

РАСЧЕТЫ КОМПОНОВОК С ВИНТОВЫМ ЗАБОЙНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ И ДВУМЯ ПЕРЕДВИЖНЫМИ ЦЕНТРАТОРАМИ

Гречин Е.Г., Овчинников В.П.

Тюменский государственный нефтегазовый университет (ТюмГНГУ)

Выполнены расчеты компоновок низа бурильной колонны, включающих винтовой забойный двигатель и передвижные центраторы. Проведено исследование их устойчивости к изменению геометрических параметров и зенитного угла. Показана возможность эффективного использования компоновок для стабилизации и малоинтенсивного увеличения зенитного угла.

Табл. 1, ил. 6, список лит. 4.

За последние годы при бурении нефтяных и газовых скважин в Западной Сибири наметилась тенденция возрастания объемов бурения с помощью винтовых забойных двигателей (ВЗД). При создании неориентируемых компоновок низа бурильной колонны (КНБК) на базе ВЗД появляются преимущества, связанные с уменьшением диаметра двигателя со 195 до 172 (новый размер 176) мм и наличием выпускаемых промышленностью передвижных центраторов, диаметр которых составляет 212, 214 и 215,9 мм (долото 215,9 мм). Имеющихся в литературе сведений о работе компоновок такого типа недостаточно.

Общепринятые у нас и за рубежом условия полной стабилизации зенитного угла заключаются в отсутствии реакции на долоте (R_d) и совпадении осей долота и скважины [1 – 3]:

$$R_d = 0, U_{gd} = 0 \quad (1)$$

Размеры КНБК, обеспечивающие выполнение условий (1) называются оптимальными [3] (далее компоновки с такими размерами – оптимальные КНБК). Учитывая принятые условия, нами выполнены расчеты двухцентраторных компоновок с помощью уравнений трех моментов в программе «MathCad», а также методом начальных параметров в «Maple». Установлено, что условия (1) для заданного значения зенитного угла (α) и диаметра первого центратора (D_{c1}) выполняются при определенной величине расстояния между ним и долотом (L_1). Указанным параметрам соответствуют пары оптимальных значений L_2, D_{c2} .

На рис. 1 представлен общий характер зависимостей реакций на долоте (R_d) и центраторах (R_c) [4].



Рисунок 1. Реакции на долоте и центраторах
 $D_{c1} = 214$ мм; $L_1 = 3,38$ м; $\alpha = 40^\circ$

При $\alpha = 40^\circ$ и $D_{c1} = 214$ мм оптимальная величина L_1 составила 3,38 м. Эти значения и были заложены в расчеты реакций. В принятой системе координат росту зенитного угла соответствует отрицательная реакция R_d . Точкам пересечения оси L_2 линиями R_d соответствуют оптимальные сочетания D_{c2} и L_2 , причем наблюдается по два оптимальных значения L_2 . Меньшее из них находится в зоне неустойчивых величин реакций на долоте и центраторах, поэтому в дальнейшем не рассматривается.

В таблице 1 приведены геометрические параметры стабилизирующих компоновок, оптимизированных для различных значений зенитного угла.

При одной секции ВЗД, второй центратор может быть установлен на расположенной выше специальной УБТ. Во всех вариантах оптимальных КНБК первым (ближним к долоту) является выпускаемый промышленностью передвижной центратор диаметром 214 или 212 мм. Второй центратор в расчетах принят как передвижным (212 мм), так и с произвольными диаметрами 200 и 190 мм. С целью более детального изучения за наиболее характерные варианты приняты КНБК с первыми центраторами 214 и 212 мм, оптимизированные для зенитного угла 40° (рис. 2, 3).

Таблица 1

Оптимальные стабилизирующие компоновки с двигателем Д-172

$D_{c1} = 214 \text{ мм}; L_1 = 3,95 \text{ м}; \alpha = 20^\circ$			
$D_{c2}, \text{ мм}$	212	200	190
$L_2, \text{ м}$	12,2	11,0	8,7
$D_{c1} = 214 \text{ мм}; L_1 = 3,38 \text{ м}; \alpha = 40^\circ$			
$L_2, \text{ м}$	10,43	9,4	7,4
$D_{c1} = 214 \text{ мм}; L_1 = 3,12 \text{ м}; \alpha = 60^\circ$			
$L_2, \text{ м}$	9,65	8,7	6,6
$D_{c1} = 212 \text{ мм}; L_1 = 4,72 \text{ м}; \alpha = 20^\circ$			
$L_2, \text{ м}$	14,05	13,3	12,4
$D_{c1} = 212 \text{ мм}; L_1 = 4,05 \text{ м}; \alpha = 40^\circ$			
$L_2, \text{ м}$	12,05	11,4	10,65
$D_{c1} = 212 \text{ мм}; L_1 = 3,75 \text{ м}; \alpha = 60^\circ$			
$L_2, \text{ м}$	11,18	10,55	9,85

При уменьшении диаметра первого центратора с 214 до 212 мм кривые $Rd(L_2)$ как бы передвигаются вверх, что снижает способность компоновки к набору зенитного угла при выходе из расчетного режима. С увеличением диаметра второго центратора для реализации режима полной стабилизации необходимо увеличивать расстояние между центраторами, которые нагружаются более равномерно с уменьшением диаметра D_{c2} . При установке первого передвигного центратора диаметром 212 мм (см. рис. 3) оптимальные расстояния L_2 значительно увеличиваются. В этом случае необходим расчет прогиба компоновки на отсутствие контакта ВЗД со стенкой скважины (здесь не приводится). Наклон линий $Rd(L_2)$ уменьшается, они несколько сближаются между собой, следовательно, отклонения геометрических параметров от расчетных значений будут меньше сказываться на работе компоновки.

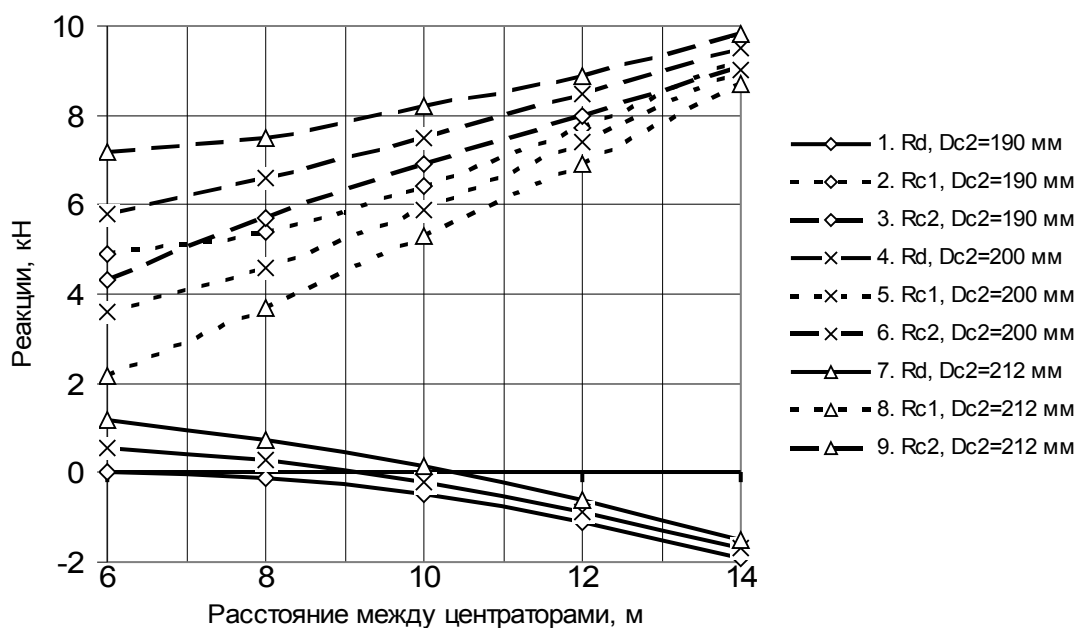


Рисунок 2. Зависимость реакций на долоте и центраторах от геометрических параметров КНБК с передвигным центратором 214 мм
Забойный двигатель Д-172, первый центратор – передвигной диаметром 214 мм, расположенный на оптимальном расстоянии от долота 3,38 м, зенитный угол оптимизации – 40°

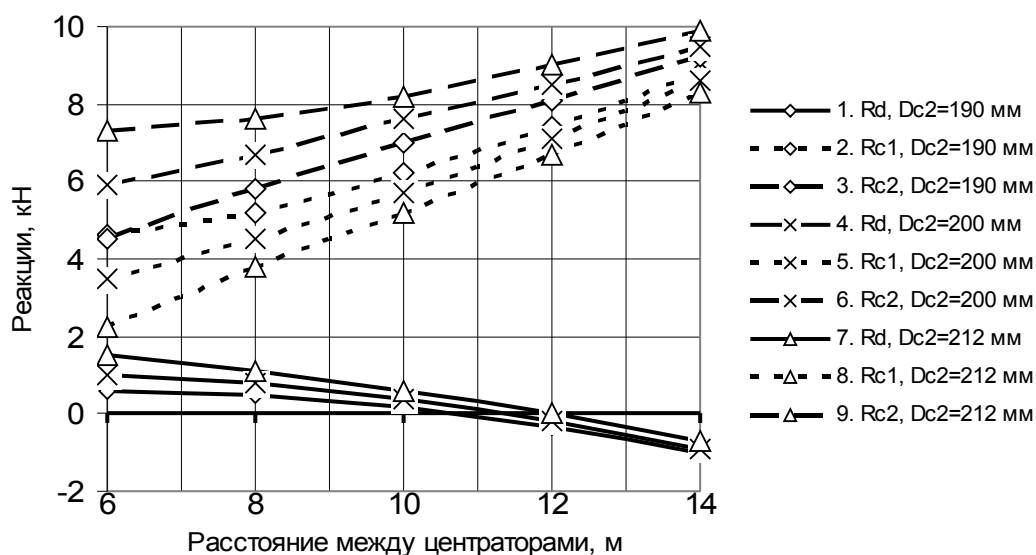


Рисунок 3. Зависимость реакций на долоте и центраторах от геометрических параметров КНБК с передвигным центратором 212 мм
Забойный двигатель Д-172, первый центратор – передвигной диаметром 212 мм, расположенный на оптимальном расстоянии от долота 4,05 м, зенитный угол оптимизации – 40°

Стабилизирующая компоновка должна проверяться на устойчивость. Суть этой характеристики качества КНБК, введенной специалистами ВНИИБТ [3], состоит в следующем. Если компоновка, оптимизированная для определенного значения зенитного угла, стремится его сохранить при любом отклонении α от расчетного значения – она устойчива. Применение неустойчивой КНБК приведет к прогрессирующему отклонению скважины от проектной траектории, а пассивная не отреагирует на изменение зенитного угла. Достаточное представление об устойчивости стабилизирующих оптимальных КНБК с забойным двигателем Д-172 может быть получено исследованием следующих вариантов компоновок (см. табл.1):

- 1) $D_{c1} = 214$ мм; $L_1 = 3,38$ м; $D_{c2} = 212$ мм; $L_2 = 10,43$ м; зенитный угол 40° ;
- 2) $D_{c1} = 214$ мм; $L_1 = 3,38$ м; $D_{c2} = 200$ мм; $L_2 = 9,4$ м; $\alpha = 40^\circ$;
- 3) $D_{c1} = 214$ мм; $L_1 = 3,38$ м; $D_{c2} = 190$ мм; $L_2 = 7,4$ м; $\alpha = 40^\circ$;
- 4) $D_{c1} = 212$ мм; $L_1 = 4,05$ м; $D_{c2} = 212$ мм; $L_2 = 12,05$ м; $\alpha = 40^\circ$;
- 5) $D_{c1} = 212$ мм; $L_1 = 4,05$ м; $D_{c2} = 200$ мм; $L_2 = 11,4$ м; $\alpha = 40^\circ$;
- 6) $D_{c1} = 212$ мм; $L_1 = 4,05$ м; $D_{c2} = 190$ мм; $L_2 = 10,65$ м; $\alpha = 40^\circ$.

Результаты расчетов представлены на рис. 4 (номера вариантов в тексте и легенде к графику совпадают). Все линии $Rd(\alpha)$ пересекаются в точке $\alpha = 40^\circ$ (угол, для которого оптимизированы компоновки). При оценке устойчивости КНБК, можно сказать, что самым сильным фактором является изменение диаметра второго центратора. При $D_{c2} = 212$ мм зависимости $Rd(\alpha)$ имеют вид, характерный для неустойчивых компоновок (отмечены маркерами в виде ромба), при $D_{c2} = 200$ мм КНБК являются пассивными, а, если $D_{c2} = 190$ мм – устойчивыми. Но, даже при $D_{c2} = 212$ мм (оба центратора передвижные) увеличение реакции на долоте, соответствующей росту зенитного угла, составляет всего 50 Н / 10 град. В реальной скважине действуют многочисленные факторы, способствующие снижению зенитного угла. У компоновки с двумя передвижными центраторами они могут быть компенсированы появляющейся реакцией на долоте, и компоновка с большой вероятностью фактически окажется близкой к пассивной.

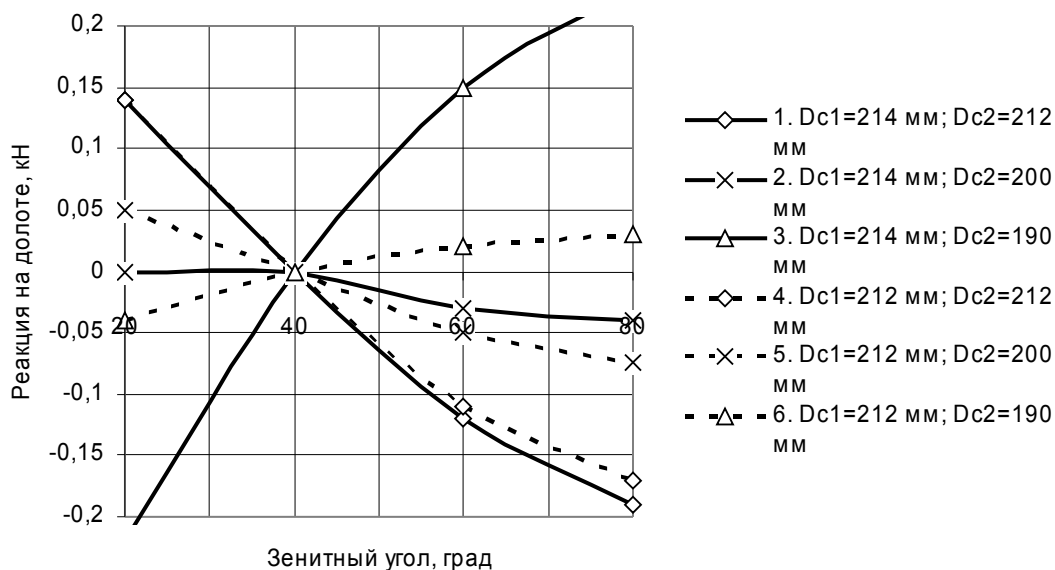


Рисунок 4. К устойчивости стабилизирующих компоновок с забойным двигателем Д-172

За последние годы всё большее применение находят профили скважин, включающие протяженный по длине участок малоинтенсивного увеличения зенитного угла. Представляет интерес изучение возможностей использования в указанных целях ВЗД с передвижными центраторами. Любая по степени устойчивости стабилизирующая КНБК может перейти в режим работы с фрезерованием стенки скважины при отличии истинных геометрических параметров от тех, которые приняты в расчетной схеме (что практически неизбежно). Этот процесс эквивалентен переходу на какую-либо из соседних линий $Rd(L_2)$ (см. рис. 2, 3). В рассматриваемом случае для появления отклоняющей силы на долоте, способствующей росту зенитного угла, нужно уменьшать диаметр второго центратора и увеличивать расстояние между ОЦЭ. Такой путь нежелателен ввиду увеличения прогиба компоновки и реакций на центраторах. Следовательно, необходимо снять условие равенства нулю угла между осями долота и скважины (U_{gd}) путем уменьшения расстояния между долотом и первым центратором. В этом случае величина U_{gd} будет положительной, и наряду с фрезерованием будет иметь место асимметричное разрушение забоя, а кривые $Rd(L_2)$ (см. рис. 2, 3) должны сместиться вниз.

На рис. 5 приведены результаты расчета реакций на долоте и центраторах для компоновок: $D_{c1} = 214$ мм; $L_1 = 2,5$ м (уменьшение L_1 примерно на 1 м по сравнению с оптимальной стабилизирующей КНБК); $D_{c2} = 212, 200, 190$ мм; зенитный угол 40° . Можно видеть подтверждение сказанному: кривые $R_d(L_2)$ сместились вниз, устойчивая отклоняющая сила на долоте появляется при умеренных значениях L_2 . С уменьшением расстояния между центраторами до 6 м возрастает неравномерность нагрузки на ОЦЭ ($R_{c2} - R_{c1}$), причем она минимальна при диаметре второго центратора, равном 212 мм (≈ 1 кН) и максимальна при $D_{c2} = 190$ мм (≈ 6 кН).

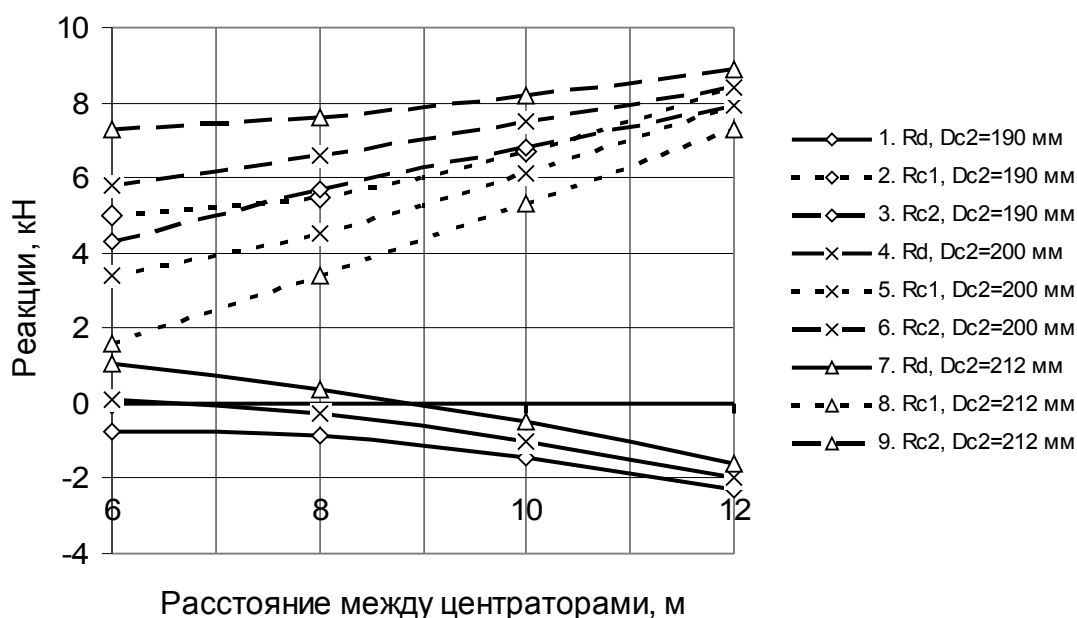


Рисунок 5. Зависимости реакций на долоте и центраторах у КНБК с двигателем Д-172 для увеличения зенитного угла
Диаметр первого центратора 214 мм,
расстояние между ним и долотом 2,5 м; зенитный угол 40°

С удалением второго центратора реакции R_{c1} , R_{c2} возрастают до 7 – 9 кН. Эти закономерности одинаковы при любых значениях зенитного угла и геометрических параметрах компоновок.

Расчетами установлена возможность активного регулирования реакции на долоте путем подбора диаметра и места расположения второго центратора. Чем дальше он расположен от первого центратора и меньше его диаметр, тем

интенсивнее будет происходить набор зенитного угла. То же самое происходит при увеличении диаметра первого центратора и его приближении к долоту.

Руководствуясь результатами расчетов, приведенными выше, легко выбрать варианты КНБК с учетом конкретных условий для их экспериментальной проверки. Выбор достаточно широк, и его необходимо выполнить с учетом исследования на устойчивость. Если сохранять терминологию, принятую для стабилизирующих компоновок [3], неустойчивой компоновкой в данном случае будет та, у которой с ростом величины зенитного угла интенсивность его увеличения возрастает, и, наоборот, уменьшается при значении α меньше расчетного. Чем больше отрицательный угол наклона касательных к линиям $Rd(\alpha)$, тем активнее будет происходить этот процесс (т.е., чем больше зенитный угол, тем быстрее он возрастает). При угле наклона $Rd(\alpha)$, близком к нулю, компоновка является пассивной, она сохранит постоянную интенсивность i_a . Если $Rd(\alpha)$ возрастает (стабилизирующие КНБК в этом случае называются устойчивыми [3]), величина i_a будет снижаться, и в случае пересечения линией $Rd(\alpha)$ оси α набор угла прекратится. Следовательно, лучший вариант компоновки для увеличения зенитного угла с постоянной интенсивностью – КНБК, близкая к пассивной. Если допускается его стабилизация, компоновка может быть устойчивой. Неустойчивые КНБК в рассматриваемом случае могут оказаться эффективными вследствие имеющейся у них возможности компенсации влияния многих факторов, способствующих падению зенитного угла. По результатам исследования на устойчивость такую характеристику имеют КНБК с двумя передвижными центраторами.

Рисунок 6 иллюстрирует процедуру подбора геометрических параметров пассивной компоновки. Выбраны два базовых варианта:

- 1) $Dc_1 = 214$ мм; $L_1 = 2,5$ м; $Dc_2 = 190$ мм (сплошные линии);
- 2) $Dc_1 = 214$ мм; $L_1 = 2$ м; $Dc_2 = 190$ мм (пунктирные линии).

При уменьшении расстояния между центраторами с 8 до 6 м (второй вариант; п. 7, 5 в легенде к графику), компоновка из неустойчивой превращается в пассивную. Подобное действие оказывает и увеличение расстояния между долотом и первым центратором.

Вызывает практический интерес возможность применения КНБК с двумя передвижными центраторами (214 и 212 мм). Как установлено ранее, в этом случае набор угла возможен при значительном расстоянии между центраторами.

Такой тип компоновки может иметь преимущество в отношении стабилизации азимута. Как показывают приведенные выше расчеты, для нее характерно нарастание отклоняющей силы на долоте при увеличении зенитного угла. Влияние факторов, способствующих его падению, будет компенсировано; регулирование темпа прироста i_a возможно путём изменения параметров L_1 , L_2 , что позволит сделать КНБК более пассивной. Отметим, что можно отказаться только от первого из условий (1), тогда возрастание зенитного угла будет происходить с меньшей интенсивностью за счет асимметричного разрушения забоя независимо от фрезерующей способности долота (при равенстве зенитного угла скважины расчетному значению).

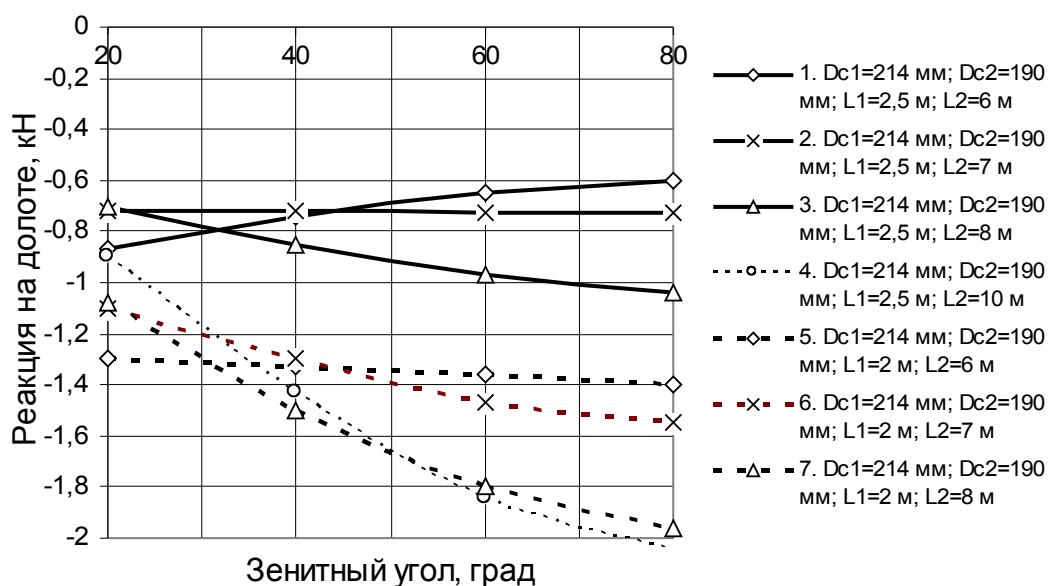


Рисунок 6. Подбор геометрических параметров устойчивой КНБК

Расстояние до первого центратора 2,5 м (сплошные линии)
и 2 м (пунктирные линии); его диаметр 214 мм

Таким образом, руководствуясь результатами проведенных исследований, можно довольно легко выбрать первоначальный вариант КНБК с учетом технологических требований и технических возможностей для проведения промыслового эксперимента, после чего внести необходимые коррективы в конструкцию КНБК для её промышленного внедрения. При таком подходе можно кратчайшим путем подобрать компоновки, наиболее эффективные на данном месторождении. Кроме того, целесообразно значительное расширение диапазона выпускаемых передвижных центраторов в сторону уменьшения их диаметра.

Литература

1. Принцип выбора стабилизирующих компоновок с заданными оптимальными параметрами / Солодкий К.М., Федоров А.Ф., Повалихин А.С., Шагалов В.Л., Калинин А.Г. // Нефтяное хоз-во. – 1984. – № 9. – С. 15–17.

2. 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.

3. Оганов А.С., Повалихин А.С., Бадреев З.Ш. Новые решения в проектировании компоновок низа бурительной колонны // НТЖ. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИОЭНГ, 1995. – № 4–5. – С. 11, 12, 16.

4. Гречин Е.Г., Овчинников В.П., Долгов В.Г. Расчеты неориентируемых компоновок для бурения наклонных и горизонтальных скважин. – Тюмень: Нефтегазовый университет, 2006. – 121 с.