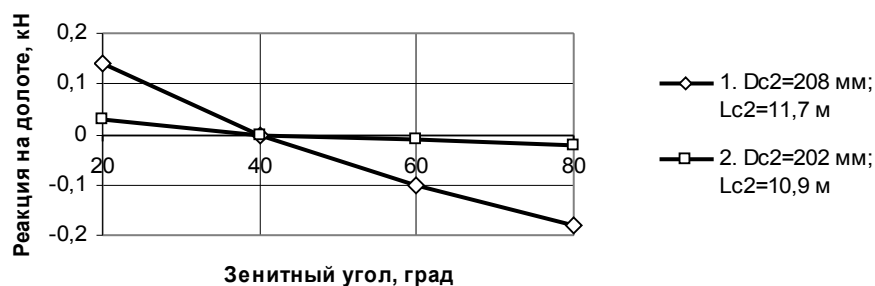


Рисунок 9. Устойчивость компоновки при увеличении зенитного угла и расстояния между долотом и первым центратором.
Диаметр первого центратора $D_{c1}=212$ мм; расстояние между долотом и первым центратором – 4 м; зенитный угол 40°

Литература

1. Повалихин А.С. Устойчивость стабилизирующих КНБК с оптимальными размерами на проектной траектории. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИОЭНГ, 1995. – № 5. – с. 29 – 33.
2. Оганов А.С., Повалихин А.С., Бадреев З.Ш. Новые решения в проектировании компоновок низа бурительной колонны // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИОЭНГ, 1995. – № 4–5. – с. 11, 12, 16.
3. Гулизаде М.П., Мамедбеков О.К. Разработка забойных компоновок для стабилизации зенитного угла наклонных скважин // Изв. вузов. Сер. Нефть и газ. – Баку, 1985. – № 6. – с. 17 – 22.
4. Янтурин Р.А., Янтурин А.Ш. О проектировании КНБК для безориентированного управления траекторией ствола наклонных и горизонтальных скважин. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИОЭНГ, 2006. – № 9. – с. 5 – 9.
5. Сушон Л.Я., Емельянов П.Е., Муллагалиев Р.Т. Управление искривлением наклонных скважин в Западной Сибири. – М.: Недра, 1998. – 124 с.