



# Перспективы применения алюминиевых бурильных труб при бурении горизонтальных скважин большой протяженности



ЖК

**В.С. БАСОВИЧ,**  
к.т.н., генеральный директор  
vbasovich@akvatik

**И.Н. БУЯНОВСКИЙ,**  
к.т.н. ведущий инженер  
ООО «Акватик-Бурильные  
трубы»

**И.В. ПЕТУНКИН,**  
генеральный директор  
ООО «Бурильные трубы»  
PetunkinIV@kumw.ru

*Рассматриваются  
преимущества  
алюминевых  
бурильных труб  
вместо стальных  
при бурении  
горизонтальных  
скважин большой  
протяженности.*

## PROSPECTS ALUMINUM DRILL PIPE APPLICATION WHILE DRILLING HORIZONTAL WELLS GREAT LENGTH

V. BASOVICH, I. BUYANOVSKIY,  
«AKVATIK-BURILNYE TRUBY» LLC  
I. PETUNKIN, «BURILNYE TRUBY» LLC

The advantages of aluminum drill pipes instead of steel when drilling horizontal wells great length are discussed.

Keywords: aluminum alloy, «backing», drill pipe, horizontal well

**Ключевые слова:** алюми-  
невый сплав, «баклинг»,  
бурильные трубы, горизон-  
тальная скважина |

**О**бъемы бурения скважин с протяженным горизонтальным участком с каждым годом увеличиваются как в отечественной, так и зарубежной практике бурения.

В 2015 г. ОАО «НК «Роснефть» в составе Консорциума проекта «Сахалин-1» успешно завершили бурение самой протяженной в мире горизонтальной скважины (ГСБП) 0-14 [1], пробуренной в направлении крайней юго-восточной оконечности месторождения «Чайво» с буровой платформы «Орлан». Скважина имеет длину по стволу, равную 13500 м, и горизонтальный участок ствола – 12033 м.

Как показывает промысловый опыт проводки ГСБП, основными ограничениями при бурении таких скважин являются:

- сложности при доведении осевой нагрузки и вращающего момента до породоразрушающего инструмента в процессе преодоления сил сопротивления перемещению и вращению бурильной колонны (БК) и при потере ее продольной устойчивости;
- проблемы очистки горизонтального ствола от выбуренной породы (шлама);
- прогрессирующий износ замков и тела бурильных труб (БТ);
- проблемы подвода гидравлической энергии к забойному двигателю и обеспечения необходимых параметров промывки скважины (расхода и давления).

Анализ отечественных и зарубежных технологий, а также технических средств, применяемых для проводки ГСБП, позволяет сделать вывод о том, что рациональная компоновка бурильной колонны (БК) и эксплуатационные характеристики бурильных труб являются определяющими факторами, влияющими на эффективность бурения таких скважин.

Применение комбинированных БК с включением легкосплавных бурильных труб (ЛБТ), позволяет при бурении ГСБП не только существенно снизить нагрузки на подъемную часть буровой установки, но и увеличить протяженность горизонтального ствола (ГС) таких скважин [2].

Основные требования к конструкции ЛБТ оговорены в международном стандарте ISO-15546:2007 «Бурильные трубы из алюминиевых сплавов для нефтяной и газовой промышленности», который введен в действие с 2007 г., и ГОСТ 23786-79 «Трубы бурильные из алюминиевых сплавов».

ЛБТ состоит из алюминиевой трубы и привинченных по ее концам элементов

стального замка. Для соединения алюминиевой трубы с замком применена правая малоконусная трапецеидальная резьба типа ТТ с коническим стабилизирующим пояском и упором по торцу. Гарантированные радиальные натяги по резьбе стабилизирующему пояску и упор в торец в этом соединении обеспечиваются за счет применения «температурного» способа сборки замков с трубами по специальной технологии. Конический стабилизирующий поясок в соединении частично разгружает резьбу от знакопеременных изгибающих напряжений и, тем самым, увеличивает усталостную прочность и надежность трубного соединения.

Благодаря такой конструкции достигается повышенная надежность всех сопряжений ЛБТ при знакопеременных нагрузках, что позволяет эффективно выполнять технологические операции с вращением инструмента и проводить аварийные работы по ликвидации прихвата силовыми методами.

Трубные заготовки ЛБТ изготавливаются методом горячего прессования из коррозионно-стойких высокопрочных алюминиевых сплавов Д16Т или 1953Т1. Они имеют утолщенную внутреннюю высадку законцовок, на которых нарезается трубная резьба ТТ. Со стороны муфты у трубы есть удлиненное внутреннее утолщение для возможности безопасной работы в клиновом захвате или спайдере.

В базовом исполнении ЛБТ номинальный наружный диаметр трубных заготовок постоянен. Кроме того, могут быть поставлены

В 2015 г. ОАО «НК «Роснефть» в составе Консорциума проекта «Сахалин-1» успешно завершили бурение самой протяженной в мире горизонтальной скважины 0-14, пробуренной в направлении крайней юго-восточной оконечности месторождения «Чайво» с буровой платформы «Орлан». Скважина имеет длину по стволу, равную 13500 м, и горизонтальный участок ствола – 12033 м.



алюминиевые бурильные трубы следующих модификаций:

- в протекторном исполнении ЛБТ-П, предназначенном для защиты от износа основного тела трубы, повышения продольной устойчивости БК, а также ее лучшего центрирования в стволе скважины;
- со спиральным оребрением наружной поверхности ЛБТ-С – для улучшения очистки ствола от выбуренной породы и повышения продольной устойчивости при бурении ГСБП. Основная часть наружной поверхности трубы выполнена с утолщением за счет наружного спирального оребрения правого направления.

Основные преимущества алюминиевых БТ достигаются благодаря приведенным в табл. 1 специфическим физико-механическим свойствам алюминиевых сплавов Д16Т или 1953Т1.

В процессе бурения ГСБП практически вся БК находится под действием сжимающих усилий, тогда как при проводке вертикальных и наклонных скважин с небольшими зенитными углами, основная часть БК является растянутой.

Наиболее опасным следствием действия сжимающих нагрузок является локальная потеря БК продольной устойчивости, которая проявляется при бурении в режиме «слайдинга», т. е. без вращения бурильного инструмента, в форме плоской синусоиды, переходящей, по мере увеличения сжимающей нагрузки, к виду пространственной спирали – так называемый «баклинг» соответственно I или II рода.

При бурении с вращением БК и действии сочетания нагрузок, сжимающих продольных и центробежных поперечных, те же формы «баклинга» реализуются в виде колеблющейся плоской синусоидальной или пространственной спиральной «змейки», планетарно обкатывающейся вокруг собственной оси и оси скважины

Повышенные силы и моменты сопротивления в ГСБП формируются нагрузкой, прижимающей элементы БК к стенке скважины, и, при отсутствии «баклинга», зависят, в первую очередь, от собственного веса колонны с учетом ее облегчения в буровом растворе. Опасность возникновения «баклинга» выше для невращающейся БК, поскольку при вращении продольные силы сопротивления существенно ниже.

Наличие протекторного утолщения на алюминиевых бурильных трубах, также как и снижение расстояния между замками и протектором, заметно увеличивает продольную устойчивость трубы. Расчеты показывают, что оребрение наружной поверхности алюминиевой трубы способствует увеличению ее продольной устойчивости, за счет повышения жесткости, а сокращение длины усиливает этот эффект. Так как критерием начала «баклинга» является потеря БК продольной устойчивости в форме синусоиды, то в практике бурения обычно должно



Рис. 1. ЛБТ – базовое исполнение.



Рис. 2. ЛБТ-П – исполнение с протекторным утолщением в середине трубы.

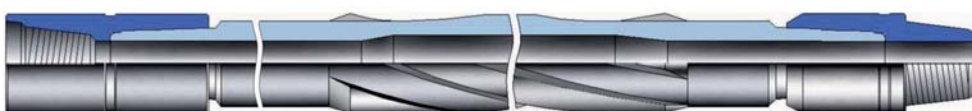


Рис. 3. ЛБТ-С – исполнение со спиральным оребрением наружной поверхности трубы.

Анализ отечественных и зарубежных технологий, а также технических средств, применяемых для проводки горизонтальной скважины, позволяет сделать вывод о том, что рациональная компоновка бурильной колонны и эксплуатационные характеристики бурильных труб являются определяющими факторами, влияющими на эффективность бурения таких скважин.

соблюдаться условие, чтобы допустимая действующая сжимающая нагрузка в различных сечениях БК была меньше критической нагрузки синусоидального «баклинга» при превышении которой сила контакта БК со стенками скважины резко возрастает.

Потеря устойчивости БК в ГС, зависит от жесткости и веса труб в жидкости, а также от обобщенного радиального зазора между БК и стенкой скважины.

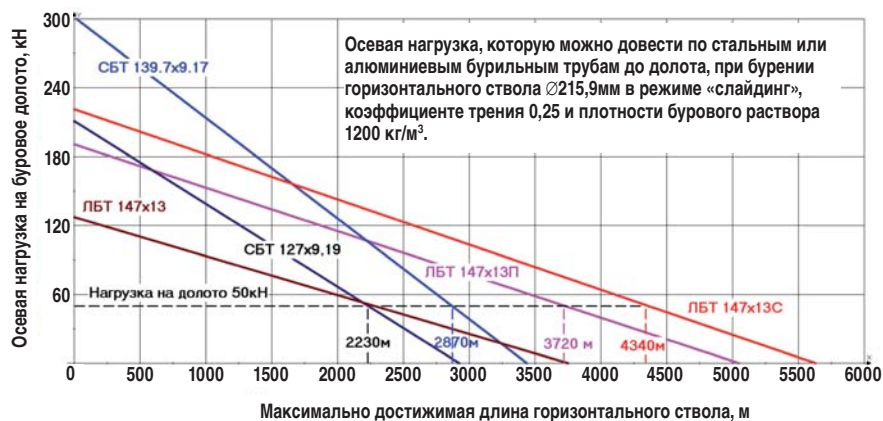
Согласно современным представлениям, БТ на горизонтальном участке могут потерять продольную устойчивость в форме синусоиды при действии критической сжимающей нагрузки  $P_{кр}$ , величину которой оценивается [3, 4] по формуле:

$$P_{кр} = 2K_L \sqrt{\frac{EIw}{\delta}}, \quad (1)$$

где: E – модуль Юнга материала трубы; I – осевой момент инерции по сечению основного тела трубы; w – вес погонного метра трубы в буровом растворе;  $\delta$  – обобщенный радиальный зазор между стенками скважины и БТ;

Табл. 1. Сравнительные физико-механические свойства алюминиевых сплавов и сталей

Материал трубы	Параметры физико-механических свойств материала БТ				
	Плотность	Модуль		Кoeffициент линейного расширения	Предел текучести минимальный.
		Юнга	Сдвига		
Размерность	кг/м <sup>3</sup>	МПа	МПа	1/°C	МПа
Стали для БТ	7850	21,0x10 <sup>4</sup>	7,9x10 <sup>4</sup>	11,4 x10 <sup>-6</sup>	380-1030
Сплав Д16Т	2780	7,1x10 <sup>4</sup>	2,7x10 <sup>4</sup>	22,6 x10 <sup>-6</sup>	325
Сплав 1953Т1	2780	7,1x10 <sup>4</sup>	2,7x10 <sup>4</sup>	22,6 x10 <sup>-6</sup>	480



**Рис. 4** Зависимость максимально достижимой длины ГС от нагрузки на долото Ø215,9мм при бурении скважины в режиме «слайдинг» и плотности бурового раствора 1200 кг/м³ с использованием одноразмерных секций, составленных из ЛБТ или СБТ.

$K_L$  – коэффициент длины трубы, учитывающий расстояние между опорными сечениями БТ.

Теоретические исследования, выполненные компанией ЗАО «Акватик», показали, что для практической оценки возможности возникновения «баклинга» в сжатых БТ значение  $K_L$  в зависимости от рабочей длины трубы и наличия протектора, может изменяться в диапазоне:  $1,0 \leq K_L \leq 1,5$ .

При бурении с вращением буровой колонны и действии сочетания нагрузок, сжимающих продольных и центробежных поперечных, те же формы «баклинга» реализуются в виде колеблющейся плоской синусоидальной или пространственной спиральной «змейки», планетарно обкатывающейся вокруг собственной оси и оси скважины

В табл. 2, в качестве примера, приведены расчетные значения критических сил синусоидального «баклинга» для наиболее применяемых для проводки ГСБП алюминиевых буровых труб типоразмера ЛБТ 147х13 рабочей длиной 12 м, в том числе в протекторном (П) исполнении, а также ЛБТ 147х11С длиной 9,3 м со спиральным оребрением наружной поверхности. Там же для сравнения приведены критические усилия синусоидального «баклинга» для стальных труб (СБТ) близких типоразмеров. Все расчеты выполнены применительно к бурению ГС долотом Ø215,9 мм при плотности бурового раствора, равной 1200 кг/м³.

ЛБТ 147х13, у которых модуль Юнга и погонный вес в растворе ниже, чем у работающих в тех же условиях СБТ близких типоразмеров, могут потерять продольную устойчивость при меньших значениях критических сжимающих нагрузок. Введение протектора повышает на 50% их сопротивление продольному изгибу, а спиральное оребрение еще больше увеличивает эффект, позволяя довести продольную устойчивость этих труб до уровня, несколько превосходящего СБТ 127х9,19.

Однако основной эффект от включения ЛБТ вместо СБТ в компоновку БК при бурении ГСБП заключается в

снижении сопротивлений при перемещении и вращении БК в ГС, что достаточно убедительно проиллюстрировано приведенным ниже примером.

При бурении ГС с осевой нагрузкой на долото  $G_d$  в режиме «слайдинга», т.е. без вращения БК, максимальная протяженность ствола  $L_{max}$ , которая может быть достигнута без потери БТ продольной устойчивости, определяется по формуле:

$$L_{max} \leq (P - G_d) / (f w), \quad (2)$$

где  $f$  – обобщенный коэффициент сопротивления перемещению БК в стволе.

На рис. 4 представлены рассчитанные с помощью формулы (2) зависимости максимальной длины  $L_{max}$  от нагрузки  $G_d$  на долото Ø215,9 мм, которые могут быть достигнуты в режиме «слайдинга» без потери БК продольной устойчивости с использованием БТ, представленных в табл. 2. При расчетах обобщенный коэффициент сопротивления (трения) в открытом стволе принимался равным  $f=0,25$ .

Как следует из графиков на рис. 4, с помощью ЛБТ, как оснащенных протектором, так и имеющих спиральное оребрение наружной поверхности, можно при бурении в режиме «слайдинга» с одной и той же осевой нагрузкой на долото Ø215,9 мм увеличить максимально достижимую по условиям сохранения продольной устойчивости БК максимальную длину ГС.

Из приведенных графиков также видно, что при малых проектных длинах ГС применение СБТ позволяет подводить к долоту более высокие осевые нагрузки. Однако по мере удлинения ГС это преимущество переходит к алюминиевым БТ.

Физическое объяснение полученным соотношениям заключается в том, что у ЛБТ, более легких, чем СБТ близких типоразмеров, по мере углубления скважины медленнее растут потери на сопротивление перемещению, что позволяет сохранить ресурс сжимающего усилия для поддержания необходимой нагрузки на долото.

Проблемы эффективной очистки ГСБП от выбуренной породы инициируются интенсивным накоплением шлама на «лежащей» стенке горизонтальной скважины, что может привести к появлению «желобообразных» выработок и, соответственно, к резкому повышению коэффициента сопротивления (трения) движению и вращению БК, вплоть до ее зависания в стволе и невозможности дальнейшего выполнения бурения или СПО.

Согласно рекомендаций [5], ключевыми факторами эффективной очистки ГСБП являются частота вращения БК, расход и реологические параметры бурового раствора, конфигурация наружной поверхности БТ, а также применение технологии обратной проработки пробуренного ствола, которая предполагает спуск и подъем

Табл. 2. Расчетные критические силы синусоидального «баклинга»

Типоразмер буровой трубы	Материал буровой трубы	Критическое усилие синусоид. «баклинга», кН
ЛБТ 147х13	Алюминиевые сплавы Д16Т или 1953Т1	127,1
ЛБТ 147х13П	Алюминиевые сплавы Д16Т или 1953Т1	190,1
ЛБТ 147х11С	Алюминиевые сплавы Д16Т или 1953Т1	221,5
СБТ 127х9,17	Стали всех групп прочности	210,9
СБТ 139,7х9,19	Стали всех групп прочности	301,5



Проблемы эффективной очистки горизонтальной скважины от выбуренной породы инициируются интенсивным накоплением шлама на «лежащей» стенке горизонтальной скважины, что может привести к появлению «желобообразных» выработок и, соответственно, к резкому повышению коэффициента сопротивления (трения) движению и вращению бурильной колонны, вплоть до ее зависания в стволе и невозможности дальнейшего выполнения бурения или СПО.

вращающейся БК с одновременной циркуляцией бурового раствора.

Можно считать установленным, что оптимальная частота, в наибольшей степени зависит от параметра P-HAR (Pipe-Hole-Area-Ratio), равного отношению площадей сечений ствола скважины и БТ:

$$P-HAR = (Dh/Dp)^2 \quad (3)$$

где: Dh, Dp – соответственно диаметры ствола скважины и БТ.

Оптимальную частоту  $N_{\text{опт}}$  вращения БК при бурении ГС рекомендуется выбирать в зависимости от параметра P-HAR по правилу:

Если  $P-HAR > 6,5$  то  $N_{\text{опт}} = 150-180$  об/мин,

Если  $3,25 < P-HAR < 6,5$  то  $N_{\text{опт}} = 120-150$  об/мин;

Если  $P-HAR < 3,25$  то  $N_{\text{опт}} = 90-120$  об/мин.

Эффективность очистки ствола может быть увеличена и при использовании турбулизаторов потока бурового раствора в эксцентричном кольцевом зазоре ГС, например, в виде БТ со спиральным оребрением наружной поверхности [6] или разработанного компанией «VAM Drilling» так называемого «Hydroclean™» [7].

Принцип действия «Hydroclean™» или наружного оребрения БТ заключается в том, что шлам, поднятый вращающимися вместе с БК лопастями с «лежащей» стенки ГС, попадает в зону движущегося турбулентного потока бурового раствора и выносится на некоторое расстояние, после чего либо подхватывается потоком, созданным следующим турбулизатором, либо оседает на стенку скважины.

Для каждого типоразмера БТ существует минимально необходимый для удовлетворительной очистки ГС расход промывочной жидкости  $Q_{\text{мин}}$ , зависящий от конфигурации затрубного эксцентричного кольцевого пространства, реологических параметров бурового раствора, характеристик плавучести шлама, частоты вращения труб, а также наличия и параметров оребрения наружной поверхности.

Опытная партия ЛБТ 103x1-С, представленная на рис. 5, была изготовлена и испытана в ОАО «Татнефть» при бурении ГС и показала хороший результат по выносу шлама.

Повышенный вынос шлама, в совокупности со стабильным крутящим моментом, подтвердили эффективность применения ЛБТ-103x11С для улучшения очистки ствола от выбуренной породы.

Прогрессирующий износ наружной поверхности опорных элементов БТ (замков, протектора и тела БТ) в процессе бурения ГСБП и СПО носит абразивный характер и



Рис. 5 Опытная партия ЛБТ 103x11С в ОАО «Татнефть».

обусловлен действием прижимающих усилий, приложенных к БК со стороны стенок скважины. Эти усилия в ГС зависят, в первую очередь, от веса БТ в буровом растворе, а также от осевой нагрузки на долото, центробежных сил при вращении БК эксцентрично расположенной в ГС, «баклинга» и других факторов.

Оценка интенсивности износа поверхности опорных элементов БТ, которая, согласно общепринятым представлениям пропорциональна мощности, затрачиваемой на трение, может быть выполнена по формуле:

$$I = K_i T f V, \quad (4)$$

где: I – интенсивность износа поверхности опорного элемента БТ, измеряемая как скорость потери наружного диаметра, объема или массы изнашивающейся детали;

T – нормальное усилие, прижимающее опорный элемент БТ к стенке скважины;

f – обобщенный коэффициент трения на изнашиваемой поверхности;

V – линейная скорость скольжения опорного элемента БТ относительно стенки скважины при поступательном и вращательном движениях БК;

$K_i$  – размерный коэффициент, характеризующий сопротивление материала замка или трубы абразивному изнашиванию.

Пренебрегая центробежными силами и «баклингом», величины T с учетом облегчения БТ в буровом растворе, для СБТ, ЛБТ и ЛБТ-П прижимающие усилия на горизонтальном участке скважины могут быть определены следующим образом:

$T_{\text{СБТ}} = 1/2 q_{\text{СБТ}} L_{\text{ТР}} (1 - \rho_{\text{ж}} / \rho_{\text{СТ}})$  – для СБТ, с 2-мя опорами по замкам;

$T_{\text{ЛБТ}} = 1/2 q_{\text{ЛБТ}} L_{\text{ТР}} (1 - \rho_{\text{ж}} / \rho_{\text{ЭКВ}})$  – для ЛБТ, с 2-мя опорами по замкам; (5)

$T_{\text{ЛБТ-П}} = 1/3 q_{\text{ЛБТ-П}} L_{\text{ТР}} (1 - \rho_{\text{ж}} / \rho_{\text{ЭКВ}})$  – для ЛБТ-П с 2-мя опорами по замкам и одной опорой по протекторному утолщению в середине трубы.

В формулах (5) использованы следующие обозначения:

$q_{\text{СБТ}}, q_{\text{ЛБТ}}$  – вес в воздухе соответственно 1 м СБТ или ЛБТ;

$L_{\text{ТР}}$  – рабочая длина БТ;

$\rho_{\text{СТ}}, \rho_{\text{ЭКВ}}, \rho_{\text{ж}}$  – плотность стали, эквивалентная плотность алюминиевой трубы в сборе со стальным замком и плотность бурового раствора соответственно.

Соотношения (4) и (5) позволяют произвести сравнительную оценку относительной интенсивности износа замков и тела трубы для стальных и алюминиевых БТ, имеющих равную рабочую длину и работающих в одинаковых геолого-технологических условиях бурения прямолинейного горизонтального участка ствола.

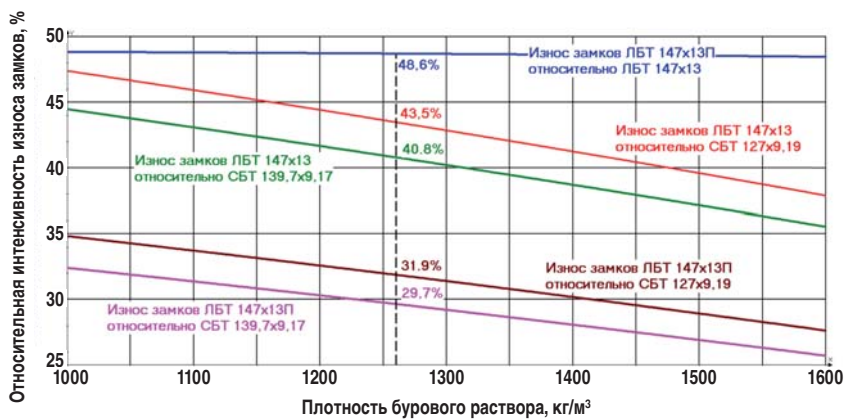


Рис. 6 Зависимость относительной интенсивности износа замков ЛБТ и СБТ от плотности бурового раствора при бурении ГСБП

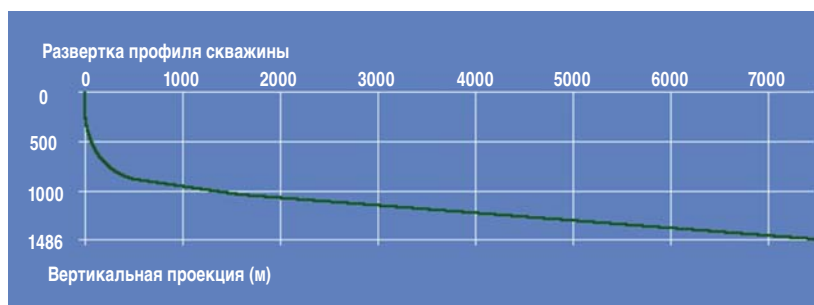


Рис. 7 Расчётный профиль ствола скважины №277 при бурении под ЭК-168,3мм.



Рис. 8 Сравнительная динамика изменения усилия на крюке по глубине при спуске БК на проектную отметку 8117 м по вариантам компоновки А-7000 и S.

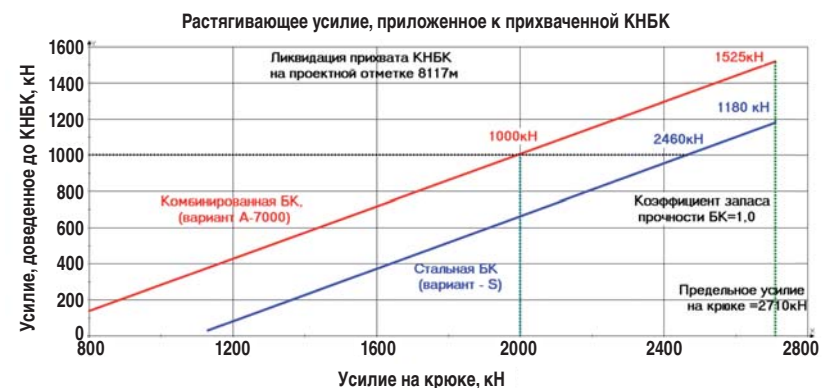


Рис. 9 Сравнение растягивающих усилий, которые могут быть доведены до КНБК, прихватенной на проектной отметке 8117 м, по стальной или комбинированной компоновкам БК.

В качестве примера на рис. 6 приведены рассчитанные по формулам (4) и (5) графики относительной интенсивности износа замков для ЛБТ 147x13(П), СБТ127x9,19 и СБТ 137,9x9,17 в зависимости от плотности бурового раствора при бурении ГСБП. Из анализа графиков на рис. 6 следует:

- наименьшей интенсивностью износа замков обладают оснащенные протектором ЛБТ 147x13П, сильнее других подвержены износу замки СБТ 139,7x9,17, самых тяжёлых из сравниваемых БТ;

- в связи с более высоким облегчением легкосплавных труб по сравнению со стальными, по мере роста плотности бурового раствора, интенсивность износа замков ЛБТ относительно СБТ падает. Например, если при плотности раствора 1000кг/м³ износ замков ЛБТ 147x13П относительно СБТ 139,7x9,17 составляет 34,8%, то в растворе с плотностью 1600 кг/м³ этот параметр снижается до 27,5%.

- износ замков ЛБТ 147x13 относительно ЛБТ 147x13П сохраняется практически неизменным, так как плавучесть алюминиевых БТ слабо зависит от плотности бурового раствора.

Что касается ЛБТ 147x13С, то наличие в этих трубах спирального оребрения, увеличивая опорную поверхность в ГС, способствует еще большей разгрузке замков от прижимающих усилий, снижая тем самым интенсивность их абразивного износа.

Необходимо также отметить, что наиболее уязвимым опорным элементом бурильных труб ЛБТ 147x13П является протектор, поскольку сопротивление алюминиевых сплавов абразивному изнашиванию уступает стали.

Ниже, приведены результаты выполненных с помощью программы 3-DDTBN расчетов по оценке эффективности применения ЛБТ 147x13П из сплава 1953Т1 в составе комбинированной БК в сравнении со стальной компоновкой по проекту компании «Еххон Mobil», составленной из СБТ-5,5"x21.90#(139,7x9,17) из стали группы прочности G-105, при роторном бурении долотом PDC-Ø215,9 мм под эксплуатационную колонну ЭК-168,3мм ГСБП №277 на месторождении Одопту-Море (о. Сахалин).

Исходные данные для выполнения сравнительных расчетов приняты по материалам, предоставленным ООО «РН-Бурение». Расчетный профиль ствола приведен на рис 7, полная длина ствола составляет 8117 м, глубина по вертикали – 1486 м, отход по горизонтали – 7480 м.

При расчетах, коэффициенты трения во взаимодействующих парах принимались равными: 0,20 – в обсаженной части ствола; 0,25 – в открытом стволе.

Основные расчетные параметры режима роторного бурения на проектной отметке 8117 м: частота вращения БК – 120 об/мин; нагрузка на долото – 120 кН; плотность бурового раствора – 1280 кг/м³; расход бурового раствора – 31,8 л/сек.

КНБК для сравниваемых вариантов компоновок БК принималась одинаковой и включала долото, роторную управляемую систему, калибратор, телесистему для визуального и инструментального контроля пространственного положения



ствола, немагнитные бурильные трубы, немагнитные УБТ, буровой гидромеханический Ясс, переводники. Общая длина КНБК была принята равной 102 м, полная масса 95,5 кН.

Компоновка стальной БК (вариант S):

КНБК + СБТ-139,7х9,17 из стали G-105, длиной – 8015 м.

Компоновка комбинированной БК (вариант А-7000):

КНБК+ЛБТ -147х13П алюминиевого из сплава 1953Т1 длиной 7000 м+СБТ-139,7х9,17 из стали G-105 длиной 1015 м.

Компоновка А-7000 составлена из условия возможности максимального облегчения БК с целью достижения существенного снижения ее напряженного состояния и эксплуатационных нагрузок на буровую установку.

В табл. 3 и на рис. 8 и 9 представлены некоторые результаты расчетов основных параметров сравниваемых компоновок БК при бурении ГСБП №277.

На рис.8 представлены диаграммы, иллюстрирующие изменение усилия на крюке при спуске сравниваемых компоновок БК на проектную отметку 8117 м.

На рис.9 приведено сравнение растягивающих усилий, которые могут быть доведены до КНБК, прихваченной на проектной отметке 8117 м по стальной или комбинированной компоновкам БК.

Ключевыми факторами эффективной очистки горизонтальной скважины являются частота вращения БК, расход и реологические параметры бурового раствора, конфигурация наружной поверхности БТ, а также применение технологии обратной проработки пробуренного ствола, которая предполагает спуск и подъем вращающейся БК с одновременной циркуляцией бурового раствора.

Из табл. 3 видно, что включение в состав комбинированной БК секции алюминиевых труб ЛБТ 147х13П\_1953Т1 длиной 7000 м вместо СБТ-139,7х9,17 из стали G-105 при бурении на проектной отметке 8117 м могло бы привести к двукратному снижению общего веса БК в буровом растворе. За счет такого облегчения и соответственного снижения сопротивлений вращению и перемещению бурильного инструмента, в 1,7 раза сократился бы крутящий момент на приводе ротора и нагрузка на крюке при подъеме БК. При этом на 50 – 75% увеличился бы минимальный запас прочности всей БК.

Применение алюминиевых БТ вместо СБТ за счет некоторого увеличения проходного сечения, позволило бы уменьшить давление на стояке на 6,4МПа.

Как следует из рис. 8, и табл. 3, спуск комбинированной БК без вращения возможен до глубины 4742 м, стальной – до 5941 м. Вращение обеспечивает для обеих компоновок беспрепятственный спуск бурильного инструмента до проектной отметки, однако для проворота стальной БК требуется приложить в 2 раза более высокий крутящий момент, чем для комбинированной колонны.

Как видно на рис. 9, при одной и той же нагрузке на крюке по комбинированной БК до прихваченной на проектной отметке КНБК можно довести более высокое растягивающее усилие. Например, при усилии на крюке 2000 кН по комбинированной БК до КНБК доводится

Табл. 3. Сравнительные расчетные параметры напряженно-деформированного состояния БК

Перечень основных расчетных параметров напряженно-деформированного состояния БК	Варианты компоновки БК	
	S-стальная	A-7000, комбинированная
1. Вес БК в воздухе, кН	3065	197,8
2. Вес БК в буровом растворе, тнс	2565	130,9
<b>Роторное бурение долотом на проектной отметке 8117м</b>		
3. Нагрузка на крюке, кН	280	19,8
4. Крутящий момент на приводе вращения, кНм	49,6	28,6
5. Минимальный запас прочности по длине БК	1,94	2,89
6. Гидравлические потери, МПа	26,2	19,8
<b>Подъем БК с проектной отметки</b>		
7. Нагрузка на крюке, кН	1140	65,8
8. Суммарные силы сопротивления, тнс	69,1	30,1
9. Минимальный запас прочности по длине БК	2,41	4,22
10. Максимальное удлинение БК, м	7,865	10,360
<b>Спуск БК до проектной отметки м</b>		
11. Максимально глубина спуска без вращения, м	5941	4742
12. Нагрузка на крюке, кН	21,1	23,0
13. Крутящий момент на приводе вращения БК, кНм	41,7	20,2

1000 кН, а по стальной-630 кН. Это важное технологическое преимущество, обусловленное применением алюминиевых БТ, становится особенно актуальным не только при ликвидации прихвата силовым методом, но и при необходимости выполнения обратных проработок ствола при бурении ГСБП.

### Литература

1. Проект «Сахалин-1» установил новый мировой рекорд по бурению самой длинной скважины. Пресс-релиз НК «Роснефть» от 15.04.2015 г.
2. Файн Г.М., Штамбург В.Ф., Данилянтс С.М. Нефтяные трубы из легких сплавов. М.: Недра, 1990.
3. Wu, J and Juvkam-Wold H.C. Coiled tubing buckling implication in drilling and completing horizontal wells, SPE Drilling and completion. March. 1995.
4. В.С. Басович и др. Проектирование бурильных колонн с применением алюминиевых труб для бурения ГС с большим удалением от вертикали // Технология ТЭК. 2002. №7
5. Extended reach engineering design and implementation course, K&M Technology group, 2011. Houston. USA.
6. В.С. Басович и др. Перспективы применения легкосплавных бурильных труб с наружным спиральным оребрением для бурения горизонтальных скважин и боковых стволов // Бурение и нефть. 2014. №5.
7. Hydroclean, Каталог компании «VAM Drilling», [Электронный ресурс] URL: <http://www.vamdrilling.com>.

### Literature

1. The «Sakhalin-1» project has set a new world record for drilling the longest well. Press release NK Rosneft dd. 15.04.2015.
2. Fain G.M., Stambyrg V.F., Danilyants S.M. Oil pipes from light alloy. M.: Nedra, 1990.
3. Wu, J and Juvkam-Wold H.C Coiled tubing buckling implication in drilling and completing horizontal wells, SPE Drilling and completion. March. 1995.
4. V.S. Basovich, etc. Design of drill strings using aluminum pipe for drilling the GW with a large distance from the vertical // TEK Technology. 2002. No.7
5. Extended reach engineering design and implementation course, K&M Technology group, 2011. Houston. USA.
6. V.S. Basovich, etc. Prospects of light alloy drill pipes application with outer helical fins for horizontal wells and sidetracks drilling // Drilling and oil. 2014. No.5.
7. Hydroclean Company's Catalog «VAM Drilling», [Electronic resource] URL: <http://www.vamdrilling.com>.