

5.02.02
-939

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

ЧУРЮКИН Валерий Алексеевич

УДК 681.45.054

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА
ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КАНАТОВ
НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ИХ РАЗРУШЕНИЯ

Специальность 05.02.02 – Машиноведение
и детали машин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 1984

Работа выполнена на кафедре "Детали машин и ПТМ" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор ГЛУШКО М.Ф.

Социальные оппоненты – доктор технических наук,
профессор ГРИНЕНКО Н.И.,

– кандидат технических наук
Щеголев Г.К.

Ведущая организация – Магнитогорский калибровочный завод.

Защита состоится "___" 198___ г. в ___ часов
на заседании специализированного Совета К 053.13.02 Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола
по адресу: 454044, г.Челябинск, пр. им.В.И.Ленина, 76.

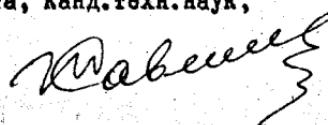
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направить ученому секретарю Совета по вышеуказанному адресу.

Автореферат разослан "___" 198___ г.

Ученый секретарь специализированного Совета, канд.техн.наук,
доцент

Г.В.Савельев



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981...1985 годы и на перисд до 1990 года предусматривается дальнейшее повышение качества, улучшение потребительских и технико-экономических свойств машин. В подъемно-транспортных машинах, экскаваторах, буровых станках эти показатели определяются в значительной мере канатами как наиболее нагруженными и ответственными элементами.

В большинстве случаев требуемое качество стальных канатов можно обеспечить комплексом мероприятий, включающим мероприятия по повышению качества проволоки. Зависимость между качеством канатов и проволок сложна и состояние знаний по этому вопросу испытывает недостаток количественных оценок, позволяющих обоснованно устанавливать требования к проволоке. В связи с этим задача изучения влияния неоднородности механических свойств проволок на процесс разрушения и предельные состояния канатов является актуальной.

Цель работы. Изучение механики разрушения канатов при статическом и циклическом нагружениях и на этой основе обоснование возможности и целесообразности повышения прочности и долговечности канатов за счет снижения неоднородности механических свойств проволок.

Методы исследования: 1. Теоретическое изучение механики разрушения канатов в вероятностном аспекте на основе теорий выбросов случайных процессов, марковских процессов и методов статистического моделирования, реализуемых на ЭВМ. 2. Экспериментальные исследования закономерностей разрушения канатов. 3. Разработка и экспериментальная проверка предложенных рекомендаций по повышению качества канатов на действующем оборудовании в производственных условиях.

Научная новизна работы. Предложена и обоснована структурная модель каната, отражающая специфику процесса разрушения - разброс результатов испытаний.

Получены математические модели разрушения канатов при растяжении и циклическом нагружении.

Исследовано раздельное влияние основных механических свойств проволок на процесс разрушения, прочность и долговечность канатов.

Разработаны эффективные алгоритмы статистического моделирования разрушения канатов.

Практическая ценность работы. Выявленные количественные зависимости прочности и долговечности канатов от разброса механических свойств проволок позволили обосновать метод повышения качества канатов за счет увеличения прочности и долговечности слабейших участков проволок и внедрить в производство разработанную технологическую (воловильную) смазку, повышающую однородность механических свойств проволок.

Разработана инженерная методика расчета надежности канатов, учитывающая разброс механических свойств проволок и неравномерность их напряжения.

Реализация результатов работы. На Магнитогорском калибровочном заводе и Белорецком металлургическом комбинате изготовлены канаты из проволоки с уменьшенным значением коэффициента вариации усталостной долговечности. Снижение неоднородности усталостной долговечности проволок осуществлялось за счет применения при волочении предложенной технологической смазки. Опытные канаты показали наработку большую, чем серийные, в результате экономический эффект от эксплуатации 1960 т опытных канатов составил 204,9 тыс. руб., экономия металла - 588 т.

Методика расчета надежности канатов внедрена в практику исследовательских работ Одесского научно-исследовательского отдела стальных канатов ВНИИметиза.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на ХІІ, ХІІІ...ХІІІ Всеобщих семинарах по проблемам прочности и долговечности стальных канатов. (г. Ильинск, 1976, 1979, 1980 гг., Одесса, 1981 г.); на семинарах "Эффективность применения химических композиций для качественной обработки металлов давлением" (Киев, 1978 г.); "Повышение качества химических смазывающих веществ при обработке металлов давлением" (Киев, 1979 г.); на научно-технических конференциях "Пути повышения прочности, надежности и долговечности выпускаемых машин и оборудования" (Свердловск, 1976 г.), "Проблемы повышения прочностных качеств и надежности материалов и элементов машиностроительных

"конструкций" (Свердловск, 1977 г.), "Проблемы надежности и долговечности элементов конструкций в машиностроении и строительной промышленности" (Свердловск, 1978 г.), "Перспективы развития подъемно-транспортных машин" (Свердловск, 1979 г.), на XXXIII...XXXV научно-технических конференциях Челябинского политехнического института (Челябинск, 1980...1984 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 работ и получено одно авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и приложений; представлена на 268 страницах машинописного текста и содержит 30 рисунков, 18 таблиц литературы из 112 наименований, 26 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность исследования влияния неоднородности механических свойств проволоки на процесс разрушения и предельные состояния канатов. Сформулирована цель исследования, приведены основные научные результаты и положения, выносимые на защиту.

В первом разделе приводятся данные о неоднородности механических свойств проволоки и ее неравномерном напряжении в канате, о разбросе наработок стальных канатов, дан анализ теоретических и экспериментальных исследований, посвященных проблеме прочности и долговечности канатов.

При наличии большого числа работ, рассматривающих вопросы прочности и долговечности канатов, процесс разрушения каната как системы, состоящей из элементов с неоднородными механическими свойствами и неравномерным напряжением, практически не исследовался. Механические свойства проволок, напряжение проволок в канате относятся к категории случайных, и потому накопление повреждений в канатах есть случайный процесс, определяемый совместным влиянием данных факторов. Игнорирование хотя бы одного из них приводит к упрощенному подходу к вопросам разрушения канатов. Рассматривая канат как систему, состоящую из совокупности взаимодействующих между собой элементов-проводок, имеющих разное напряжение и неоднородные механические свойства, можно с более обоснованных позиций подойти к установлению требований к канатной

проводок, а значит, и к технологии ее изготовления. Рекомендации многих авторов по влиянию неоднородности механических свойств проволок на прочность и долговечность канатов, основанные на эмпирических данных, полезны и удобны, однако область их применения ограничивается условиями, при которых они получены. Более общий подход заключается в построении теории разрушения канатов, позволяющей установить связь между качеством проволок и процессом разрушения каната, рассматривая его протекающим во времени. В этом случае границы применимости полученных результатов определяются принятыми допущениями.

В работе сформулированы следующие задачи исследования.

1. Разработать структурную модель каната для описания его механических свойств по механическим свойствам проволок.

2. Дать аналитическое описание процессов разрушения канатов при растяжении и циклическом (регулярном) нагружении.

3. Разработать и реализовать алгоритм статистического моделирования разрушения канатов.

4. Установить закономерности разрушения канатов, оценить влияние неоднородности механических свойств проволок на интенсивность нарастания обрывов и предельные состояния канатов.

5. Обосновать возможность и целесообразность метода повышения прочности и долговечности канатов за счет повышения однородности механических свойств проволок. Реализовать данный метод в конкретном техническом мероприятии в промышленных условиях.

Во втором разделе предлагается структурная модель каната, дается аналитическое описание процесса разрушения канатов при растяжении, приводится алгоритм статистического моделирования разрушения канатов при статическом нагружении, анализируется влияние неоднородности временного сопротивления проволоки разрыву, пластичности и неравномерности натяжения проволок на прочность канатов.

Канат представляли состоящим из последовательно соединенных звеньев с сильной корреляционной связью. За длину звена каната принимали участок, на котором при разрушении каната рвутся все проволоки. Длину звена определили по длине, на которой оборванная проволока полностью вступает в работу. Показано, что эта длина не зависит от концевой нагрузки на канат. Зависимость

усилия, воспринимаемого наружной обрвянной проволокой пряди от расстояния ℓ до момента обрыва, описывается выражением

$$T(\ell) = T_n f(\ell, \mu, \alpha_n, \beta, z_n, z_n, n'), \quad (1)$$

где T_n - осевое усилие в сечении пряди;

μ - коэффициент трения;

α_n и β - углы свивки наружных проволок в прядь и прядей в канат;

z_n - радиус слоя прядей в канате;

z_n - радиус наружных проволок в прядях;

n' - число проволок в наружном слое пряди.

На некотором расстоянии $\ell = \ell_o$, где проволока полностью вступает в работу, усилие, приходящееся на проволоку при растяжении каната с закрепленными от вращения концами,

$$T(\ell_o) = T_n f(E_i, F_i, \alpha_i, n_n), \quad (2)$$

где E_i - модуль упругости материала i -ой проволоки;

F_i - площадь поперечного сечения проволоки;

α_i - угол свивки i -ой проволоки в прядь;

n_n - число проволок в пряди.

Решив совместно уравнения (1) и (2) относительно ℓ_o , получили, что ℓ_o не зависит от T_n , а значит длину звена каната можно считать неизменной в процессе всего нагружения. В предложенной модели каната взаимодействие проволок учитывается косвенным образом через длину звена каната.

В качестве параметра состояния звена каната при статическом нагружении выбрано число разрушенных проволок. Вероятность не разрушения звена каната определяли как вероятность пребывания случайной функции $X(T_s)$ - числа разрушенных проволок в допустимой области фазового пространства состояний звена каната G_o при изменении нагрузки T_s от 0 до T_{sk} (T_{sk} - прочность звена каната). Пересечение функцией $X(T_s)$ границы области G_o соответствует началу лавинообразного нарастания обрывов, то есть предельному состоянию. В работе процесс разрушения звеньев канатов описан с помощью марковских процессов с конечным множеством состояний и непрерывным временем. Считали, что проволоки разрушаются хрупко, имеют одинаковый модуль упругости и значения вра-

менного сопротивления разрыву, определенные по закону Вейбулла. Характеристики распределения корректировали с учетом неравномерного натяжения проволок в канатах. Для описания эволюции звена каната в фазовом пространстве состояний была составлена и решена прямая система дифференциальных уравнений Колмогорова. Интенсивности отказов проволок представляли состоящими из произведения двух множителей, один из которых κ_i зависит только от номера состояния, то есть от числа разрушенных проволок i , а второй $\lambda_i(t)$ - от нагрузки

$$\left. \begin{aligned} \lambda_i(t) &= \kappa_i \lambda_a(t) \\ \lambda_{m+1}(t) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

$$\kappa_i = (n-i) \left[\left(\frac{\beta_t n}{n-i} - 1 \right) / (\beta_t - 1) \right]^{b-1};$$

$$\lambda_a(t) = \frac{\theta}{a_c} \left(\frac{t - t_0}{a_c} \right)^{b-1},$$

$m+1$ - граница допустимой области фазового пространства состояний;

n - число проволок в канате;

β_t - коэффициент, определяемый по длине рассматриваемого интервала изменения нагрузки;

θ и a_c - параметры формы кривой интенсивности отказов;

t_0 - порог чувствительности (при $t = t_0$ канат сохраняет свое состояние).

Для исследования разрушения звена каната с учетом пластичности проволок разработан и реализован алгоритм статистического моделирования процесса разрушения каната. Сложный процесс разрушения звена имитировался как состоящий из совокупности элементарных актов - разрушений проволок. Предложенный алгоритм позволил оценить влияние неоднородности механических свойств проволок на прочность каната, определить число разрушенных проволок до начала лавинообразного нарастания обрывов и более корректно учесть неравномерность натяжения проволок, обусловленную как конструкцией каната, так и неравномерным натяжением проволок при свивке. Зависимость относительной прочности звена каната T_k'

от коэффициента вариации временного сопротивления проволок разрыву представлена на рис. I, где σ - среднее квадратическое отклонение относительной неравномерности напряжения прядей и проволок равно 0,01; β - 0,03; C - 0,05; α - 0,07; I - среднее значение относительной деформации разрушения проволок равно 5; 2-3,5; 3-2,5; 4-2; 5-1,5.

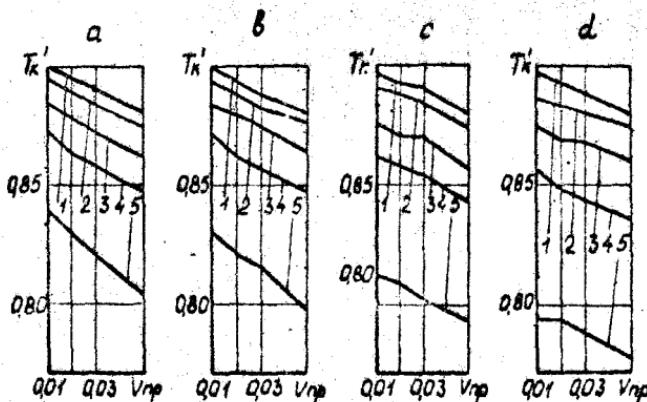


Рис. I

На следующем этапе исследования определяли зависимость прочности каната от длины. С помощью метода статистического моделирования была установлена форма стохастической связи между корреляционными функциями прочности проволок и канатов. Затем определяли вероятность неразрушения каната, как вероятность отсутствия выбросов случайной функции - прочности каната за уровень нагрузки на всей рассматриваемой длине каната. На рис. 2 представлено изменение прочности каната в зависимости от длины ℓ , где T_k и \bar{T}_k - среднее значение и среднее квадратическое отклонение прочности каната.

Третий раздел посвящен теоретическому анализу влияния неоднородности усталостной долговечности проволок и неравномерности их напряжения на процесс разрушения и усталостную долговечность каната.

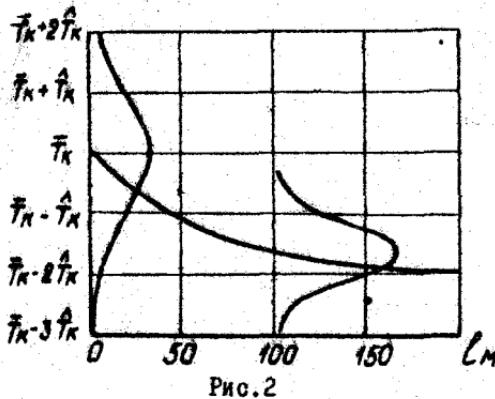


Рис.2

Процесс усталостного разрушения каната исследовали при неизменных во времени характеристиках цикла нагружения. За меру усталостного повреждения звена каната принято число разрушенных проволок. Считали, что звено состоит из n проволок, из которых m резервных и $n-m$ рабочих проволок. Состояние звена, в котором имеется $m+1$ оборванных проволок, есть состояние отказа.

С помощью теории случайных марковских процессов чистой гибели получены вероятности перехода звена каната из состояния в состояние E_j за время (число циклов) t .

$$\left. \begin{aligned}
 P_{ii}(0,t) &= \exp \left[-\frac{n^\nu t^\theta}{(n-i)^{\nu-1} a_c^\theta} \right] ; \\
 P_{ij}(0,t) &= (-1)^{j-i} (n-i)^{\nu-\nu} [n-(i+1)]^{\nu-1} \dots [n-(j-1)]^{\nu-1} \times \\
 &\quad \times \sum_{m=0}^{j-i} \frac{\exp \left[-\frac{n^\nu t^\theta}{(n-i-m)^{\nu-1} a_c^\theta} \right]}{\prod_{k=i+m+1}^j [(n-i-m)^{\nu-1} - (n-k)^{\nu-1}]} ;
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где ν - показатель степени в уравнении кривой усталостного разрушения проволок. При выводе уравнений (5) интенсивности отказов проволок считали зависящими как от времени, так и от числа разрушенных проволок

$$\lambda_i(t) = \frac{n^\nu \delta t^{\nu-1}}{(n-i)^{\nu-1} a_c^\nu}; \quad \lambda_{m+1}(t) = 0. \quad \left. \right\} \quad (6)$$

Вероятность неразрушения звена каната

$$P(t) = \sum_{j=0}^m P_{oj}(0, t). \quad (7)$$

На рис.3 представлены вероятности неразрушения звена каната конструкции 7x19, где кривая I рассчитана при $m = 0$; $2-m = 1$; $3-m = 3$; $4-m = 6$; $5-m = 10$; 6 - левая ветвь функции распределения долговечности проволок.

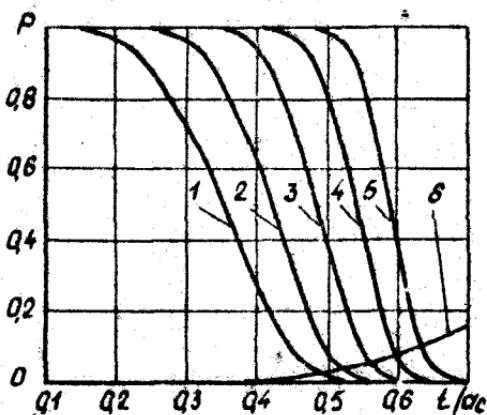
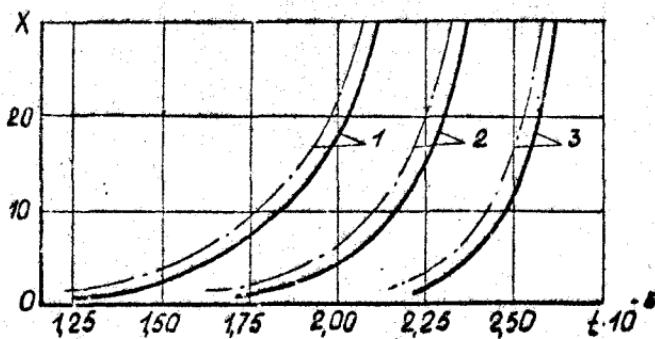


Рис.3

В результате теоретического анализа установлена зависимость долговечности канатов от слабейших проволок.

Положение левого крайнего участка кривой распределения долговечности проволок, характеризующего долговечность слабейших проволок, при фиксированных среднем значении и дисперсии, зависит от закона распределения. Кроме распределения Вейбулла,

принятого при аналитическом расчете, наиболее вероятным законом, описывающим распределение данных о долговечности проволок при фиксированном напряжении, следует считать логарифмически нормальный закон. Исследование разрушения каната с данным законом распределения проволок проводили с помощью метода статистического моделирования. На рис.4 представлены результаты статистического моделирования разрушения звеньев каната конструкции 7x19 при среднем напряжении в наружных проволоках, приведенном к симметричному циклу, равном 686 МПа, где X - число разрушенных проволок; I - коэффициент вариации усталостной долговечности проволок равен 31%, 2 - 21%, 3 - 12%; — — — — — среднее квадратическое отклонение неравномерности натяжения проволок 10 МПа, — — — — — 0.



Тис. 4

Результаты исследования показывают, что с уменьшением разброса долговечности проволок повышается долговечность каната и возрастает интенсивность нарастания сорывов проволок.

Четвертый раздел посвящен экспериментальному исследованию механики разрушения каната и анализу влияния механических свойств проволок на прочность и долговечность каната.

На первом этапе исследовали канаты при статическом нагружении. В работе предложен способ экспериментального исследования механики разрушения каната, основанный на анализе звукового излучения в процессе нагружения. Проволоки, разрушаясь, выступают

в роли естественных сигнальных датчиков. На осциллограмме засыпывали диаграмму растяжения каната и звук от обрывов проволок. Данный способ позволил проследить за динамикой нарастания обрывов и установить число разрушенных проволок до их лавинообразного нарастания.

Влияние механических свойств проволок на прочность каната оценивалось по результатам испытаний 275 канатов диаметром 3,2 мм, типа ТК, конструкции 7x19 (ГОСТ 2172-80) и 20 канатов диаметром 8,4 мм той же конструкции. Математическая обработка результатов испытаний заключалась в определении зависимости между прочностью каната и характеристиками прочности и пластичности проволок. Соотношения между переменными были представлены в виде уравнений регрессии:

$$X_1 = 4598 + 0,405X_2 - 0,429X_3;$$

$$X_1 = 4352 + 0,439X_2 - 0,4135X_4;$$

$$X_5 = 0,9007 - 0,0053X_6;$$

$$X_1 = 12894 + 0,593X_2 - 24,325X_3 + 154100X_7;$$

$$X_5 = 0,8000 - 0,0093X_6 + 3,777X_7,$$

где X_1 — прочность каната; X_2 — суммарное разрывное усилие всех проволок; X_3 — среднее квадратическое отклонение временного сопротивления проволок разрыву; X_4 — разбег временного сопротивления проволок разрыву; X_5 — относительная прочность каната; X_6 — коэффициент вариации временного сопротивления проволок разрыву; X_7 — относительное удлинение проволок каната.

На втором этапе исследовали разрушение канатов при циклическом нагружении. Испытания проводили как на машине, рекомендованной ГОСТом 2387-80, так и на специально спроектированной и изготовленной пробежной машине, отличительной особенностью которой является большая длина рабочей части испытываемого каната и высокая производительность. Получены закономерности нарастания обрывов проволок в канатах, установлено, что разрушение каната представляет собой нестационарный случайный процесс. С увеличением числа оборванных проволок возрастает интенсивность нарастания обрывов. От появления первых обрывов до разрушения 10% проволок канат выдерживает более 50% от общего числа циклов нагружения.

Влияние неоднородности механических свойств проволок на долговечность канатов оценивалось по результатам испытаний 275 канатов диаметром 3,2 мм. После 70000 изгибов на ролике диаметром 22 мм образцы канатов испытывались на растяжение. По результатам испытаний определено уравнение регрессии

$$X_8 = 0,5776 - 0,005X_6,$$

где X_8 – относительная прочность каната после испытания на усталость.

Проведенные испытания показали удовлетворительное совпадение опытных данных с теоретическими, что позволило сделать вывод о корректности предложенной структурной модели каната, принятых допущений и теоретических моделей разрушения. Испытания подтвердили существенную зависимость прочности и долговечности канатов от неоднородности механических свойств проволок.

В пятом разделе рассматриваются вопросы выбора способа снижения неоднородности усталостной долговечности проволоки, реализации данного способа в производственных условиях, изготовления и испытания опытных канатов.

В работе показано, что усталость/долговечность канатов можно существенно увеличить за счет повышения усталостной долговечности слабейших проволок. Это может быть выполнено с помощью более тщательного подбора проволок, идущих на изготовление каната; за счет совершенствования методов и форм контроля технологического процесса изготовления проволоки; с помощью технологических мероприятий, стабилизирующих процесс изготовления проволок. Долговечность проволок в производственных условиях не контролируется. Поэтому в работе повышение долговечности слабейших проволок осуществлялось за счет технологического мероприятия. К одной из основных причин появления проволок с минимальной долговечностью следует отнести дефекты поверхности проволок (риски, задиры), обусловленные недостаточной экранирующей способностью чистого натриевого мыла, применяемого в качестве технологической смазки при волочении. Предложена смазка на основе натриевого мыла, графита, дисульфида молибдена и стеарата цинка (а.с. № 724565, Б.И. № 12, 1980), позволившая снизить коэффициент вариации усталостной долговечности проволок на 5...35%. Волочение проволоки на опытной смазке осуществлялось на Белорецком металлургическом комбинате и Магнитогорском калибровочном заводе.

С целью определения эксплуатационных свойств опытной канатной проволоки проведены сравнительные испытания на выносливость канатов, изготовленных из проволоки, волоченой как на мыле, так и на опытной смазке. Лабораторные испытания показали, что опытные канаты на 5...18% долговечнее серийных. В производственных условиях при эксплуатации на экскаваторах и буровых станках опытные канаты показали наработку на 10...69% большую, чем серийные.

ВЫВОДЫ

1. Результаты испытаний и анализ литературных материалов показали значительную неоднородность механических свойств канатов, что обуславливает необходимость применения вероятностного подхода к анализу процесса разрушения и оценке предельных состояний канатов. В работе предложена и обоснована структурная модель каната, отражающая специфику процесса разрушения – разброс результатов испытаний. Канат представляли состоящим из последовательно соединенных звеньев, которые считали резервированными невостанавливаемыми системами с рабочими и резервными элементами (проводками), работающими в нагруженном режиме. В работе показано, что принятую структурную схему каната двойной свивки в процессе нагружения можно считать неизменной.

2. Полученные в работе математические модели разрушения канатов при статическом и регулярном циклическом нагружении позволяют описать процесс разрушения и оценить предельные состояния канатов с учетом неоднородности механических свойств проволок и неравномерности их натяжения. Математические модели построены на основе теории выбросов случайных процессов и теории марковских процессов с конечным множеством состояний и непрерывным временем. Плотности перехода звена каната из одного состояния в другое принимались зависящими от времени и определялись с учетом перераспределения нагрузок при разрушении проволок.

3. С помощью метода статистического моделирования исследовано влияние механических свойств проволок на интенсивность нарастания обрывов и предельные состояния канатов, получена зависимость критического числа оборванных проволок при растяжении каната от механических свойств проволок, установлена взаимосвязь

между корреляционными функциями прочности проволок и канатов. Предложенные алгоритмы статистического моделирования хрупкого, упруго-пластического и усталостного разрушений канатов показали высокое быстродействие.

4. Получено, что разрушение канатов при растяжении определяется напряжениями (нагрузками), которым соответствует вероятность разрушения проволок, равная 0,01...0,02. С повышением неоднородности прочностных свойств проволок и неравномерности натяжения уменьшается прочность каната и увеличивается количество обрывов проволок до их лавинообразного нарастания. С повышением пластических свойств проволок снижается неблагоприятное влияние разброса прочностных свойств и неравномерности натяжения проволок, уменьшается количество обрывов проволок до лавинообразного нарастания.

5. С увеличением длины каната возрастает неблагоприятное действие неоднородности прочностных свойств проволок на прочность каната. Особенно интенсивное снижение прочности происходит при возрастании длины каната до 120...160 м, при дальнейшем увеличении длины каната снижение прочности происходит менее интенсивно. С увеличением длины относительная прочность каната, по сравнению с относительной прочностью проволоки, уменьшается более интенсивно.

6. Получено, что долговечность звеньев каната определяется числом циклов нагружения, при котором вероятность разрушения проволок очень мала ($P = 0,04...0,16$). С возрастанием длины каната эта вероятность еще более уменьшается. С уменьшением разброса усталостной долговечности проволок увеличивается долговечность каната и возрастает интенсивность нарастания обрывов. Так, снижение коэффициента вариации долговечности проволок с 30% до 10% повышает число циклов нагружения, выдерживаемое звеном каната, до появления первой оборванной проволоки на 50...90%, до появления 10% оборванных проволок на 30...50%.

7. Лабораторные и эксплуатационные испытания канатов показали удовлетворительную сходимость теоретических результатов с опытными данными.

8. На основе теоретического анализа результатов статистического моделирования и экспериментальных исследований установ-

лено, что разброс усталостной долговечности проволок является одним из результативных факторов, определяющих долговечность канатов. Проведенные исследования позволили обосновать метод повышения долговечности канатов за счет повышения долговечности сла-бейших участков проволок и внедрить в производство разработанную волочильную смазку, снижающую коэффициент вариации усталостной долговечности проволок.

9. Канаты, изготовленные из проволоки с уменьшенным разбросом усталостной долговечности, показали наработку на 10...69% большую, чем серийные. В результате от эксплуатации 1960 т опытных канатов получен экономический эффект в сумме 204,9 тыс. руб., экономия металла составила 588 т.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кармадонов А.Ф., Чурюкин В.А. Статистический расчет канатов, работающих на блоках и барабанах, по разрушающей нагрузке. - В кн.: Пути повышения прочности, надежности и долговечности выпускемых машин и оборудования. Тез.докл. научн.-техн.конф. Свердловск: Общество "Знание". 1976, с. 57-59.

2. Чурюкин В.А. Статистический расчет спиральных канатов по предельному состоянию. - В кн.: Машиноведение: Тематический сборник научных трудов. № 194. Челябинск: ЧИИ, 1977, с. 22-26.

3. Чурюкин В.А. Статистический расчет канатов по предельному состоянию. - В кн.: Проблемы повышения прочностных качеств и надежности материалов и элементов машиностроительных конструкций: Тез. докл.конф. Свердловск: Общество "Знание", 1977, с.17-18.

4. Кармадонов А.Ф., Чурюкин В.А. Усталостная прочность сталь-ных канатов в статистическом аспекте. - В кн.: Машиноведение: Тематический сборник научных трудов. № 194. Челябинск: ЧИИ, 1977, с. 19-22.

5. Чурюкин В.А. Статистический расчет канатов. - Челябинск, 1977. - 7 с. - Рукопись представлена Челябинским политехническим ин-том. Дел. ин-том Черметинформация 26 июня 1977, 7Д-54.

6. Чурюкин В.А., Кармадонов А.Ф., Вильчик Г.В. и др. Исследование влияния дисульфидмolibденовой смазки на работу подъемных канатов экскаваторов. - Добыча угля открытым способом, 1978, № 7, с. 6-7.

7. Кармадонов А.Ф., Чурюкин В.А. Влияние рассеяния прочностных свойств проволок на прочность канатов. - В кн.: Проблемы надежности и долговечности элементов конструкций в машиностроении и стройиндустрии: Тез. докл. научн.-техн. конф. Свердловск: Общество "Знание", 1978, с.51-52.

8. Кармадонов А.Ф., Брудный А.И., Чурюкин В.А. Влияние дисульфидмолибденовой смазки на качество канатной проволоки и канатов. - В кн.: Эффективность применения химических композиций для качественной обработки металлов давлением: Тематический сборник научных трудов. Киев: Общество "Знание", 1978, с.12.

9. Чурюкин В.А. Применение графита в качестве добавки к технологической смазке при волочении проволоки. - В кн.: Трение и износ в машинах: Тез. докл. Всесоюзной конф. Челябинск: ЧПИ, 1979, с.37-38.

10. Чурюкин В.А. Исследование надежности подъемных канатов, изготовленных с применением смазок на основе графита. - В кн.: Перспективы развития подъемно-транспортных машин: Тез. докл. научн.-техн. конф. Свердловск: Общество "Знание", 1979, с.13.

11. Чурюкин В.А. Моделирование разрушения канатов при статистическом нагружении. - В кн.: Машиноведение: Тематический сборник научных трудов. № 251. Челябинск: ЧПИ, 1980, с.6-12.

12. Чурюкин В.А. Стохастическая модель накопления усталостных повреждений в канатах. - В кн.: Машиноведение: Тематический сборник научных трудов. № 251. Челябинск: ЧПИ, 1980, с.103-105.

13. Чурюкин В.А. Исследование работоспособности подъемных канатов, изготовленных с применением твердых смазок. - В кн.: Подъемно-транспортные машины: Тематический сборник научных трудов. Тула: ТПИ, 1982, с.86-87.

14. А.с. 724565 (СССР). Смазка для волочения металлов В.А.Чурюкин, П.И.Хромов, Л.И.Фудим, О.А.Рыбчикова, Р.Л.Валейшо. - Заявл. 19.10.78, № 2701731/23-04; Опубл. в Б.И., 1980, № 12; М.Кл². С ИОМ 7/04. - УДК 621.892.