

ГОРНОЕ ДЕЛО

МРНТИ 52.47

Н.Н. Алдамжаров¹

¹Технопарк Zerek, г. Актобе, Казахстан

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АВАРИЙ И ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ РАЗВЕТВЛЕННО-ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СТВОЛОВ СКВАЖИН

Аннотация. Горизонтальные скважины бурятся в пластах с низкими пластовыми давлениями. При вскрытии этих пластов под большим углом наклона вероятность прихвата вследствие воздействия дифференциального давления возрастает. В работе рассмотрены некоторые виды осложнений, сопутствующих бурению с горизонтальными окончаниями, и приводится расчет нагрузки на крюке, возникающей при подъеме из конечной точки ствола скважины. Представлено научное обоснование и предупреждение аварий и осложнений при бурении скважины с разветвленно-горизонтальными окончаниями, обеспечивающих качество и значительное повышение производительности буровых работ. Определены 4 диапазона углов наклона ствола скважины: близкий к вертикальной – 0-10°; малый – 10-30°; средний – 30-60°; большой – 60-90°. При этом наибольшую опасность представляет средний диапазон наклона ствола скважины (30-60°).
Ключевые слова: забой, бурение секции, наклонно-направленные скважины, прихват и нефтегазовая промышленность.

• • •

Түйіндіме. Көлденең ұңғымалар төмен резервуар қысым құралымдарында бұрғыланды. Көлбеу үлкен бұрышын ашу кезінде, дифференциалдық қысым салдарынан жабысуын осы қабаттарға ықтималдығы артады. Кейбір көлденең бұрғылау жалғаулары байланысты асқынулардың түрлері мен есептеулер беріліп отыр ұңғыма діңінің соңғы нүктесін көтеру кезінде тундайтын күшті есептеу. Зерттеудің мақсаты көлденең жалғаулары бар ұңғымаларды бұрғылау авариялар мен асқынулар ғылыми зерттеу және алдын алу сапасы мен айтарлықтай жақсарды өнімділігі бұрғылау қамтамасыз ету, тармақталған болып табылады. – зерттеулер жүргізу терт ұңғыма көлбеу бұрышы ауқымы анықталды: тік жақын – 0 бастап 10°; шағын – 10* тан 30° дейін; орташа – 10 дан 60°; үлкен – 60 дан 90° дейін. – терт көрсет-

ілген диапазондардың көлбеуі үлкен қауіпті орта болып (30-60°) ұңғыма табылад.

Түйінді сөздер: ұңғыма түбі, бұрғылау бөлімі, бағытталған ұңғыма, жабысу және мұнай-газ өнеркәсібі .

• • •

Abstract. Horizontal wells are drilled in formations with low reservoir pressures. When these layers are opened at a high inclination angle, the probability of stuck due to differential pressure increases. Some types of complications associated with drilling with horizontal endings are considered and calculations are given calculation of the load on the hook, which occurs when lifting from the end point of the wellbore. The aim of the study is to provide a scientific justification and prevention of accidents and complications when drilling a well with branched-horizontal endings that provide quality and a significant increase in the productivity of drilling operations. Four types of borehole inclination angles were established during the study: close to vertical, from 0 to 10°; Small – from 10 to 30°; Average – from 30 to 60°; Large – from 60 to 90°. Out of the four indicated borehole inclination ranges, the average danger (30-60°) is the most dangerous.

Key words: rock faces, drilling section, directional wells, oil and gas industry.

Введение

В настоящее время решение проблемы сохранения уровня или замедления темпов падения добычи нефти и газа становится сложной задачей вследствие таких неблагоприятных экономических и геолого-технических факторов, как:

- сокращение объемов геолого-разведочных работ;
- истощение старых месторождений и увеличение доли (до 50 %) трудноизвлекаемых запасов нефти в текущем балансе разведанных запасов;
- уменьшение объемов бурения новых скважин на действующих площадях.

Большое значение приобретают те направления научно-технического прогресса, которые будут способствовать существенному снижению капитальных затрат при освоении месторождений. В первую очередь – это способы разработки нефтяных и газовых месторождений, а также восстановления их продуктивности на поздней стадии эксплуатации с помощью гори-

зонтальных и многозабойных скважин.

Современный этап развития эксплуатационного бурения характеризуется переходом от практики заложения отдельных скважин к системе разработки нефтяных и газовых месторождений скважинами. Оптимизация извлечения нефти и газа должна базироваться на развитии знаний о строении продуктивных пластов и движении флюидов в сочетании с системами горизонтальных и многозабойных скважин. Определение особенностей геологического строения нефтяных и газовых месторождений может осуществляться при совмещении данных, полученных в результате сейсмических работ, геофизических и гидродинамических исследований в процессе строительства скважин, и вероятностного моделирования продуктивного пласта. При этом эффективность систем горизонтальных и многозабойных скважин зависит от последовательного и адекватного применения исходной информации на стадиях проектирования и реализации проектных решений.

С учетом перспективности данного направления в работе проанализирована эффективность строительства многозабойных скважин [1].

Для того чтобы избежать нежелательных последствий искривления скважин, нужно знать причины и закономерности искривления, а также обеспечить проведение скважин в заданном направлении. Знание закономерностей искривления важно и для осуществления искусственного отклонения скважин. Оно дает возможность избежать заложения скважин с наклонными стволами, позволяет пересечь продуктивный горизонт в нескольких точках из одного основного ствола.

Основные принципы проводки наклонно-направленных и горизонтальных скважин послужили основанием для разработки метода многозабойного вскрытия продуктивных пластов, обеспечивающего многократно расширенную зону дренирования и поверхность фильтрации в продуктивном пласте. Этот метод применяется и при забурировании дополнительных стволов для продления срока службы эксплуатационной скважины.

Проведенный анализ работы горизонтальных скважин по-

казывает, что создание многозабойных скважин и, как частный случай – разветвленно-горизонтальная скважина, является одним из путей повышения нефтеотдачи малопродуктивных пластов и залежей в труднодоступных районах шельфа и природоохранных зонах [2].

В настоящее время разработана методика расчета проектных профилей горизонтальных скважин различного типа. К ним относятся профили с прямолинейным горизонтальным участком в продуктивном горизонте, профили с малоинтенсивным набором и снижением зенитного угла в продуктивном горизонте, а также профиль с синусоидальным участком ствола скважины в продуктивном горизонте. Методические основы расчета профилей и проектирование конструкций многозабойных скважин, которые охватывали бы все многообразие горно-геологических и эксплуатационных условий, в настоящее время не разработаны. Одной из важнейших задач является также создание компьютеризированного пространственного модуля и программного обеспечения для проектирования и управления проводкой многозабойных скважин (далее – МЗС).

В процессе бурения возможны все виды аварий и осложнений, отличающиеся только тем, что здесь они имеют свою специфику, связанную с усложненной технологией и профилем. Основными усложняющими факторами бурения являются:

- работа долота под действиями сложноподобных усилий, особенно в интервалах набора кривизны;
- увеличение спускоподъемных операций, вызванных смесью долота, проработкой ствола, измерительными работами и др.;
- интенсивная наработка желобов в криволинейном интервале, оседание шлама выбуренной породы.

Перечисленные факторы в процессе бурения могут привести как к аварии с элементами бурильного инструмента, так и к разного рода осложнениям.

Научная новизна работы заключается в установлении, посредством численных методов решения поставленной задачи на геолого-математических фрагментах месторождения: предуп-

реждение аварий и осложнений при бурении скважины с разветвленно-горизонтальными окончаниями;

Результаты исследований. Рассмотрим некоторые виды осложнений, сопутствующих бурению с горизонтальными окончаниями.

Методы исследования. В работе применен комплекс методов исследования, предусматривающий изучение 4-х диапазонов углов наклона ствола скважины: близкой к вертикальной – от 0 до 10°; малый – от 10 до 30°; средний – от 30 до 60°; большой – от 60 до 90°. Из указанных выше диапазонов наклона ствола скважины наибольшую опасность представляет средний (30-60°).

Устойчивость стенок скважины. В сравнении с аналогичной вертикальной скважиной устойчивость стенок скважины может нарушиться по мере приближения угла наклона к горизонтали. Изменение направления пластового давления относительно ствола скважины повышает вероятность того, что может потребоваться увеличение плотности бурового раствора с целью сохранения устойчивости стенок скважины, сложенных сильно трещиноватыми породами. Турбулентный режим в затрубном пространстве может усугубить проблему сохранения устойчивости стенок скважины. Некоторые породы разрушаются при турбулентном режиме промывки. В результате изменения конфигурации ствола поток раствора приобретает ламинарный характер движения и затрудняется вынос шлама из затрубного пространства, что может привести к возникновению прихвата бурильной колонны.

Прихват бурильных труб, "вызываемый" дифференциальным давлением. Горизонтальные скважины бурятся в пластах с низкими пластовыми давлениями. При вскрытии этих пластов под большим углом наклона вероятность прихватов вследствие воздействия дифференциального давления возрастает. Боковые нагрузки бурильной колонны на наклонно-криволинейном участке ствола выше, с вероятностью увеличения площади поверхности бурильной колонны, контактирующей с пластом и глинистой коркой. Понижение водоотдачи с образованием тонкой гли-

нистой корки позволяет избежать прихвата бурильной колонны. Содержание шлама в буровом растворе должно поддерживаться на минимальном уровне при сохранении оптимального гранулометрического состава раствора. Плотность бурового раствора необходимо тщательно регулировать и поддерживать на минимально допустимом уровне. Введение смазывающей добавки может понизить коэффициент трения между бурильной колонны и фильтрационной коркой скважины, что, в свою очередь, понижает вероятность прихвата [3].

С целью предупреждения осложнений при использовании стандартного бурового оборудования для горизонтального бурения отечественные фирмы выработали специальные правила:

- по возможности расхаживать бурильную колонну (расхаживание и отрыв долота от забоя) для преодоления трения и предупреждения её прихвата [4];

- ограничивать использование забойных двигателей с кривым переводником только для первой операции отклонения ствола и корректировок азимута;

- на горизонтальном и наклонно-прямолинейном интервале использовать жесткую турбинную компоновку, включая безопорное долото РДС, с медленным ее вращением;

- закончить вертикальный интервал по возможности без ошибок управления КНБК и крупных корректировок;

- использовать упрощенную КНБК и сократить по возможности число рейсов для смены долота;

- для бурения интервала 215,9 мм долотом использовать переоборудованную бурильную колонну. УБТ размещаются над долотом до глубины, где угол наклона ствола составляет 40-60°.

Осложнения при бурении разветвленно-горизонтальных и сильно искривленных скважин часто возникают в результате некачественной очистки ствола. В этом случае на первый план выходит способность бурового раствора транспортировать шлам по стволу вверх [5]. В результате проведенных лабораторных исследований и промысловых наблюдений были выработаны некоторые эмпирические правила, предотвращающие скопле-

ние шлама в стволе. При проведении исследований установлены 4 диапазона углов наклона ствола скважины: близкий к вертикальному ($0-10^{\circ}$); малый ($10-30^{\circ}$), средний – ($30-60^{\circ}$); большой – ($60-90^{\circ}$).

Правило 1 (эмпирическое). Из 4-х указанных выше диапазонов наклона ствола скважины наибольшую опасность представляет средний ($30-60^{\circ}$). В этом случае поведение осевшего шлама значительно затрудняет промывку скважины. Скопившийся шлам оползает или лавиной устремляется в направлении, противоположном движению раствора, особенно при углах наклона ствола от 35 до 55° . Такое движение ограничивается вязким торможением на поверхности шлама. Однако после прекращения циркуляции шлам может опуститься, скапливаясь в местах сужения кольцевого пространства, например, вокруг замковых соединений.

Средний диапазон углов наклона ствола скважины представляет собой наиболее опасный интервал набора кривизны при бурении многих сильно искривленных и горизонтальных скважин. При бурении этих интервалов очистка ствола осложняется дополнительными и упомянутыми выше факторами. Регулирование скорости бурения может быть затруднено из-за необходимости поддержания нагрузки на долото, обеспечивающей заданный угол набора кривизны.

Если используется компоновка бурильного инструмента с направляющим двигателем, то проворачивание бурильной колонны, а также короткие СПО и частые проработки пробуренного интервала могут значительно увеличить продолжительность бурения.

Правило 2. Байкоттовское осаждение может ускорить осаждение шлама, особенно в скважинах с углами наклона $40-50^{\circ}$. Это явление открыто А.Е.Байкоттом в 1920 г. Одновременно с оползанием осадка результирующий градиент плотности раствора по поперечному сечению вызывает нарушение равновесия давлений, что приводит к образованию конвекционных потоков жидкости, выталкивающих более легкую жидкость вверх, а частицы шлама вниз, в результате чего ускоряется осаждение шла-

ма. При этом шлам осаждается намного быстрее в динамических условиях. Увеличение скорости циркуляции, вязкости и прочности геля может уменьшить, но не устранить усиленное динамическими условиями осаждение по Байкотту.

Правило 3. Скопление шлама происходит в интервалах с пониженной скоростью восходящего потока. При остановке циркуляции может произойти оползание шлама, если угол наклона ствола меньше 50° . После остановки насоса находящийся в "ловушках" шлам опускается, если угол наклона ствола менее 50° , и скапливается в ближайшем от "ловушки" месте сужения ствола. Подобным же образом шлам скапливается в "мертвых зонах" скорости или завихрениях за замковыми соединениями, или стабилизаторами.

Правило 4. При больших углах наклона ствола скважины толщина осевшего шлама обратно пропорциональна скорости восходящего потока. Если угол наклона ствола скважины превышает 60° , оползание шлама, наблюдаемое при меньших углах наклона, прекращается. Поэтому толщина осевшего шлама в таких случаях зависит прежде всего от скорости восходящего потока и свойств бурового раствора. Для конкретного бурового раствора увеличение скорости восходящего потока приводит к уменьшению толщины осевшего шлама [6].

Расчет нагрузки на крюке при подъеме и нагрузке на долото при бурении в конечной точке ствола скважины

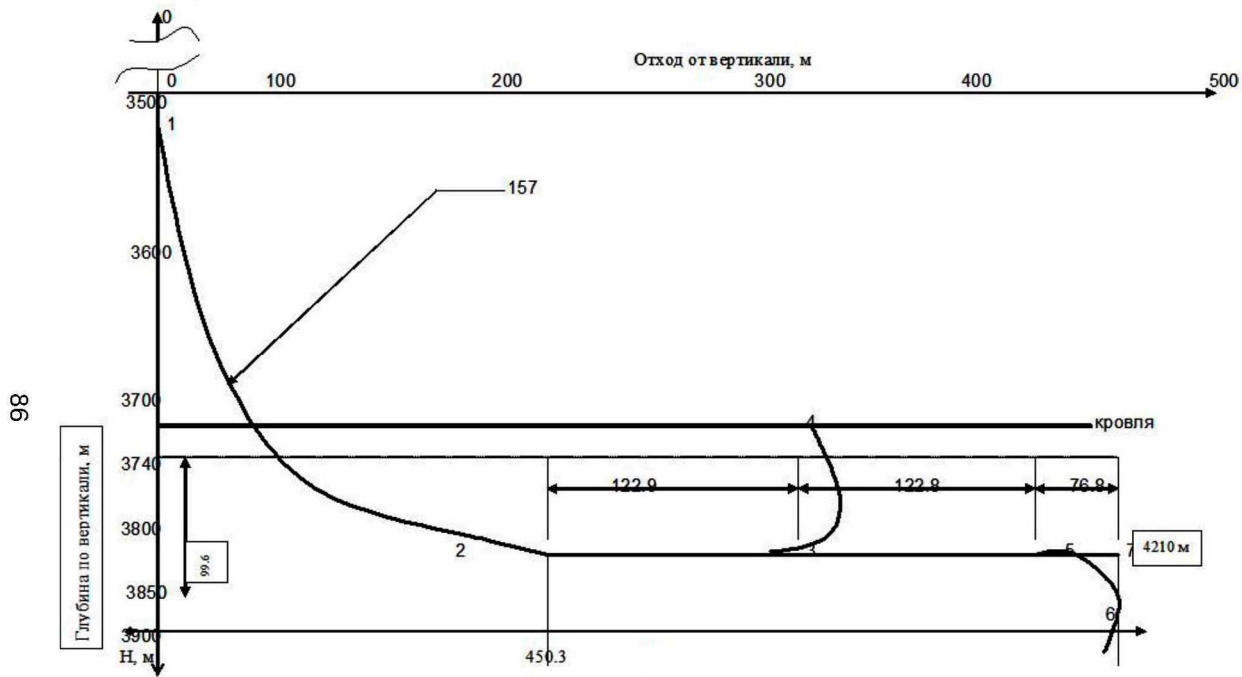
1. Расчет нагрузок производится по методике, изложенной в работе [5].

2. Принимается, что ствол скважины искривлен в одной плоскости.

3. Для бурения в интервале (1-7) (рисунок) применяется бурильный инструмент ТБИ 127мм x 9,19 мм G-105.

4. Расчет нагрузки на крюке, возникающей при подъеме из конечной точки ствола скважины, производится в следующей последовательности:

Усилие, возникающее в точке 2:



Проектный профиль участка набора и горизонтально-разветвленного зенитного угла стабилизации

$$P_{\bar{o}} = P_{\bar{u}} + (W_{\bar{o}в} + P_{\bar{k}})x \cos \frac{\alpha_{\bar{k}} + \alpha_{\bar{n}}}{2} + \mu_{\bar{n}} \left[(W_{\bar{o}в} + P_{\bar{k}})x \frac{\sin(\alpha_{\bar{k}} + \alpha_{\bar{n}})}{2} + P_{\bar{u}}x \sin(\alpha_{\bar{k}} - \alpha_{\bar{n}}) \right], \quad (1)$$

где $P_{\bar{u}}$ – сила, приложенная к КНБК, которая возникает вследствие распора планок упругого центратора, тс;

$P_{\bar{k}}$ – вес КНБК, тс;

$W_{\bar{o}в}$ – вес колонны бурильных труб в растворе, тс;

$\alpha_{\bar{k}}$ – конечный угол участка;

$\alpha_{\bar{n}}$ – начальный угол участка;

$\mu_{\bar{n}}$ – коэффициент трения металла о породу;

$\mu_{\bar{n}} = 0,4$.

$$W_{\bar{o}в} = q_{\bar{m}бu}x \left(1 - \frac{\gamma_{\bar{p}}}{\gamma_{\bar{m}бu}} \right) x l_{\bar{o}в} = 29 \left(1 - \frac{1,12}{7,8} \right) x 263 = 6734,55 \text{ кг} \quad (2)$$

где $q_{\bar{m}бu}$ – вес 1 погонного метра ТБИ;

$q_{\bar{m}бu} = 29,9$ кг;

$\gamma_{\bar{p}}$ – удельный вес раствора;

$\gamma_{\bar{p}} = 1,12$ г/см³;

$\gamma_{\bar{m}бu}$ – удельный вес ТБИ;

$\gamma_{\bar{m}бu} = 7,8$ г/см³;

$l_{\bar{o}в}$ – длина участка.

$$P_{\bar{o}} = 1500 + (6734,55 + 1500) x \cos 72,26 + 0,4 x [(6734,55 + 1500) x \sin 72,26 + 1500 x \sin 0] = 7146,25 \text{ кг.}$$

Усилие, возникающее в точке 1:

$$P_a = P_{\bar{o}} + W_{\bar{a}б}x \cos \frac{\alpha_{\bar{k}} + \alpha_{\bar{n}}}{2} + \left[W_{\bar{a}б}x \sin \frac{\alpha_{\bar{k}} + \alpha_{\bar{n}}}{2} + P_{\bar{o}}x \frac{\sin(\alpha_{\bar{k}} - \alpha_{\bar{n}})}{2} \right] \quad (3)$$

$$W_{a\bar{b}} = q_{m\bar{b}u} x \left(1 - \frac{\gamma_p}{\gamma_{m\bar{b}u}} \right) x I_{a\bar{b}} = 29,9x \left(1 - \frac{1,12}{7,8} \right) x 198 = 5070,12 \text{ кг}$$

$$P_a = 7146,25 + \left(5070,12x \cos \frac{72,26}{2} + 7146,25x \sin 72,26 \right) = 15159,64 \text{ кг}$$

Нагрузка на крюке при подъёме КНБК с глубины 4210 м

$$P_o = P_a + W_{oa} \quad (4)$$

$$W_{oa} = q_{m\bar{b}u} x \left(1 - \frac{\gamma_p}{\gamma_{m\bar{b}u}} \right) x I_{oa} = 29,9x \left(1 - \frac{1,12}{7,8} \right) x 3560 = 91159,7 \text{ кг}$$

$$P_o = 15159,64 + 91159,7 = 106319,37 \text{ кг.}$$

5. Расчет максимальной нагрузки на долото производится в следующей последовательности: определяют конечную нагрузку на вертикальном участке (0-1) при полной разгрузке бурильной колонны:

$$W_{oa} = q_{m\bar{b}u} x \left(1 - \frac{\gamma_p}{\gamma_{m\bar{b}u}} \right) x I_{oa} = 29,9x \left(1 - \frac{1,12}{7,8} \right) x 3560 = 91159,7 \text{ кг}$$

– Нагрузку на участке 2:

$$P_o = P_a + W_{a\bar{b}} x \cos \frac{\alpha_k + \alpha_n}{2} - \mu_n x \left[W_{a\bar{b}} x \sin \left(\frac{\alpha_k - \alpha_n}{2} \right) + P_a x \sin(\alpha_k - \alpha_n) \right]$$

$$P_o = 91159,7 + 5070,12 x \cos 36,13 - 0,4 x (5070,12 x \sin 36,13 + 91159,7 x \sin 72,26) = 59329 \text{ кг.}$$

– Нагрузку, доходящую до проектного забоя скважины в точке 7:

$$P_e = P_o - P_y - (W_{\bar{o}e} + P_k) x \cos \frac{\alpha_k + \alpha_n}{2} - \mu_n x \left[\left(W_{\bar{o}e} x \frac{\sin(\alpha_k - \alpha_n)}{2} \right) + P_o x \sin(\alpha_k - \alpha_n) \right] \quad (5)$$

$$P_b = 59329 - 1500 - (6734,55 + 1500) \times \cos 72,26 - 0,4 (6734,55 \times \sin 72,26 + 0) = 52754,22 \text{ кг (см. таблицу).}$$

Нагрузка на крюке при подъёме и нагрузке при бурении в конечной точке ствола скважины

Наименование участка	Зенитный угол в конце участка, град.	Усилие на крюке, возникающее на участках при подъёме, кг	Нагрузка, доходящая до забоя на участках при бурении, кг
0	0	10639,17	
1	0	15159,64	91159,73
2	72,0	7146,25	59329,00
7	72,0		52754,22

Нагрузка на крюке при подъёме КНБК с глубины 4210 м = 106,3 тс.

Нагрузка, доходящая до проектного забоя скважины = 52,8 тс.

Нагрузка на долото = 20-25 тс.

Практическая ценность проведенных научных исследований заключается в разработке рекомендаций по предупреждению аварий и осложнений при бурении скважины с разветвленно-горизонтальными окончаниями, обеспечивающих качество и значительное повышение производительности буровых работ. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при строительстве нефтяных и газовых скважин со сходными геолого-промысловыми характеристиками.

Выводы

Осложнения при бурении разветвленно-горизонтальных и сильно искривленных скважин часто возникают в результате некачественной очистки ствола. В этом случае на первый план выходит способность бурового раствора транспортировать шлам по стволу вверх. Выработаны некоторые эмпирические правила, предотвращающие скопление шлама в стволе. В результате изменения конфигурации ствола поток раствора приобретает ламинарный характер движения и затрудняется вынос шлама из затрубного пространства, что может привести к возникновению прихвата бурильной колонны. Введение смазывающей до-

бавки может понизить коэффициент трения между бурильной колонны и фильтрационной коркой скважины, что, в свою очередь, понижает вероятность прихвата [7,8].

Список литературы

1 *Оганов А.С.* и др. Многозабойное бурение скважин: развитие, проблемы и успехи. – М.: ВНИИОЭНГ, 2001. – С. 4-31.

2 *Алдамжаров Н.Н.* Проектирование технологии разветвленно-горизонтальных скважин на месторождении Жанажол // Нефтегазовое дело. – 2003. – 189 с.

3 *Низова С.А.* Химические реагенты и промывочные жидкости для наклонно-направленных и горизонтальных скважин. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – УИЦ, 2011. – 59 с.

4 *Крылов В.И., Крецул В.В.* Особенности технологии промывки горизонтальных скважин // Нефтегазовое хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 15-21.

5 *Карден Р.С.* Расчет нагрузок, определяющий максимальную длину скважины с горизонтальным окончанием // Oil and Gas Journal. – 2011. – № 2.

6 *Шаманов С.А.* Бурение и заканчивание горизонтальных скважин. – М.: ООО "Недра – Бизнес-центр", 2012. – 265 с.

7 *Алдамжаров Н.Н.* Құрлықта және теңізде бұрғылаудың жаңа әдістері // Оқу құралы – Алматы, 2013. – 272 бет.

8 *Сыромятников Е.С.* Экономико-экологическая оценка внедрения горизонтальных скважин. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2012. – 99 с.

Алдамжаров Н.А., кандидат технических наук, ассоциированный профессор, член-корреспондент Национальной академии горных наук, e-mail: aldamzharov_n@mail.ru