

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ КРЕСТОВОЙ И ОДНОСТОРОННЕЙ СВИВКИ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ

Клочков И.А., Степанов М.А.

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, Москва

Ключевые слова: стальной канат, буровая роторная установка, канатный привод, эксплуатационные повреждения бурового каната, надежность канатного привода, долговечность канатного привода.

Аннотация. Статья посвящена изучению особенностей эксплуатации стальных канатов с крестовым и односторонним типом свивки проволок в прядях. Рассмотрены проблемы надежности канатного привода буровой установки роторного бурения. Проведен сравнительный анализ канатов данных конструкций. Выявлены зависимости натяжения каната от силы раздавливания каната на барабане лебедки. Установлены оптимальные типы канатов для определенных условий работы роторных буровых установок. Определена зависимость осевого и радиального усилия каната главного привода буровой установки. Рассмотрены основные причины разрушения бурового каната и способы их устранения. Установлены зоны повышенного износа бурового каната, не зависящие от типа свивки каната. Приведены рекомендации, позволяющие увеличить ресурс каната основного подъема буровой установки роторного бурения в 3 раза.

FEATURES OF EXPLOITATION OF STEEL ROPES WITH STRANDS OF LANG'S LAY AND STRANDS OF REGULAR LAY ON CONSTRUCTION MACHINERY OF ROTARY DRILLING

Klochkov I.A., Stepanov M.A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

Keywords: wire rope, rotary drilling rig, rope drive, operational damages of the drilling rope, reliability of the rope drive, durability of the rope drive.

Abstract. The article is devoted to the study of the features of the exploitation of steel ropes with strands of lang's lay type and strands of regular lay type. The problems of reliability of the rope drive of a rotary drilling rig are considered. A comparative analysis of the ropes of these structures have carried out. The dependences of the rope tension on the crushing force of the rope on the winch drum had revealed. The optimal types of wire ropes for specific exploitation conditions of rotary drilling rigs have established. The dependence of the axial and radial forces of the rope of the main drive of the drilling rig have determined. The main reasons for the damage of the drilling rope and prevention methods them have been considered. Zones of increased wear of the drilling rope, independent of the type of rope twist, have been established. Recommendations are given to increase the life of the rope of the main lifting of the rotary drilling rig by 3 times.

Введение

В настоящее время остается актуальной проблема надежности строительных машин, в частности, их отдельных узлов и механизмов [1, 2]. Канатный привод является одним из самых распространенных типов привода, который применяется в строительстве, уступая первенство только гидравлическому. Канатным приводом оборудован весь спектр грузоподъемной строительной техники, применяемый на строительных и производственных площадках [3]. Правильный выбор каната для грузоподъемных машин может существенно увеличить ресурс каната и лебедки [4, 5]. Сюда же можно отнести и строительные буровые установки роторного типа, канатный привод которых рассмотрен в данной статье.

Канатный привод буровых установок является наиболее нагруженным, в отличие от канатного привода грузоподъемной техники. Это вызвано особенностями работы буровой машины: канатный привод регулярно испытывает знакопеременные нагрузки; работа каната

осуществляется в загрязненной среде с использованием однократной схемы запасовки; с увеличением глубины бурения применяется многослойная навивка каната на барабан. Все вышеперечисленные факторы приводят к ускоренному износу каната буровой машины и его преждевременной браковке.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим подробнее рабочий процесс роторной буровой установки. На (рис. 1) изображена буровая установка роторного типа с рабочим оборудованием «штанга Келли».

При подготовке к процессу бурения гидроцилиндром 1 осуществляется подъем мачты 11 в вертикальное положение. После проведения геодезической разметки скважины, производится позиционирование буровой машины. Далее, обсадная труба 5 стыкуется дрейтеллером 3 и заглубляется с помощью обсадного стола 6 (обсадной стол 6 может получать питание как от гидросистемы буровой машины, так и от автономной гидростанции 7). Буровая штанга Келли 2 связана с лебедкой 8 буровым канатом 9. После монтажа обсадной трубы 6 штанга Келли 2, соединенная с буровой головой/шнеком 4, опускается в забой лебедкой 8 и приводится во вращательное движение с помощью ротора буровой установки 10. После окончания цикла бурения лебедка 8 посредством бурового каната 9 поднимает штангу Келли 2 с заполненной буровой головой/шнеком 4. Затем происходит опорожнение бурового инструмента путем его встряхивания знакопеременным вращением ротора, и повторение бурового цикла.

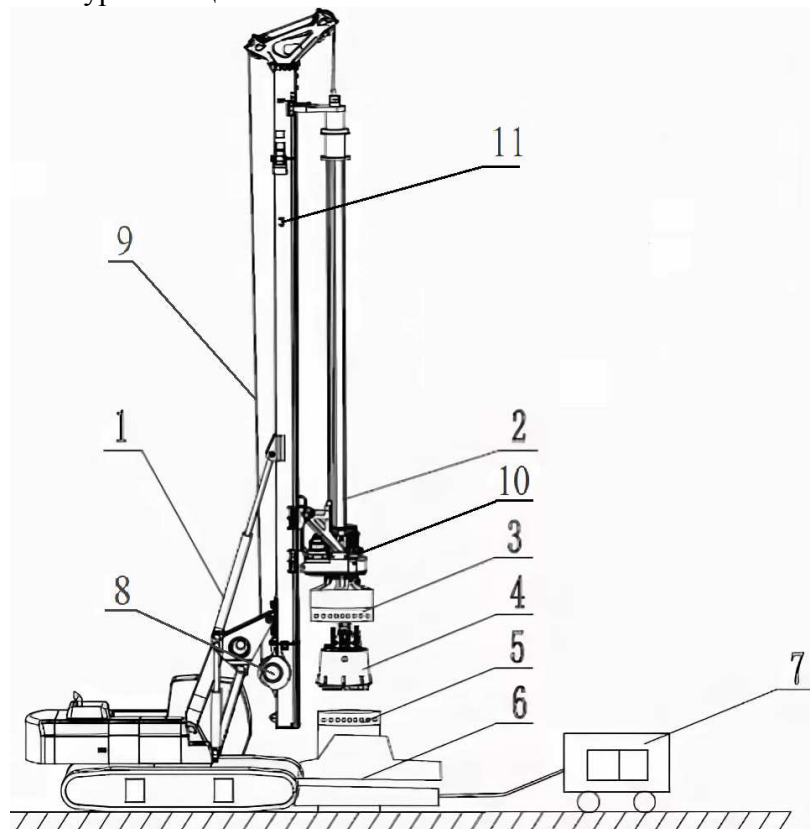


Рис. 1. Конструктивная схема буровой установка роторного типа с рабочим оборудованием «штанга Келли», где 1 – гидроцилиндр подъема/опускания мачты; 2 – буровая штанга Келли; 3 – дрейтеллер; 4 – буровая голова/шнек; 5 – обсадная труба; 6 – обсадной стол; 7 – гидростанция; 8 – лебедка подъема/опускания бурового инструмента; 9 – буровой канат; 10 – ротор, 11 – штанга

Надежность канатного привода складывается из надежности лебедки, ее узлов и компонентов, а также безотказности бурового каната. Как показывает практика, наиболее часто выходит из строя и подлежит замене именно буровой канат. Особенности эксплуатации буровых канатов будут рассмотрены ниже.

В настоящее время производители буровых установок в технической документации на выпускаемые машины не всегда указывают точную конструкцию канатов, ограничиваясь информацией по необходимому диаметру и рекомендованной длине. Это мотивировано желанием производителей техники привлечь пользователей к покупке оригинальных запасных частей по заводским каталогам как в течение гарантийного периода, так и по окончании гарантии, а также воспрепятствовать возможному подбору и приобретению запчастей-аналогов. Неполная информация в паспорте машины действительно затрудняет подбор подходящей конструкции бурового каната. Что касается старой техники, то подбор требуемой конструкции каната может быть осложнен из-за утерянной технической документации на машину. В стремлении избежать простоя техники в момент выхода из строя бурового каната, пользователи буровых машин неосознанно выбирают неверную конструкцию подменного каната, руководствуясь только неполной информацией из паспорта машины и отдавая предпочтение самому дешевому канату из вариантов, доступных к приобретению в кратчайшие сроки.

На буровых роторных установках в качестве каната основного подъёма используется канат многопрядной конструкции с независимым сердечником. Выбор правильной конструкции каната положительно влияет на надежность и долговечность канатного привода в целом. Один из основных параметров конструкции каната – направление и тип свивки. На (рис. 2) изображены отличия конструкций канатов по данному признаку.

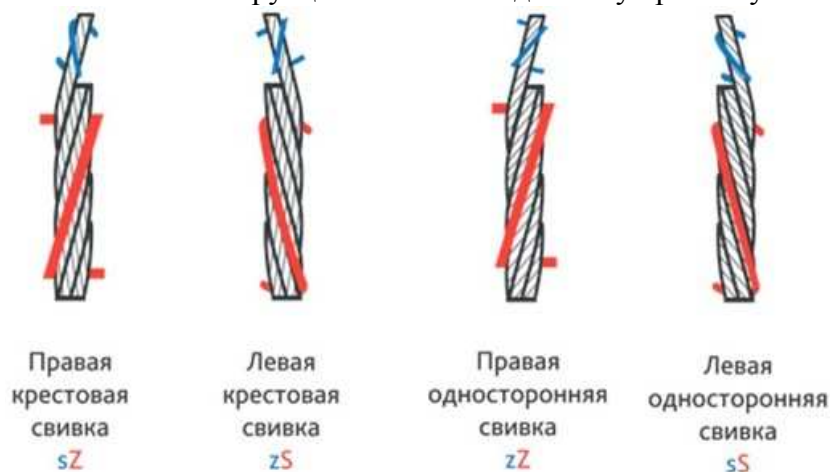


Рис. 2. Отличия конструкций канатов по направлению и типу свивки

В [6-8] изложены рекомендации по подбору направления свивки канатов исходя из конструкции лебедки и способа навивки каната на барабан. Однако определение типа свивки каната не регламентируется нормативными документами, хотя возможная ошибка при выборе данного параметра отрицательно влияет на ресурс стального каната. Для исключения возможных ошибок необходимо провести анализ особенности работы канатов [9, 10]. Ниже приведено сравнение особенностей работы канатов с крестовым и односторонним типом свивки.

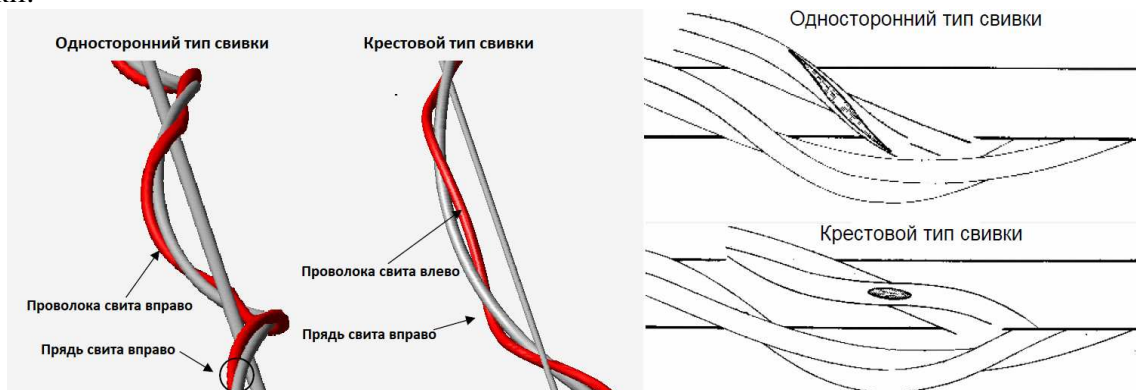


Рис. 3. Зоны перехлеста проволок каната с односторонним и крестовым типом свивки

В канатах с односторонним типом свивки контакт проволок происходит по всей площади соприкосновения (рис. 3), что значительно снижает удельное давление между проволоками в канате. Это приводит к уменьшению контактных напряжений между проволоками, что положительно влияет на усталостную прочность каната в целом. Канаты данной конструкции обладают повышенной гибкостью, выносливостью и подвержены меньшему износу при огибании блоков и барабанов за счет линейного касания проволок. К недостаткам данной конструкции стоит отнести низкую структурную устойчивость при поперечных нагрузках, склонность к раскручиванию.

В канатах с крестовым типом свивки направление проволок в прядях и направление свивки прядей различаются. Контакт проволок внутри такого каната имеет точечный характер, представляющий собой зону перехлеста разнонаправленных проволок (рис. 3). Канаты данной конструкции обладают большей структурной плотностью, лучшей устойчивостью к знакопеременным нагрузкам и меньшей склонностью к раскручиванию, чем канаты с односторонним типом свивки. Канаты данной конструкции обладают в большей степени преформации [11]. Однако из-за малых опорных поверхностей проволок и высокой структурной плотности, канат обладает высокой жесткостью на изгиб и худшей, по сравнению с канатами односторонней свивки, усталостной прочностью.

Результаты

Канат для машин роторного бурения необходимо устанавливать исходя из конструктивных особенностей техники, режима работы, класса нагружения и планируемой глубины бурения. Буровой канат должен быть подобран таким образом, чтобы при рабочем цикле происходило его полное сматывание с барабана за исключением витков безопасности. Установка каната большей длины, чем это требуется для выполнения текущих работ, как правило, приводит к раздавливанию и ускоренному износу нижних слоев каната при многослойной навивке. Это происходит из-за того, что в нерабочей зоне возникает недостаточное натяжение каната на барабане, что понижает его структурную устойчивость. Данный тип повреждения каната изображен на (рис. 4).

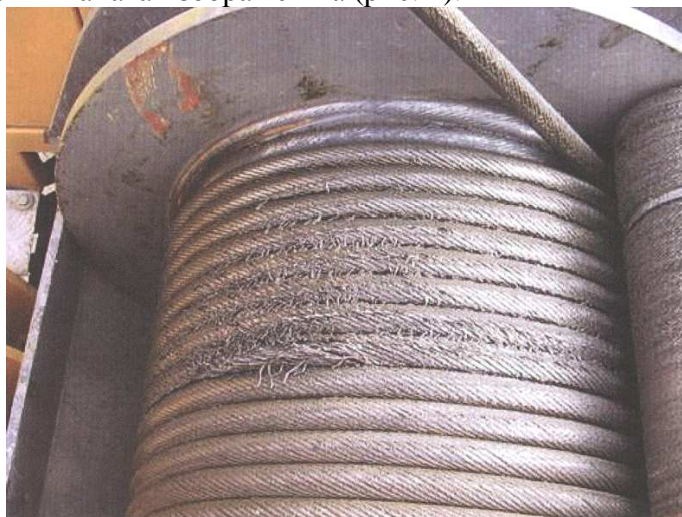


Рис. 4. Раздавливание и износ нижнего слоя каната при многослойной навивке

Как правило, на строительных площадках возникает необходимость в бурении скважин на различную глубину, в то время как пользователи буровых установок не всегда имеют возможность своевременно заменить канат на более короткий. В данном случае, во избежание раздавливания каната на нижнем слое барабана при бурении неглубоких скважин необходимо регулярно производить повторную запасовку, с обеспечением натяжения нижних слоев каната на барабане.

Один из способов предупреждения раздавливания каната на барабане при многослойной навивке – использование каната с крестовым типом свивки, ввиду того, что данный канат обладает высокой структурной устойчивостью.

Буровой канат испытывает повышенный износ при многослойной навивке в области перехода между слоями (в зоне перехлеста). Во избежание выхода из строя каната по данной причине, необходимо производить регулярное смещение поврежденного места на барабане, путем укорачивания каната (рис. 5). Двукратное смещение каната на барабане ($\pi \cdot D/6$, где D – диаметр слоя каната, наматываемого на барабан лебедки) в среднем увеличивает ресурс каната в три раза.

При навивке в стенках барабана лебедки возникают напряжения сжатия, изгиба и кручения. Так как осевой и полярный моменты сопротивления барабана больше, то напряжениями изгиба и кручения, возникающими в стенке барабана можно пренебречь. Под действием сжимающих усилий каната барабан лебедки будем рассматривать как трубу, нагруженную внешним равномерным давлением.

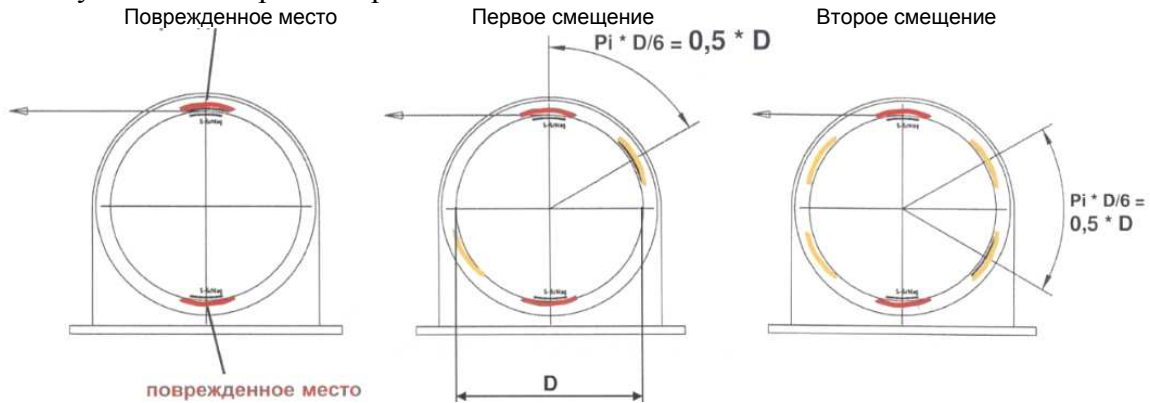


Рис. 5. Раздавливание и износ нижнего слоя каната при многослойной навивке

Виток каната, навитый на лебедку, сжимает барабан, уменьшая его диаметр в зоне, прилегающей к витку. Диаметр барабана при навивке следующего витка еще более уменьшается под стягивающей нагрузкой каната, в результате чего натяжение предыдущего витка каната снижается. Каждый последующий виток изменяет натяжение в ранее навитых витках, поэтому при расчете напряжения в стенке барабана вводят коэффициент a_z , учитывающий уменьшение среднего давления оболочки.

$$\sigma_{сж} = a_z \cdot (P / \delta \cdot t), \quad (1)$$

где P – расчетное натяжение каната; δ – толщина стенки барабана; t – шаг навивки каната на барабан.

Отношение жесткостей каната и оболочки барабана лебедки β_k определяется из отношения:

$$\beta_k = E_k \Sigma f_i d_k / (E \delta d_k t), \quad (2)$$

где E_k – модуль упругости каната; Σf_i – суммарное сечение проволок; d_k – диаметр каната.

Коэффициент a_1 по слоям навивки каната на барабан для первого слоя определяется из отношения:

$$a_1 = 1 / (1 + 0,5\beta_k). \quad (3)$$

При многослойной навивке витки верхних слоев каната аналогично стягивают барабан лебедки с нижележащим слоем каната. Для второго слоя навивки каната на барабан коэффициент a_2 определяется из отношения:

$$a_2 = 1 / (1 + \beta_k (1,5 + 0,5\gamma(1 + 2\beta_k))), \quad (4)$$

где γ – безразмерный коэффициент, который определяется по формуле:

$$\gamma = E_k d_k \delta / (r E_n), \quad (5)$$

где r – радиус оболочки барабана лебедки; E_n – модуль упругости при поперечном сжатии.

Заключение

На машинах роторного бурения, где используется однослойная навивка бурового каната на барабан, износ каната происходит вследствие его перегибов на канатопроводящих шкивах.

Поэтому в данном случае предпочтительнее использовать канат с односторонним типом свивки, так как данный канат более устойчив к поверхностному износу обладает лучшей гибкостью и усталостной прочностью, чем канат крестовой свивки.

Список литературы

1. Степанов М.А., Архангельский Г.Г., Ионов А.А. Надежность узлов лифтов при длительных сроках эксплуатации // Подъемно-транспортное оборудование: ежемесячный, информационно-аналитический журнал. – 2001. – №5. – С. 30-33.
2. Густов Ю.И., Романова Е.С., Степанов М.А. Надежность узлов лифтов при длительных сроках эксплуатации // Показатели надежности транспортной системы конвейерной линии по производству ЖБИ. – 2012. – №12. – С. 30-33.
3. Тащилин Л.Н. Особенности приводов машин и их характеристика // Перспективы науки. – 2018. – №10(109). – С. 16-21.
4. Калентьев Е.А., Тарасов В.В., Новиков В.Н. К вопросу о долговечности стальных канатов // Вестник ИжГТУ имени М.Т.Калашникова. – 2019. –Т. 22, №1. – С. 20-28.
5. Будрин С.Б. Ресурс стальных канатов // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Доклады научно-практической конференции. – 2019. – Т. 1. – С. 66-71.
6. ГОСТ 33710-2015. Выбор канатов, барабанов и блоков.
7. ISO 16625-:2013 Краны и подъемники – Выбор канатов, барабанов и блоков.
8. Фидровска Н.М., Скрипник В.С., Кереченко И.Г., Нестеренко В.В., Писарцов О.С. Экспериментальное исследование влияния угла отклонения каната на его долговечность // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 20-24.
9. Таштанбаева В.О. Теоретическое исследование натяжения стального каната подъемной установки // Известия ВУЗов Кыргызстана – 2020. –№6. – С. 3-6.
10. Ривенко В.Г., Диденко В.В., Евдокимов С.Г., Стельмах А.В., Горохов Д.В. Влияние коэффициентов преформации прядей на трибожесткость стальных канатов // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сборник научных трудов МакНИИ. – Макеевка: МакНИИ, 2018. – №3(42). – С. 28-37.

References

1. Stepanov M.A., Arkhangelsky G.G., Ionov A.A. Reliability of elevator assemblies with long service life // Lifting and transport equipment: monthly, informational and analytical journal. 2001, no. 5, pp. 30-33.
2. Gustov Y.I., Romanova E.S., Stepanov M.A. Reliability of elevator assemblies with long service life // Indicators of reliability of the transport system of the conveyor line for the production of reinforced concrete. 2012, no. 12, pp. 30-33.
3. Tashilin L.N. Features of machine drives and their characteristics // Prospects of science. 2018, no. 10(109), pp. 16-21.
4. Kalentyev E.A., Tarasov V.V., Novikov V.N. On the question of the durability of steel ropes // Bulletin of IzhSTU named after M.T. Kalashnikov. 2019, vol. 22, no. 1, pp. 20-28.
5. Budrin S.B. Resource of steel ropes // Problems of transport in the Far East. Reports of the scientific and practical conference. 2019, vol. 1, pp. 66-71.
6. GOST 33710-2015 Selection of ropes, drums and sheaves.
7. ISO 16625-:2013 Cranes and hoists – Selection of wire ropes, drums and sheaves.
8. Fidrovskaya N.M., Skripnik V.S., Kerechenko I.G., Nesterenko V.V., Pisartsov O.S. Experimental investigation of the influence of the rope deflection angle on its durability // Bulletin of the Azerbaijan Engineering Academy. 2021, vol. 13, no. 1, pp. 20-24.
9. Tashtanbayeva V.O. Theoretical investigation of the tension of a steel rope of a lifting installation // News of the universities of Kyrgyzstan. 2020, no. 6, pp. 3-6.
10. V.G.Rivenko, V.V.Didenko, S.G.Evdokimov, A.V.Stelmakh, D.V.Gorokhov. Influence of the coefficients of preformation of strands on the tribo-rigidity of steel ropes // Ways and means of creating safe and healthy working conditions in coal mines. Collection of scientific papers of MakNII. – Makeevka: MakNII, 2018. – No. 3(42). – P. 28-37.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Клочков Иван Александрович – аспирант	Klochkov Ivan Alexandrovich – postgraduate student
Степанов Михаил Алексеевич – кандидат технических наук, профессор	Stepanov Michail Alexeevich – candidate of technical sciences, professor
i.a-klochkov@ya.ru	

Получена 10.02.2023