

## ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ И ЗАДЕЛКИ НЕПОДВИЖНОЙ СТРУНЫ ПРИ СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЯХ И БУРЕНИИ НА РАСХОДОВАНИЕ РЕСУРСА ТАЛЕВОГО КАНАТА ПО ДЛИНЕ В ОСНАСТКЕ ТАЛЕВОЙ СИСТЕМЫ

*В связи с ростом объемов бурения скважин обеспечение рациональной отработки и расходования ресурса талевого каната является важной задачей для повышения надежности и эффективности работы бурового оборудования. Приведены факторы, вызывающие вибрацию талевой системы. Приведены особенности заделки неподвижной струны. Рассчитан срок службы талевого каната в режиме вибрации. Выявлены зоны накопления усталостных факторов при бурении и спуско-подъемных операциях в режиме вибрации. Дан оценочный учет влияния заделки неподвижной струны и вибрации для обеспечения эффективной работы талевого каната.*

Обеспечение рациональной отработки и расходования ресурса талевого каната является важной задачей для повышения надежности и эффективности работы бурового оборудования в связи с ростом объемов бурения нефтяных и газовых скважин.

Колебательный режим работы талевой системы наиболее ярко выражен в процессе бурения, а также в отдельные периоды спуско-подъемных операций (СПО). Динамические нагрузки возникают, как правило, при нагруженной системе – в процессе бурения, а также в период нагружения талевой системы, в период разгона при подъеме нагруженного крюка и в период замедления-торможения системы при спуске. Кроме того, колебательный характер нагрузки имеет место при спуске и подъеме крюка из-за неравномерности навивки каната на барабан, обусловленной особенностями кинематики многослойной навивки.

Как правило, динамические нагрузки имеют относительно большую частоту по сравнению с изменением частоты

основной нагрузки (1–8 Гц) и имеют изменяющуюся в широких пределах амплитуду напряжений.

Следует отметить, что характер динамических колебаний в элементах талевой системы при СПО в принципе отличается от характера колебаний в процессе бурения. В первом случае источником вынужденных колебаний является неравномерность навивки каната на барабан (т.е. неравномерность движения тяговой струны). При этом максимальные размахи динамических усилий имеют место в тяговой и неподвижной струнах, а сами усилия в этих струнах находятся в противофазе. В средних струнах динамическая составляющая усилий минимальна. Во втором случае источником вынужденных колебаний системы является буровое долото с бурильной колонной, и эти колебания проявляют себя в большей степени при роторном бурении. Динамические нагрузки в этот период во всех струнах талевой системы примерно одинаковы и находятся в одной фазе.

Количественная оценка влияния динамических нагрузок на накопление усталостных факторов может быть сделана исходя из кривой усталости проволок каната:

$$\sigma_0^m \cdot N_0 \geq \sum \left( \frac{P_{Ri}}{\sum F_i} \right)^m \cdot N_i, \quad (1)$$

где  $\sigma_0$ ,  $m$ ,  $N_0$  – параметры кривой усталости материала проволоки;  $P_{Ri}$  – размах колебаний в канате от нагрузки  $i$ -го уровня;  $\sum F_i$  – суммарная площадь сечений всех проволок;  $N_i$  – число циклов колебаний нагрузки на  $i$ -м уровне:

$$N_i = t_i \cdot f_i, \quad (2)$$

где  $t_i$  – продолжительность работы при динамических колебаниях  $i$ -го уровня;  $f_i$  – частота колебаний системы на  $i$ -м уровне нагрузок.

Физический процесс нагружения талевого каната в период бурения, сопровождающегося вибрацией бурильной колонны и талевой системы, может быть объяснен с помощью схемы талевой системы, представленной на рисунке 1.

По промышленным данным, в процессе бурения наблюдались случаи, когда вибрационные нагрузки приводили к обрывам талевых канатов вследствие усталостных разрушений в местах огибания последнего (невращающегося) шкива кронблока неподвижным концом каната, т.е. в зоне, которая не проходит через подвижные шкивы талевой системы и не подвергается, казалось бы, циклическим перегибам.

При бурении без вибрации нагрузка на крюке  $Q$  равномерно распределяется по струнам оснастки ( $T$ ). Вибрация системы сопровождается появлением переменной составляющей нагрузки в каждой струне, равной  $\pm\Delta Q$ , которая, в свою очередь, вызывает переменную составляющую удлинения  $\Delta L$ . При этом каждая несущая струна имеет одинаковое упругое удлинение или укорочение. Аналогично удлиняются или укорачиваются за цикл изменения нагрузки  $\pm\Delta T$  тяговая и неподвижная струны соответственно на величину  $\Delta L_T$  и  $\Delta L_H$ . В цикле увеличения нагрузки появляющееся упругое удлинение тяговой и неподвижной струн должно быть распределено равномерно по всем несущим струнам, т.е. часть каната будет перемещаться с периферии (справа и слева) к центру оснастки. В цикле же укорочения тяговой и неподвижной струн (при уменьшении в них нагрузки) идет обратный процесс – под действием упругих сил канат возвращается к этим струнам из центра оснастки. Под действием перемещения и распределения упругих деформаций  $\Delta L_T$  и  $\Delta L_H$  по всем струнам все шкивы

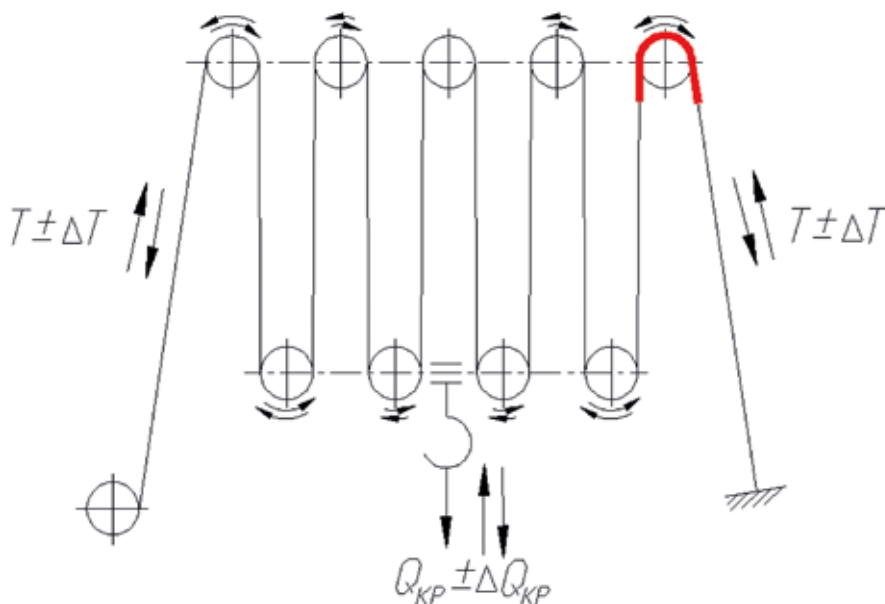


Рис. 1. Схема колебательного процесса талевой системы

талевой системы (кроме центрального на кронблоке или талевом блоке) будут находиться в качающемся состоянии с максимальной амплитудой качания на крайних шкивах кронблока, на остальных же шкивах амплитуда уменьшается по мере приближения к центральному. Каждое качание шкива сопровождается циклом изгиба каната в зоне набегания на шкив и сбегания со шкива. При длительной работе системы с вибрацией без вращения барабана (что возможно при нулевой проходке) будет иметь место накопление усталостных факторов в ограниченных зонах набегания и сбегания всех шкивов (кроме центрального). Однако так как бурение сопровождается определенной проходкой, то талевый канат поступает с барабана в систему,

а возникающие изгибы каната на всех качающихся шкивах (кроме последнего неврещающегося на кронблоке) распределяются по длине каната. В силу фиксированного положения неподвижной струны ее зоны набегания на шкив и сбегания со шкива также будут одни и те же. Поэтому при больших длительно действующих вибрациях в процессе бурения зона набегания неподвижной струны на последний шкив и сбегания с него является локальной зоной накопления усталостных факторов, что приводит к катастрофическому усталостному износу каната, сопровождающемуся в некоторых случаях обрывами каната – авариями. В связи с тем что при СПО динамические колебания в талевом канате обу-

## Взвешивание во взрывоопасных зонах

РОССИЯ (Европейская часть)

Flintec Ru,  
125373, г. Москва, бульвар Яна Райниса 37, оф. 92  
т/ф (495) 949 36 92  
e-mail: flintec@mail.ru  
web: www.flintec.ru

РОССИЯ (Большой Урал, Сибирь, Дальний Восток)

ООО "Весовая Техника"  
454084, г. Челябинск, ул.Болейко 4Б, оф. 1  
т/ф.: (351) 210-218-8, 210-218-9  
т. (351) 727-19-10  
ICQ 426442130  
e-mail: info@flintec.chel.ru  
web: www.flintec.chel.ru,  
web: www.flintec.com

**надежно**

**понятно**

**эффективно**

**безопасно**

**продумано**

**МНОГО ЗАДАЧ ОДНО РЕШЕНИЕ**

**EX**

**Самоцентрирующийся тензодатчик RC3-0ExialCT6/T5 и весовой модуль 5520**

Краткие достоинства:  
-нагрузочная способность 7/15/20/30/40/50/100/150/300 тонн;  
-защита от опрокидывания;  
-защита от вращения;  
-защита от чрезмерных продольно-поперечных перемещений;  
-шунтирующий кабель в комплекте.

Таблица 1. Показатели испытаний на усталость талевых канатов при изгибах на шкивах

Диаметр каната $d_k$ , мм	Временное сопротивление разрыву материала проволоки, $\sigma_{Br}$ , МПа	Растягивающее усилие в канате, $T_b$ , кН	Число циклов двухсторонних изгибов каната до разрушения, $N_b$	Коэффициент пропорциональности, С
25	1666	105,5	$44,8 \cdot 10^3$	$2,64 \cdot 10^3$
28	1666	93,3	$69,2 \cdot 10^3$	$4,65 \cdot 10^3$
32	1666	122,3	$51,2 \cdot 10^3$	$8,14 \cdot 10^3$

словлены неравномерностью движения тяговой струны, порождаемой кинематикой многослойной навивки каната, и в процессе СПО все струны талевой системы (кроме неподвижной) находятся в движении, зоны накопления усталостных факторов будут только на участках набегания и сбегания неподвижной струны на последнем шкиве кронблока, находящегося в качательном движении.

Динамический характер изменения нагрузки в талевой системе обуславливает особенности колебательного процесса в неподвижной струне. В некоторых случаях отраженные от механизма крепления продольные волны накладываются на возмущающие волны, идущие со стороны шкива, что приводит к возникновению больших результирующих растягивающих динамических нагрузок и, как результат, к возможности локального усталостного разрушения каната на неподвижной струне.

Снижение динамических нагрузок в талевой системе при СПО достигается применением двигателей в приводе буровой установки с гибкой характеристикой и в первую очередь – двигателей постоянного тока, а также улучшением условий навивки каната на барабан.

Снижение вибраций талевой системы при бурении можно достичь переходом с роторного бурения на бурение с помощью забойных двигателей, применением наддолотных амортизаторов, применением каната с пластиковым слоем, применением футерованных пластиком шкивов и пр.

**Пример.** Определить срок службы талевых каната, работающего в режиме вибрации при бурении. Исходные данные:

- глубина скважины:  $L=3000$  м;
- погонный вес бурильной колонны:  $q=0,36$  кН/м;
- диаметр талевых канатов:  $d_k=25$  мм;
- кратность оснастки талевой системы:  $U_{TC}=10$  (оснастка 5х6);
- диаметр шкивов талевой системы по дну желоба:  $D_{ш}=900$  мм;
- частота колебаний бурильной колонны:  $f=2$  Гц;
- вес подвижных частей талевой системы:  $G_{TC}=50$  кН.

Из таблицы 1 (показатели испытаний на усталость талевых канатов) имеем для  $d_k=25$  мм базовое нагружение с базовым усилием  $T_b=105,5$ кН, с базовым числом циклов двухсторонних изгибов  $N_b=44800$ .

Усилие в талевом канате при СПО:

$$T_k = \frac{Q_{БК} + G_{TC}}{U_{TC}} = \frac{0,36 \cdot 3000 + 50}{10} = 113 \text{ кН},$$

где  $Q_{БК}=q \cdot L$  – вес бурильной колонны. Размах колебаний усилий в канате (см. рис. 2):

$$R = 2T_k = 113 \cdot 2 = 226 \text{ кН}.$$

При равенстве  $R=T_b$  срок службы каната в часах:

$$t = \frac{N_b}{f} = \frac{44800}{2 \cdot 3600} = 6,2 \text{ часа}.$$

Так как  $R > T_b$ , то необходимо учесть усилие в степени  $m$  ( $T^m$ ), где  $m=1,65$  – показатель степени кривой усталости каната:

$$k_t = \left(\frac{R}{T_b}\right)^m = \left(\frac{226}{105,5}\right)^{1,65} = 3,5,$$

то есть срок службы каната будет равен:

$$t' = \frac{t}{k_t} = \frac{6,2}{3,5} = 1,8 \text{ часа}.$$

Талевая система характеризуется наличием неподвижной струны, которая вносит особенности в режим нагружения талевых канатов по длине в оснастке. Поскольку канат обладает упругостью (в пределах закона Гука:  $\sigma = \epsilon \cdot E$ ,  $\Delta l = \epsilon \cdot L$ , где  $\sigma$  – напряжение растяжения,  $\epsilon$  – относительное удлинение,  $E$  – модуль упругости,  $\Delta l$  – абсолютное удлинение,  $L$  – длина элемента), то даже последний невращающийся шкив кронблока при возникновении усилия на канат будет подвижен из-за перемещения каната на некоторую величину  $\Delta l$ . Канат в этом месте будет перегибаться и за цикл спуска-подъема талевых блоков совершит в этом месте один изгиб. В свою очередь, и возле других шкивов блоков канат совершит подобное перемещение и совершит один изгиб и будет продолжать движение, что было учтено в методике моделирования каната числами изгиба по длине в оснастке [1], [2].

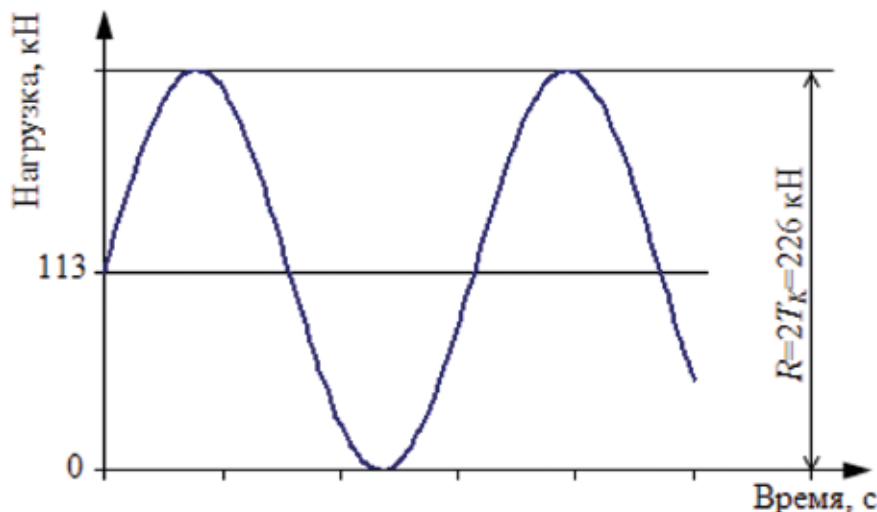


Рис. 2. Схема колебаний

Однако подвижность невращающегося шкива кронблока из-за удлинения каната возле заделки неподвижной струны при растягивающем нагружении исследователями учтена еще не была. Таким образом, даже без учета вибрации при работе талевого каната в талевой системе возле невращающегося шкива кронблока канат будет испытывать один изгиб на шкиве.

На основе изучения факторов, вызывающих вибрацию талевого каната при СПО и бурении, установлено, что учет вибрации и при СПО, и при бурении должен производиться только в зоне невращающегося шкива кронблока. Для оценки влияния заделки неподвижной струны и вибрации при СПО и бурении на расходование ресурса талевого каната по длине в оснастке талевого каната в этой зоне, выделим три случая:

**а)** без учета вибрации (когда вибрация в талевой системе отсутствует и действует только влияние заделки неподвижной струны), это возможно при нетяжелых условиях бурения, с использованием наддолотных амортизаторов, цифровых регуляторов подачи нагрузки на долото, с использованием футерованных или пластиковых шкивов талевого каната, при использовании желобчатых накладок на барабан лебедки с контролируемой равномерной укладкой каната на барабан; при этом влияние заделки в зоне невращающегося шкива кронблока приравнивается к одному циклу изгиба на шкиве за цикл спуска-подъема талевого блока;

**б)** незначительная вибрация (например, при бурении забойным двигателем, при СПО с неконтролируемой укладкой каната на барабан с желобчатыми накладками) и влияние заделки неподвижной струны; при этом влияние нагрузки от вибрации и влияние заделки неподвижной струны в зоне невращающегося шкива кронблока приравнивается к половине от максимального числа изгибов на шкивах;

**в)** значительная вибрация (например, при роторном бурении, при СПО с неконтролируемой укладкой каната на гладкий барабан) и влияние заделки неподвижной струны; при этом влияние нагрузки от вибрации и влияние заделки неподвижной струны в зоне невращающегося шкива кронблока приравнивается к максимальному числу изгибов на шкивах.

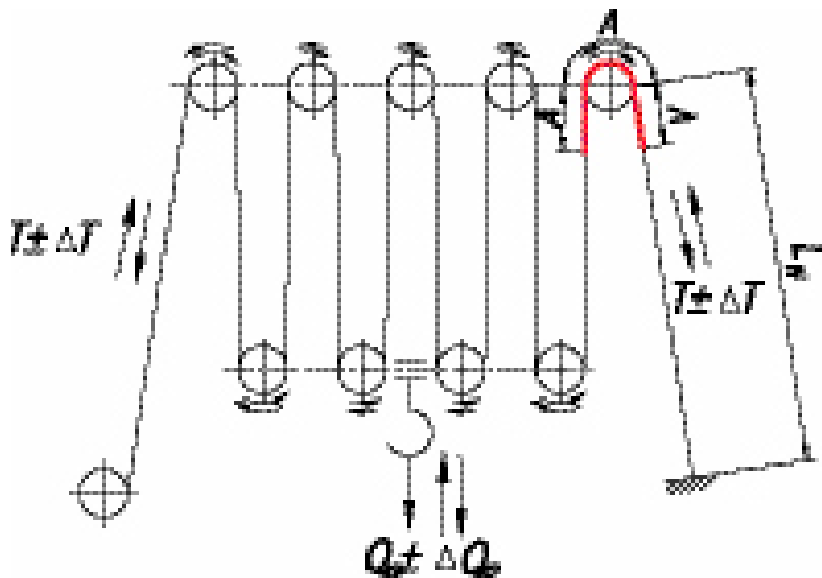


Рис. 3. Зона влияния вибрации и заделки неподвижной струны при отсутствии отводного шкива возле неподвижной струны

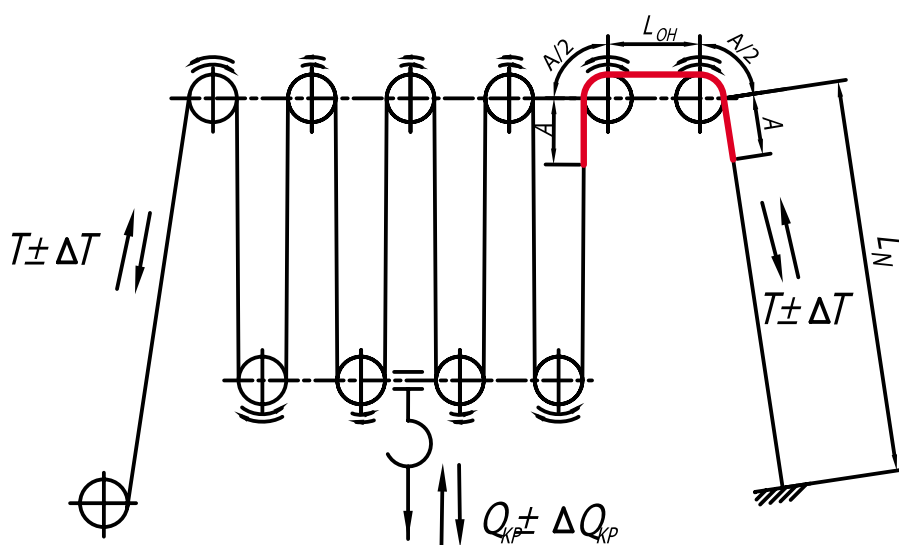


Рис. 4. Зона влияния вибрации и заделки неподвижной струны при наличии отводного шкива возле неподвижной струны

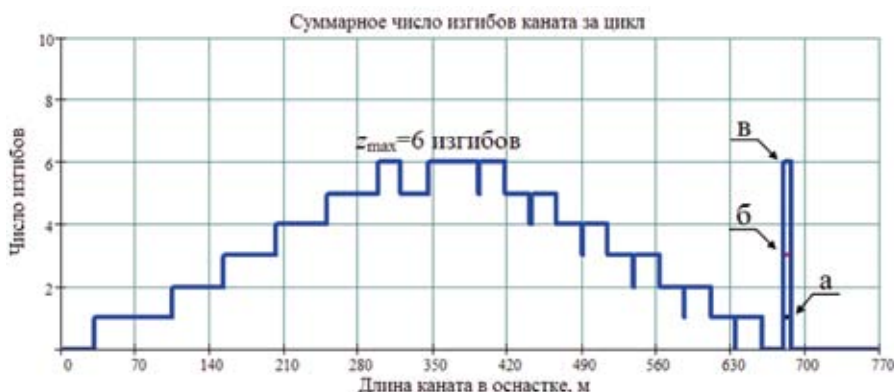
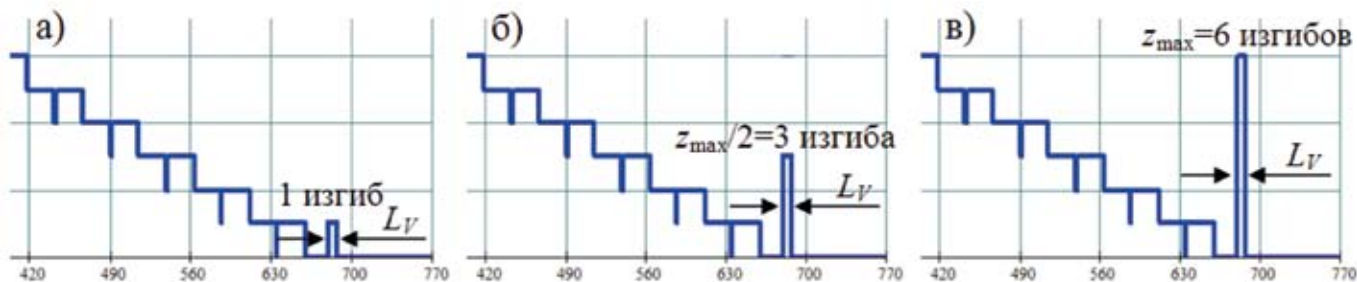


Рис. 5. Загруженность каната в оснастке (без отводных шкивов) а) без учета вибрации, с учетом заделки неподвижной струны; б) с учетом незначительной вибрации и учетом заделки неподвижной струны; в) с учетом значительной вибрации и учетом заделки неподвижной струны

невращающегося шкива кронблока приравнивается к максимальному числу изгибов на шкивах.

Такой выбор оценки влияния заделки неподвижной струны и вибрации обусловлен тем, что не представляется



**Рис. 6. Увеличенное представление зоны неврещающегося шкива кронблока, представленной на рисунке 5 а) без учета вибрации, с учетом заделки неподвижной струны; б) с учетом незначительной вибрации и учетом заделки неподвижной струны; в) с учетом значительной вибрации и учетом заделки неподвижной струны**

возможным точно учесть все факторы (частоту вибрации, возникающие нагрузки и т.п.), влияющие на расходование ресурса талевого каната при СПО и бурении, поэтому сделана такая предварительная оценка, которая при фактическом учете может быть скорректирована исходя из результатов отработки каната в оснастке. Обозначим зону неврещающегося шкива кронблока, соответствующую зоне влияния вибрации  $L_V$ :

$$L_V = L_{V2} - L_{V1}, \quad (3)$$

где  $L_{V1}$  – длина каната в оснастке, с которой началась зона  $L_V$  влияния вибрации и заделки неподвижной струны;  $L_{V2}$  – длина каната в оснастке, на которой закончилась зона влияния вибрации и заделки неподвижной струны. При отсутствии отводного шкива возле неподвижной струны (рис. 3):

$$L_{V1} = L_{OS} - L_N - 2A; \quad (4)$$

$$L_{V2} = L_{OS} - L_N + A, \quad (5)$$

где  $A$  – длина полуокружности огибания каната;  $L_{OS}$  – длина оснастки;  $L_N$  – длина неподвижной струны каната [2]. При наличии отводного шкива возле неподвижной струны (рис. 4):

$$L_{V1} = L_{OS} - L_N - L_{OH} - 2A, \quad (6)$$

где  $L_{OH}$  – расстояние между осями отводного шкива и неподвижного шкива

кронблока, а  $L_{V2}$  рассчитывается по формуле (5).

На рисунке 5 представлен пример загрузки каната в оснастке при отсутствии вибрации, при незначительной вибрации и при значительной вибрации. Максимальное число изгибов  $z_{max}$  в данном примере равно шести. На рисунке 5 показан случай без отводного шкива возле неподвижной струны. При его наличии ширина зоны  $L_V$  будет больше на величину расстояния между осью отводного шкива и осью кронблока  $L_{OH}$ . На рисунке 6 показано увеличенное представление зоны неврещающегося шкива кронблока, представленной на рисунке 5.

## ВЫВОДЫ

**1.** При вибрациях в процессе бурения зона набегания неподвижной струны на последний шкив и сбегания с него является локальной зоной накопления усталостных факторов, что приводит к усталостному износу каната. Срок службы каната в этой зоне при определенных условиях может быть невелик.

**2.** При спуско-подъемных операциях динамические колебания в талевом канате обусловлены неравномерностью движения тяговой струны, вызванной кинематикой многослойной навивки каната на барабан, и все струны талевой системы, кроме неподвижной, находятся в движении. Зона накопления усталостных факторов будет, так же как и при бурении, только на участках набегания и сбегания неподвижной струны

на последнем шкиве кронблока, находящегося в качательном движении.

**3.** Даже без учета вибрации при работе талевого каната в талевой системе возле неврещающегося шкива кронблока канат будет испытывать накопление усталостных факторов из-за разницы длины каната под нагрузкой и без нагрузки.

**4.** Для оценочного учета влияния заделки неподвижной струны и вибрации при СПО и бурении на расходование ресурса талевого каната по длине в оснастке талевой системы в этой зоне автором выделено три случая: а) без учета вибрации, при этом влияние заделки в зоне неврещающегося шкива кронблока приравнивается к одному циклу изгиба на шкиве за цикл спуска-подъема талевого блока; б) незначительная вибрация, при этом влияние нагрузки от вибрации и влияние заделки неподвижной струны в зоне неврещающегося шкива кронблока приравнивается к половине от максимального числа изгибов на шкивах; в) значительная вибрация, при этом влияние нагрузки от вибрации и влияние заделки неподвижной струны в зоне неврещающегося шкива кронблока приравнивается к максимальному числу изгибов на шкивах. Такая оценка является предварительной, и при фактическом учете она может быть скорректирована исходя из результатов отработки каната в оснастке на конкретной талевой системе.

## Литература:

1. Ефимченко С.И., Лысков А.А. Разработка программного обеспечения расчета регламентов рациональной отработки талевых канатов // НТЖ ВНИИОЭНГ. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2009, №3, С. 24–26.
2. Ефимченко С.И., Лысков А.А., Прыгаев А.К. Расчет и конструирование машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов. Часть 2. Расчет, конструирование и эксплуатация талевых систем буровых установок: учебник для вузов. – М.: Недра, 2010, 390 с.

**Ключевые слова:** бурение, талевый канат, талевая система, вибрация, неподвижная струна.



Сибирская Сервисная Компания

*Уважаемые коллеги и партнеры, дорогие наши друзья!*

*От имени Сибирской Сервисной Компании поздравляю вас с Новым 2013 годом!*

*Каждый новый год наших взаимоотношений подтверждает: нам есть чем гордиться, у нас довольно высокий потенциал, чтобы продолжать профессионально и успешно растить уровень отечественного нефтесервиса, выходить на новые горизонты, расширять сферы деятельности! Мы гордимся вами и возможностью работать с вами вместе!*

*Желаем вам, дорогие друзья, чтобы в наступающем году не было места разочарованиям, чтобы слезы были только от счастья, чтобы в ваших домах царила атмосфера тепла, уюта, добра! Чтобы были победы в труде и творчестве!*

*Уверен, что наступающий год еще более укрепит наше сотрудничество, а эффективная совместная работа в который раз подтвердит простую истину: настоящая дружба возможна только тогда, когда есть настоящее, общее, обоюдное ответственное дело.*

*Удачи, благополучия, здоровья, радости вам, вашим родным и друзьям!*

*С уважением,  
Генеральный директор ЗАО «ССК»  
В.С. Шестериков*

