

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТАЛЕВЫХ КАНАТОВ

Г.М. ЧУДАКОВ, М.Г. ИВАНОВ

*Кубанский государственный технологический университет
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2*

В статье рассматривается влияние конструктивных особенностей, качества изготовления и условий эксплуатации на работоспособность талевых канатов нефтегазовых промыслов.

Ключевые слова: талевый канат, надежность, безопасность, долговечность, критерии оценки работоспособности, условие прочности, эксплуатационный ресурс.

Стальной проволочный талевый канат используется в нефтегазовых промыслах в качестве основного расходного элемента спуско-подъемного бурового оборудования. Высокая прочность и надежность, сглаживание динамических нагрузок, сравнительно небольшой собственный вес обеспечивают бесперебойную работу всего бурового комплекса. Необходимый эксплуатационный ресурс талевых канатов достигается [1] тщательной конструктивной проработкой, качественным изготовлением и технологически обоснованными условиями эксплуатации.

Конструктивно талевые канаты отличаются диаметрами, количеством проволок и прядей, шагом, направлением и углом свивки, характером взаимного касания проволок.

Свивкой пучков проволок в пряди и прядей между собой с учетом заданных требований получают талевые канаты, имеющие высокий технический ресурс работоспособности. Для получения высоких показателей прочности, выносливости и гибкости значения углов свивки каната рекомендуют принимать в пределах $10^{\circ} \div 15^{\circ}$. С уменьшением шага свивки возрастает структурная плотность и прочность каната. Шаг свивки проволок в прядях и шаг прядей в канате принимают соответственно 8,5- и 6,5- кратным относительно диаметра каната [2].

Канаты с линейным касанием проволок типа ЛК, имеющих одностороннее направление свивки проволок и прядей, по сравнению с

канатами точечного касания крестовой свивки типа ТК обладают повышенной гибкостью, работоспособностью и долговечностью за счет более меньших контактных напряжений. Однако при эксплуатации с провисанием ветвей и без использования направляющих, а также при резком расслаблении натяжения ветвей эти канаты склонны к раскручиванию. Чтобы повысить износостойкость канатов при работе на изгиб и трение, наружный слой прядей усиливают проволоками большего диаметра. Для получения необходимой гибкости и поперечной жесткости применяют канаты компаундной свивки, типа ТК или ЛК. - с обратным направлением свивки проволок в прядях.

Тип сердечника и его материал влияют на поперечную жесткость и смятие каната под действием осевых и радиальных нагрузок. Канаты с пластмассовыми и металлическими сердечниками имеют более высокую жесткость, а также обладают большой сопротивляемостью поперечному сжатию, благодаря чему лучше сохраняют свою форму при огибании блоков и намотке на барабан лебедки. Эксплуатационный ресурс канатов с пластмассовыми сердечниками на 25÷30% выше однотипных канатов с сердечником из растительных волокон. Канаты с металлическим сердечником рекомендуют для бурения глубоких скважин с большим числом спуско-подъемных операций.

Основным материалом для изготовления проволок стальных канатов является высокоуглеродистые стали, например, марки 60Г с добавками кремния (0,3%) и марганца (до 0,7%). Протяжкой и специальной термообработкой предел прочности проволок каната можно увеличить до 3500 МПа, но при этом снижаются пластичность и однородность по длине проволок. Исследованиями установлено, что максимальная несущая способность при циклическом характере нагрузок талевых канатов в сочетании с надежностью эксплуатации соответствует области допускаемых предельных напряжений материала проволоки 1600÷1800 МПа [3].

Таблица 1. Прочность талевых канатов

Показатели	Диаметры талевых канатов, мм				
	25	28	32	35	38
Площадь сечения всех поволок, мм ²	262	330	410	494	586
Разрывные усилия канатов в кН для предела прочности при растяжении:					
1600 МПа	419	528	656	790	937
1700 МПа	445	561	697	840	996
1800 МПа	472	594	738	889	1055

Уход за талевой системой сводится к смазки талевого каната, блоков и подшипников, а также к проверке крепления кронблока и неподвижного конца каната. Техническим обслуживанием предусматривается применение специальных смазок с антикоррозионными и антифрикционными свойствами таких, как технический вазелин, полиамидные смазки, битум в сочетании с гудроном и др. Благодаря адгезионным свойствам и температурной стойкости, смазка удерживается на канате при огибании блоков и сохраняется при температурах от -50 °С до +50 °С, служит для защиты канатов от износа и коррозии.

В качестве критерия оценки поперечной жесткости и гибкости талевых канатов применяют соответствующие коэффициенты [3]

$$K_r = \frac{d}{\delta}, \quad K_z = \frac{4F_c}{\pi d^2},$$

где K_G , K_3 – коэффициенты гибкости и заполнения; δ , d – диаметры проволоки и каната; F_C – суммарная площадь сечения всех проволок каната.

Основным комплексным критерием оценки работоспособности талевых канатов является надежность, включающая безотказность и долговечность работы. При этом критерий безотказности учитывает работоспособность канатов для эксплуатационной наработки спуско-подъемных операций. Критерий оценки по долговечности учитывает продолжительность сохранения эксплуатационной работоспособности до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания.

Так как талевые канаты испытывают при эксплуатации сложное напряженное состояние под действием растяжения, изгиба, вибрации и кручения, то они должны обладать высокой прочностью и большой гибкостью, противостоять износу. Надежность и долговечность канатов во многом зависит от правильного выбора диаметров блоков и барабана лебедки, кратности талевой системы полиспаста, характера действующих нагрузок, вида внутреннего и внешнего трения проволок, прядей и блоков. Каждый раз при огибании блоков канат подвергается сжатию поперечными силами и взаимному смещению прядей, проволок и сердечника. Это порождает перераспределение усилий и деформаций в элементах каната и вызывает в нем усталостное разрушения проволок от циклических напряжений.

Долговечность талевых канатов зависит от выбора величины диаметров блоков и барабанов. Соотношение диаметров блоков и канатов для бурения применяют равным $D/d \geq 18$. При этом рекомендуется для гибких канатах выбирать соотношение до 25, для более жестких канатов с большим диаметром проволок в пряди – более 25, а для буровых работ с большим объемом спуско-подъемных операций следует использовать блоки диаметром

$$D \geq (32 \div 42)d .$$

В значительной степени долговечность талевых канатов ограничивается усталостной прочностью. В связи с неравномерным распределением числа перегибов по длине каната усталостные напряжения проволок зарождаются на

тех участках, которые подвергаются при спуско-подъемных операциях наибольшему числу перегибов. Местное накопление усталостных напряжений приводит к недоиспользованию длины талевого каната и необоснованному его расходу. Более равномерное распределение усталостных повреждений обеспечивается при своевременном смещении опасных участков каната из зоны наибольших перегибов. Для этого используют талевые канаты нормальной длины с периодическими перепусками в процессе эксплуатации. Практически перепуск осуществляется при появлении трех-четырёх оборванных проволок на шаге свивки каната.

Показателем долговечности талевых канатов при выполнении спускоподъемных операций является их средний технический ресурс, выраженный в тонно-километрах (т км). Сведения об эксплуатации буровой установки, занесенные в журнал учета спускоподъемных операций, обрабатывают и анализируют, а результаты наработок учитывают при списании – средний технический ресурс в пересчете на один погонный метр талевых канатов должен быть не ниже $35 \div 45$ т км. Для расчета долговечности применяют метод сравнительной оценки работы канатов с одинаковыми условиями эксплуатации. Правилами техники безопасности в нефтеперерабатывающей промышленности по долговечности до разрушения каната от усталости условно принято базовое число циклов нагружений при пятикратном запасе прочности.

Отработавшие технический ресурс на буровых установках талевые канаты подлежат списанию в соответствии с предельным качественным состоянием по эксплуатационным показателям грузоподъемности, эффективности эксплуатации и условиям безопасной работы. Согласно требованиям Госгортехнадзора талевые канаты в ряде отмеченных в списке случаев являются непригодными к эксплуатации на буровых установках. Так, например, запрещено работать: - при обрыве одной пряди каната; при числе оборванных проволок более 10% на длине шага свивки для канатов диаметром более 20 мм; при износе каната более 10% от номинального диаметра.

Зависимость упругой деформации талевых канатов от внешних растягивающих нагрузок для прямолинейных участков имеет линейную характеристику. При этом проволоки и пряди, свитые по винтовым спиральям, находятся в сложном напряженном состоянии, испытывают деформации растяжения, изгиба и кручения - элементы каната вытягиваются, дополнительно подкручиваются и уплотняются.

Согласно уравнению равновесия внешняя растягивающая нагрузка каната формирует суммарную равнозначную систему реакции витков проволок в зависимости от индивидуальных условий их взаимного расположения [3]

$$\sum N_j = \sum F_j \sin \alpha_j, \quad \sum Q_j = \sum F_j \cos \alpha_j, \quad \sum M_{jN} = 0,5 \sum N_j d_j, \quad \sum M_{jQ} = 0,5 \sum Q_j d_j,$$

где $\alpha_j, 0,5d_j$ - фактические значения угла свивки рассматриваемого сечения проволоки и его удаление от оси каната; $\sum N_j, \sum Q_j$ - продольная и поперечная составляющие внешней растягивающей нагрузки каната, приходящейся на проволоку в рассматриваемом сечении; $\sum M_{jN}, \sum M_{jQ}$ - соответствующие моменты кручения и изгиба.

При этом каждая проволока испытывает деформацию, вызванную нормальными напряжениями растяжения и изгиба, а также касательными напряжениями сдвига и кручения [3].

$$\sigma_j = \frac{N_j}{f} = \frac{4F_j \sin \alpha}{\pi \delta^2}; \quad \tau_j = \frac{Q_j}{f} = \frac{4F_j \cos \alpha}{\pi \delta^2}.$$

Сопrotивление упругой деформации при растяжении каната ниже, чем материала проволок. Разрушающая нагрузка каната в целом меньше суммарного разрушающего усилия всех его проволок. Потерю прочности талевого каната оценивают коэффициентом

$$\Delta = \frac{P_{\text{ПР}} - P_B}{P_{\text{ПР}}} 100$$

где $P_{\text{ПР}}$ - суммарное разрушающее усилие всех проволок каната или условная прочность каната; $P_{\text{ПР}} = \sigma_B F_C$; σ_B - предел прочности при растяжении проволоки; P_B - разрывное усилие каната в целом, равное действительной прочности каната.

Исследованиями установлено [1], что модуль продольной упругости каната в целом ниже модуля упругости материала проволок ниже на 88÷61%. Эту зависимость представляют через конструктивные параметры в виде

$$E_K = \cos^4 \alpha \cos^4 \beta E,$$

где E_K – модуль упругости каната в целом; E – модуль упругости стали проволоки; α, β – углы наклона свивки проволок и прядей.

Таким образом, уменьшение шага свивки и увеличение числа повторных свивок приводит к потерям прочности талевых канатов.

Согласно требованиям Госгортехнадзора талевые канаты рассчитывают по разрывному усилию с учетом коэффициента статического запаса прочности.

$$P_B = k P$$

где k – коэффициент статического запаса прочности каната, равный $k \geq 2,5$; P_B – разрывное усилие каната в целом; P – максимальное усилие, развиваемое лебедкой на минимальной скорости.

$$P = \frac{N k_n \eta}{V_{min}},$$

где N – номинальная мощность двигателя; η – КПД привода; k_n – коэффициент перегрузки двигателя.

Условие прочности талевого каната для расчетной схемы нагружения имеет вид [2,4].

$$\sigma = \sigma_P + \sigma_{ИЗ} + \tau_{KP} \leq \sigma_B \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{P}{F_C} + E_K \frac{\delta}{D} + 0,15 \cdot \sigma_s \leq \sigma_s,$$

где σ_P – напряжение растяжения, равное отношению растягивающей силы к суммарной площади поперечного сечения всех проволок каната F_C ; $\sigma_{ИЗ}$ – изгибающее напряжение, равное произведению модуля продольной упругости каната E_K и отношения диаметров наружной проволоки каната к диаметру блоков талевой системы; τ_{KP} – потеря прочности каната при свивке составляет 15% от предела прочности σ_B .

Представленное уравнение указывает на влияние различных факторов на прочность и долговечность талевых канатов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ильский А.Л. Расчет и конструирование бурового оборудования и инструмента. - М.: «Гостоптехиздат», 2004. - 636 с.
- 2 Баграмов Р.А. Буровые машины и комплексы. - М.: Недра, 2008. -501 с.
3. Тимофеев С.И. Детали машин. - Ростов н/Д: «Феникс», 2005. - 416 с.
- 4 Чудаков Г.М., Иванов М.Г. Работоспособность талевых канатов.//Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2014.- № 2. - С. 7-10.

REFERENCES

- 1 Ilskiy A.L. Raschet i konstruirovaniye burovogo oborudovaniya i instrumenta. - M.: «Gostoptekhizdat», 2004. - 636 p.
- 2 Bagramov R.A. Burovye mashiny i komplekсы. - M.: Nedra, 2008. -501 p.
3. Timofeev S.I. Detali mashin. - Rostov n/D: «Feniks», 2005. - 416 p.
- 4 Chudakov G.M., Ivanov M.G. Rabotosposobnost taleykh kanatov.//Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more. - M.: ОАО «VNIIOENG», 2014.- № 2. - P. 7-10.

*PERFORMANCE EVALUATION CRITERIA WIRELINE***G.M. CHUDAKOV, M.G. IVANOV**

*Kuban State University of Technology
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072*

This article examines the impact of design features, manufacturing quality and operating conditions on the performance of wireline oil and gas fields.

Keywords: wireline, reliability, safety, durability, performance evaluation criteria, strength condition, operational resource.