

УДК 622.673.6-034.14:620.172.242

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ПОТЕРЯ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ КАНАТОВ

д-р техн. наук В.Я. ЩЕРБА, С.Л. БЕЛЬКО, А.Н. ВОЛЕГОВА
(Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством)

Канат является наиболее ответственным элементом в шахтных подъемных установках и его элементы – проволоки – постоянно испытывают сложный комплекс статических и динамических нагрузок: растяжение, изгиб, кручение, контактные напряжения. Нагрузки в присутствии агрессивной соляной пыли, чрезмерной коррозии, потери формы сечения и внутреннего износа проволок значительно уменьшают срок его службы.

Введение. Стальные канаты в процессе эксплуатации на шахтном подъеме теряют свою прочность и механические свойства. Прочность каната, в основном, зависит от площади поперечного сечения и временного сопротивления разрыву металла проволоки [1, 2].

Нестационарность напряжения проволок в канате возникает, в основном, за счет наружного и внутреннего износов. Наружный износ каната, снижая контактные напряжения и напряжения вторичного изгиба, одновременно ухудшает напряженное состояние за счет концентрации напряжений в местах износа. Внутренний износ каната приводит к нарушению параметров конструкции и, следовательно, к перераспределению растягивающих напряжений.

В настоящее время в РУП «ПО «Беларуськалий» применяются канаты линейного касания ГОСТ 3077-80, ГОСТ 7669-80, ГОСТ 3085-80 конструкций, соответственно, 6×19 (1+9+9)+1 о.с., 6×36 + 7×7, 6×25 TS (12/12/1)BR (9/3)+FC. Канаты, изготовленные Череповецким, Белорецким, Орловским и Брайдон (Англия) сталепроволочно-канатными калибровочными заводами.

Анализ работы подъемных канатов на шахтах РУП «ПО «Беларуськалий» за период с 1997 по 2005 г. показал, что средний срок службы канатов составляет 2,5...3 года и только в отдельных случаях 4 и более (табл. 1.). Характеристика причин выхода из строя канатов вертикальных шахт, больше половины канатов снято по причине обрыва проволок на шаге свивки более 10...15 %, что свидетельствует о неудовлетворительном качестве канатов, неправильном уходе за ними. 12...14 % канатов снято по результатам повторных испытаний. Также снимаются канаты из-за большого количества оборванных проволок у коуша. Исследования показывают, что иногда встречаются сердечники канатов сухие, без смазки, внутренние проволоки изъедены ржавчиной.

Таблица 1

Данные анализа причин выбраковки подъемных канатов

Тип подъемной установки	Средний срок службы, мес.	Число обследованных канатов	Число канатов, снятых по причине						
			Заводских дефектов	Несоотв. требов. повтор. испытаний	Наличие 10 % оборван. проволок	Разруш. в прицепном устройстве	Коррозии	Переход на новый горизонт	Истечение срока службы
Одноканатные грузовые	34	230	8	45	75	32	56	14	–
Грузолоудские	42	184	6	36	54	28	42	18	–
Многосканатные грузовые	48	80	–	–	12	24	8	4	48

В процессе эксплуатации прочность шахтного каната изменяется вследствие появления в нем разного рода дефектов, которые с течением времени прогрессируют и доводят канат до состояния, опасного для дальнейшей работы. Одним из видов разрушения канатов является появление оборванных проволок вследствие усталостного разрушения. Обрывы проволок появляются преимущественно только в местах контакта проволок смежных прядей. Обрывы проволок в других местах имеют место при нарушении технологии свивки прядей, так как данные проволоки отстают (выпучиваются) от прядей и подвергаются циклическому изгибу или при сильном механическом износе проволок при работе каната на нефутерованных шкивах.

Причиной появления обрывов проволок в канате является усталостное их разрушение, вызываемое ускорением (разгон) и замедлением при подъеме и опускании подъемного сосуда. Эта изменяемая нагрузка является динамической нагрузкой. Кроме нее усталость металла проволок возникает также в результате изгиба каната при огибании направляющих и ведущих шкивов и навивке на барабаны подъемных машин [3].

Проанализируем основные напряжения, возникающие в проволоках, и технические возможности их уменьшения. Стальной подъемный канат представляет собой (в первом приближении) упругую систему, в которой реализуются продольные, поперечные крутильные волновые процессы. Напряжения, обусловленные этими процессами, суммируясь с основными, так называемыми эксплуатационными (также переменными), напряжениями от растяжения, изгиба и кручения обуславливают усталостное разрушение проволок. Этот процесс ускоряется наличием контактных зон, коррозионной среды, явлений фреттинг-коррозии.

Прочность стального каната в основном обуславливает площадь металла в его поперечном сечении и временным сопротивлением разрыву материала проволок. В процессе эксплуатации площадь его поперечного сечения уменьшается вследствие механического износа и коррозии проволок, как результат воздействия агрессивной среды. Особенно опасную форму представляет внутренняя коррозия, не подлежащая контролю внешним осмотром, но которая наиболее распространена. При ней наиболее интенсивно поражаются коррозией места контакта соприкосновения проволок в смежных прядях и места контакта проволок с волокнистым сердечником.

Опыт эксплуатации канатов, подверженных коррозии, показывает, что при отсутствии инструментального контроля состояния каната, прочность их значительно уменьшается на столько, что происходит обрыв проволок при нормальных эксплуатационных режимах подъема, при этом наружное состояние каната остается удовлетворительным (отсутствуют наружные обрывы проволок, нет уменьшения диаметра каната).

Обрыв подъемного каната в процессе эксплуатации может произойти не только в результате недопустимо большой потери прочности из-за усталостного разрушения проволок и их коррозии, но под действием экстренных нагрузок на еще прочный канат. Основными причинами появления экстренных нагрузок в канате является заклинившие подъемные сосуды в стволе, переподъем, включение аварийного тормоза при движении подъемного сосуда при рабочей скорости [4].

Напряжения, возникающие в зоне контакта с криволинейной поверхностью шкива и клина коуша, велики, и для уменьшения их обоснована необходимость футеровки поверхности шкива (клина коуша) материалами с малым модулем упругости. При поперечных колебаниях каната, обусловленных геометрическими несовершенствами шкива и условиями взаимодействия подъемного сосуда с проводниками жесткой армировки, возникают дополнительные, весьма значительные по величине пульсирующие контактные напряжения, которые также являются одной из основных причин усталостного разрушения проволок.

На основе данных усталостных испытаний, контактных напряжений в проволоках, обусловленных поперечными колебаниями каната, с нашим участием была разработана новая конструкция клинового коуша, в которой была предусмотрена установка перед коушом специального демпфера – ограничителя поперечных колебаний. Эти рекомендации были реализованы в новых конструкциях прицепных устройств (УПС 46, КД 30).

Вторым видом разрушения канатов является «коррозия» металла проволок и их механического износа. Кроме того, разрушение подъемных канатов наступает в результате действия обоих факторов.

Задачей исследований коррозионно-усталостного разрушения подъемных канатов являлось выяснение влияния атмосферных условий шахтных стволов на коррозионную прочность стальных проволок каната в условиях Старобинского месторождения калийных солей и определялась долговечность стальных канатов и воздействие соляной пыли в стволах 4-х калийных комбинатов РУП «ПО «Беларуськалий».

В период работы на шахтных подъемах стальные канаты подвергаются механическому износу, который характеризуется уменьшением металла в его поперечном сечении, а также коррозионно-усталостному разрушению, сопровождающего уменьшением прочности каната и изменением физико-механических свойств его проволок [5].

Способ защиты стальных канатов от коррозии

- обильная и своевременная смазка специальными канатными смазками;
- цинковое покрытие;
- протекторная защита;
- применение различных ингибиторов – веществ, препятствующих коррозии.

Следует отметить, что в некоторых условиях при нерегулярной смазке канатов в результате ее выщелачивания ускоряется процесс коррозии. Оцинкование канатов оказывает положительное влияние.

Наиболее рентабельным, доступным и перспективным способом является протекторная защита. Сложность осуществления ее заключается в выборе материала для протектора, способе его введения в канаты при изготовлении и удержания в канатах во время эксплуатации.

Предлагаемый способ защиты канатов от коррозии [6] предусматривает введение протектора во внутрь каната путем обволакивания сердечника его в алюминиевой пудре в процессе свивки каната. Преимущество этого способа заключается в том, что пудра, прижатая прядями каната, не изменяет структурную устойчивость каната.

Результаты испытаний исследуемых канатов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Механическая прочность проволок

Показатель	Диаметр каната, мм	Канат незащищенный	Канат защищенный	Эффективность защиты
Среднее число перегибов	43,5	4,3	6,1	1,42
	43,0	7,5	10	1,33
Среднее число кручений	43,5	21	34	1,61
	64	10,3	16,8	1,63
Разрыв, Н	64	40	48,5	1,21

Эффективность протекторной защиты определялась как отношение свойств механической устойчивости проволок и прядей (на кручение, перегиб и разрыв) защищенного и незащищенного канатов. Как видно из таблицы, механическая прочность проволок и прядей защищенных канатов во всех случаях испытаний выше, чем незащищенных канатов, примерно в 1,2...1,6 раза.

В проволоках незащищенных канатов наблюдались сосредоточенные зачатки интенсивной коррозии, что не имело места в проволоках протектируемых канатов. Это дает возможность утверждать, что некоторая неравномерность слоя нанесения алюминиевой пудры на сердечник не изменяет ее защитных свойств по длине каната. Степень увеличения срока службы протектируемых канатов можно установить только в результате их длительной эксплуатации.

Повышение коррозионной усталости может быть достигнуто применением различных покрытий, а также электрохимических и термохимических методов защиты. Разрушение канатов под действием переменных, напряжений усиливается воздействием агрессивной среды, что в большой мере снижает усталостную прочность канатной проволоки. Коррозионной усталости особенно подвержены шахтные подъемные канаты, так как ствольные среды отличаются высокой агрессивностью.

Проведенные опыты позволили установить, что алюминиевый и цинковый протекторы могут быть эффективным средством защиты канатной проволоки от коррозионной усталости. В среднем срок службы проволоки с цинковым протектором повысился на 50 %, а с алюминиевым – на 35 % [7].

Канатная смазка. Значительное повышение срока службы канатов может быть достигнуто путем помещения, как каждой проволоки, так и всего каната в упругую среду с малым модулем упругости, препятствующей вращению каната и его коррозии, главным образом, контактной коррозии. Понижение коррозионной усталости может быть снижено применением различных покрытий, а также электрохимических и термохимических методов защиты.

Многие предприятия применяют для смазки канатов технический вазелин и канатную смазку, в которых отсутствуют поверхностно-активные составляющие. Следовательно, малая прочность прилипания к канату; мягкая конструкция, что приводит к разбрызгиванию смазки с работающего каната; малый температурный диапазон работоспособности смазки. При колебаниях температур (15...20 °С) и отрицательных температурах смазки растрескиваются, давая доступ к металлу агрессивным агентам. Легкие смазки выдавливаются из каната даже при малых нагрузках и поэтому не обеспечивают смазывания внутренних элементов каната и защиту их от коррозии.

Наблюдения за образцами канатов, поступающих на испытания в ЛРК, показали, что применяемые материалы для изготовления смазок не дают необходимого результата. В процессе исследований выяснено, что для канатных смазок лучшие результаты даёт сочетание гудронов и битумов с содержанием значительного количества смол, обеспечивающих повышенную прилипаемость с поверхностью металла.

Принцип подбора компонентов смазки. Основными свойствами канатной смазки являются:

- а) большая липкость, обеспечивающая прилипание смазки к гладкой поверхности металла, и способность удерживаться на канате при больших центробежных усилиях, испытываемых шахтным канатом;
- б) способность сохранять смазочную пленку при тяжелом трущем и скользящем действии, испытываемом канатом при прохождении через блоки и барабан;
- в) сохранение пластичных свойств в широком диапазоне температур (от –25 до + 40 °);
- г) сохранение плотности мази при внесении в канат (так как смазку в канат можно вносить только один раз – при его изготовлении).

Кроме указанных специфических свойств, канатная смазка должна обладать высокими предохранительными и антикоррозионными свойствами.

Оценка качества канатных смазок. Существующие методы оценки смазок не отражают требований, предъявляемых к основным свойствам канатных смазок.

Лабораторией разрушающего контроля проводились лабораторные исследования, которые наряду с шахтными испытаниями позволяют оценить качество смазки канатов, находящихся в резерве и в навеске.

Результаты испытаний. Предохранительная способность канатной антифрикционной смазки Торсиол-35А, Б в шахтных условиях в 5...6 раз больше, чем у технического вазелина. Смазка морозостойка ($-14\text{ }^{\circ}\text{C}$), не смывается водой, не сбрасывается при работе каната; пыль, попадая в смазку, не вызывает видимого изменения.

Недостатком смазки является медленное застывание на канате при прохождении через ванночку с разогретой смазкой. Смазка наносится при условии подачи ее в конус свивки или поливом на поверхность каната.

Во время эксплуатации исследованиями установлено, что для увеличения схватываемости при определенном соотношении с битумом и гудроном можно применить петролатум с улучшением свойств смазки – повышением морозостойкости и получением необходимой температуры каления.

В процессе эксплуатации необходимо применять канатную смазку Торсиол-35Э, не требующую подогрева, что дает положительные результаты при работе канатов в зимних и летних условиях, добавляя растворитель, смазка наносится на канат. Жидкая смазка проникает между проволоки в сердечник, растворитель улетучивается в течение 0,5 часа и канат готов к эксплуатации.

Выводы. Интервалы между обрывами проволоки по всему сечению и всей длине каната представляет собой случайный точечный процесс, особенности протекания которого зависят от изменения напряженного состояния проволоки в связи с накоплением их обрывов. Это делает возможным использовать интенсивность нарастания обрывов как параметр, анализ изменения которого в процессе эксплуатации каждого в отдельности каната позволит обоснованно использовать его ресурс по индивидуальной оценке предельного состояния, отвечающей определенному изменению интенсивности.

Одной части обрывов проволоки канатов при усталостном разрушении соответствует исходный уровень напряжений, а другой повышенный, вызванный тем, что ранее появились обрывы других проволоки.

Для обеспечения безопасности работы подъемной установки потеря сечения подъемного каната по всей длине от коррозии и механического износа должна контролироваться с помощью специальных приборов и проверяться в лаборатории по испытанию стальных шахтных канатов, на агрегатную прочность или суммарное разрывное усилие.

Большой износ и разрушение проволоки канатов происходит в зонах соединения клинового коуша с канатом и поверхностью органа навивки, где находится самое интенсивное выделение соленой пыли, что, способствует быстрому разрушению проволоки.

Прочность канатов, находящихся в клетевых стволах (грузолюдские), по сравнению со скиповыми канатами (грузовые) выше на 15...20 %. Это различие объясняется составом атмосферы ствола, что скиповые стволы являются вентиляционными, а через клетевые скипы подается в шахту свежий воздух.

В процессе эксплуатации каната целесообразнее применять канатную смазку, не требующую подогрева, способную проникать до сердечника, пропитывая его, растворяемую быстроиспаряющимся растворителем, что дает положительные результаты при работе канатов в зимних и летних условиях.

Установлены зависимости при определении прочности канатов от методов испытаний на разрыв (в целом и по проволокам) для различных конструкций канатов; изменения остаточной прочности кантов различного диаметра и конструкции от потери сечения для условий шахт РУП «ПО «Беларуськалий».

Канатные смазки обеспечивают требования к канатным смазкам – длительное время удерживаются на поверхности канатов при больших центробежных силах.

Наличие в смазке высокомолекулярных соединений – смол, которые обеспечивают продолжительную способность защиты от коррозии и длительное сохранение внутри каната.

С увеличением плотности смазки увеличивается длительность сохранения смазки на работающем канате, но становится невозможным нанесение ее в холодном состоянии.

Во время эксплуатации каната целесообразнее применять канатную смазку, способную проникать до сердечника под давлением, пропитывая его, не требующую подогрева, растворяемую быстроиспаряющимся растворителем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Н.Г. Сердечники стальных шахтных канатов // Труды Ленинградского политехнического института. – 1988. – № 2. – С. 198 – 202.
2. Житков Д.Г., Поспехов И.Т. Стальные канаты для подъемно-транспортных машин. – Metallurgizdat, 1985.
3. Белый В.Д., Самарский А.Ф. Характер разрушения шахтных подъемных канатов // Труды МакНИИ. – Т. XII. – Госгортехиздат, 1984. – Вып. 4.
4. Гончаренко Н.К. Исследование коррозионно-усталостной прочности канатной проволоки и канатов // Стальные канаты: Сб. ст.: В 10 т. – Киев: Техника, 1965. – Т. 2. – С. 211 – 214.
5. Цветков В.А. Коррозионно-усталостное разрушение подъемных канатов. – М.: Уголь, 1987. – С. 38 – 40.
6. Гончаренко Н.К. Применение протекторов как средство защиты канатов от коррозионной усталости. – Тбилиси: Мецниереба, 1967. – С. 15 – 17.
7. Томашев Н.Д. Теория коррозии и защита металлов. Защита металлических конструкций от коррозии протекторами. – М.: Изд-во АН СССР, 1980. – 106 с.