

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИСПЫТАНИЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Зори А.А., Герчиков В.И.

Донецкий национальный технический университет, кафедра ЭТ

Abstract

Zori A.A., Gerchikov V.I. The automated system for monitoring and control trials process of steel ropes at static and dynamic loads. A question on durability, life expectancies and serviceability of steel ropes in mine elevating installations, lifts and other mechanisms now is actual. Dominating is the small life expectancy of ropes in comparison with other main details and sites of elevating devices. Therefore it is necessary precisely enough to determine maximum explosive efforts, which can withstand steel ropes to prevent undesirable consequences of emergencies. The problem consists in definition of the moment of a beginning of an impulse of a rope at dynamic loads, which it he tests in real conditions of maintenance.

Система предназначена для использования в составе разрывных силоизмерительных установок, при испытании стальных канатов на предприятиях, выпускающих канатную и сталепроволочную продукцию. Система должна выполнять следующие функции:

- измерять максимальные разрывные усилия при статических и динамических нагрузках;
- определять максимальное число циклов нагружения при динамических нагрузках;
- прогнозировать срок службы каната.

Система предназначена для испытаний стальных канатов, диаметры которых составляют 7.8, 10.5, 12.0 мм. В соответствии с ГОСТ 3077 – 80 разрывные усилия стальных канатов маркировочной группы 1570 лежат в диапазоне от 29.9 до 72.0 кН.

Область данных измерений достаточно специфична и требует особого подхода к решению этой задачи. Рассмотрим процессы и явления, возникающие в стальном канате под действием приложенной силы. В процессе эксплуатации каната его проволоки испытывают напряжения растяжения, изгиба, кручения, контактного нагружения и др. Роль этих напряжений на процесс износа каната различна, процесс разрушения каната той или иной конструкции, имеющей различное число проволок в пряди и прядей в канате, также неодинаков. Существенное влияние на механическую прочность, срок службы каната оказывает материал, процесс свивки и целый ряд других технологических факторов.

Для измерения сил используют различные физические эффекты, для которых характерна определённая зависимость между силой и другой величиной, например деформацией (относительной или абсолютной), давлением, пьезоэлектричеством, магнитострикцией и т.д. Наиболее распространённым способом измерения силы является использование упругой деформации.

Под деформацией (относительной) понимают отношение:

$$\delta_e = \Delta L / L_0 = (L - L_0) / L_0,$$

где $\Delta L = L - L_0$ – разница между начальной длиной (базой) L_0 на недеформированном участке и его длиной L после приложения к нему силы, действующей в продольном направлении.

В качестве чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя используются полупроводниковые тензорезисторы. В отличие от других чувствительных элементов они обладают рядом преимуществ, которые заключаются в следующем:

- малые размеры и масса;
- динамическая и статическая характеристики одинаковы;
- измеряют статические и динамические нагрузки;
- большая чувствительность;
- отсутствие гистерезиса;
- диапазон измеряемых сил от 10кН до 5МН.

Однако, у полупроводниковых тензорезисторов имеется один недостаток, который заключается в значительной температурной зависимости их сопротивления от температуры. По условиям проведения испытаний, температура в лабораторных помещениях должна находиться в диапазоне 14 – 28 °С. При таких незначительных колебаниях температуры и применении несложных схемных решений, заключающихся в компоновке тензорезисторов и термокомпенсирующих элементов в первичном измерительном преобразователе (ПИП), можно практически исключить влияние температуры. Тензорезисторный ПИП, приведенный на рис.1, включается в измерительный канал, состоящий из нормирующего усилителя, линии связи, фильтра и согласующего усилителя.

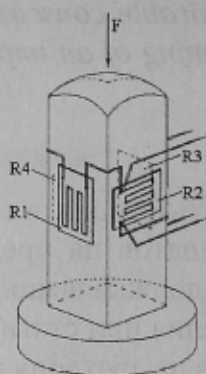


Рисунок 1 – Тензорезисторный ПИП

(R1, R4 – тензорезисторы в направлении действия силы;

R2, R3 – тензорезисторы в направлении, перпендикулярном действию силы)

При проведении статических испытаний на разрыв в целом, измерительная задача разрешима с помощью вышеописанного ПИП. Однако при необходимости определения частичного порыва (выхода из строя проволок, одной или нескольких прядей) задача значительно усложняется, а при динамических испытаниях иногда становится неразрешимой. Даже применение микропроцессоров и сложного программного обеспечения не всегда позволяет решить эту задачу.

С целью определения возможности обнаружения разорванных проволок каната, было проведено исследование изменения электромагнитных характеристик концевых участков канатов в процессе их разрушения пульсирующей нагрузкой. Измерения выполнялись датчиком, представляющим собой катушку индуктивности, которая устанавливалась внутри конической втулки. При питании датчика переменным током в отрезке каната, заключённого внутри конической втулки, создавалось переменное магнитное поле. Резкие изменения магнитного сопротивления концевой участка каната при обрывах проволок позволили осуществить эффективный контроль числа оборванных проволок. На рис.2 приведен график относительного изменения реактивного сопротивления магнитной цепи ϵ при разрушении проволок образца каната.

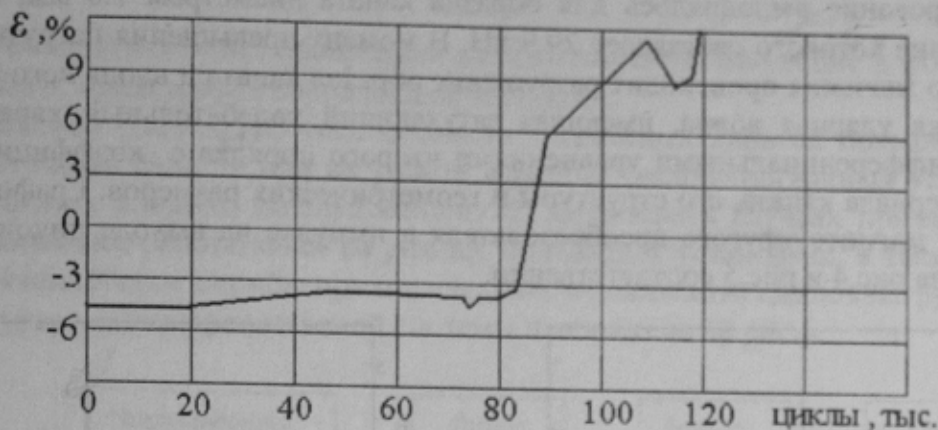


Рисунок 2 – Изменения реактивного сопротивления магнитной цепи при разрушении проволок образца каната

Из графика следует, что в моменты обрыва проволок происходят резкие изменения реактивного сопротивления магнитоупругого датчика, обусловленные изменением усилий в стальном канате.

Исследования процессов, протекающих в отрезке каната в момент обрыва проволоки, выполнялись с помощью описанного выше датчика, питаемого постоянным током и намагничивающего отрезки каната в продольном направлении. Изучение осциллограмм импульсов, генерируемых датчиками, показало, что при обрыве проволоки совершает свободные продольные затухающие колебания, а вдоль каната распространяется ударная волна, что и является причинами резких изменений магнитного сопротивления концевой участка. При этом постоянные магнитные потоки изменяются под действием разрывов проволок каната и в обмотках датчиков индуцируется импульс э.д.с., который может быть зарегистрирован одним из известных методов.

Для наглядности процессов, протекающих в магнитоупругом датчике при разрушении каната, воспользуемся методом моделирования на ЭВМ. Цифровое моделирование обладает универсальностью, гибкостью и экономичностью. При действии на канат случайного возмущающего фактора – растягивающих нагрузок (рис.3) происходит изменение магнитной проницаемости магнитоупругого датчика, в соответствии с зависимостью:

$$\Delta\mu = \lambda \cdot \mu^2 \cdot \mu_0 \cdot \sigma ,$$

где $\Delta\mu$ – абсолютное изменение магнитной проницаемости;

λ – магнитострикция;

μ – магнитная проницаемость ненагруженного образца;

σ – механическое напряжение.

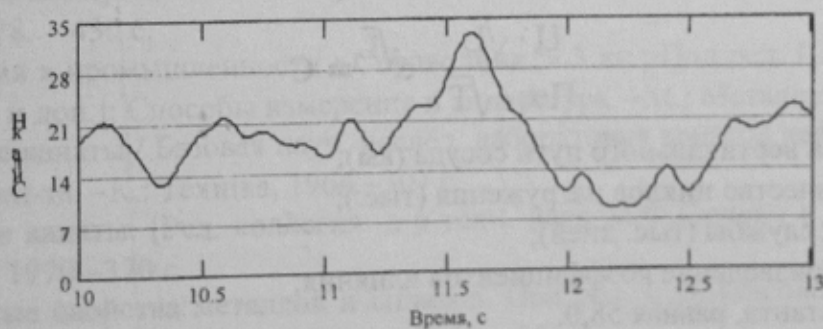


Рисунок 3 – Изменение силы, действующей на образец каната

Моделирование выполнялось для образца каната диаметром 7.8 мм, максимальное разрывное усилие которого составляет 29.9 кН. В момент превышения нагрузки максимально допустимого значения происходит разрушение образца каната и вдоль него распространяется продольная ударная волна, имеющая затухающий колебательный характер, которая описывается дифференциальными уравнениями второго порядка с коэффициентами, зависящими от материала каната, его структуры и геометрических размеров. Графики изменения индуктивности магнитоупругого преобразователя и импульс на выходе пикового детектора представлены на рис.4 и рис.5 соответственно.

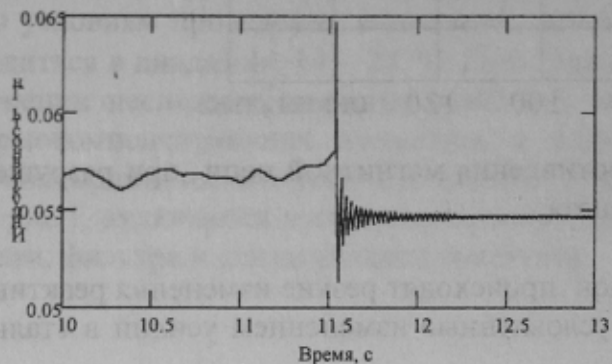


Рисунок 4 – График изменения индуктивности магнитоупругого преобразователя

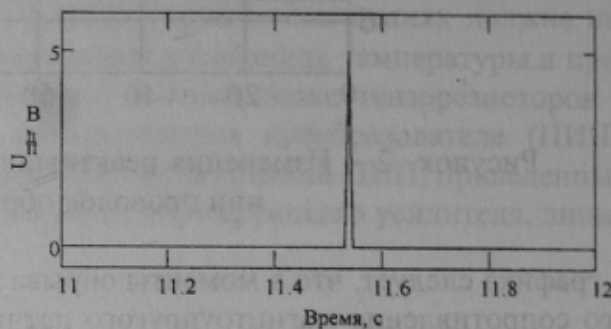


Рисунок 5 – Импульс на выходе пикового детектора

Следовательно, введение в автоматизированную систему контроля магнитоупругого датчика, позволяет с высокой точностью определять максимальные разрывные усилия стальных канатов при статических и динамических испытаниях, и фиксировать моменты обрыва отдельных проволок. Имея соответствующие статистические данные результатов измерений, можно с помощью предложенной системы прогнозировать срок службы стальных канатов в зависимости от условий их эксплуатации. Срок службы определяется двумя факторами: количеством циклов нагружения и временем эксплуатации. Исследование работоспособности и установление оценки производились по фактическим материалам использования подъемных канатов в действительных условиях работы. Применение теории вероятностей и методов математической статистики позволило установить законы распределения, параметры и плотность распределения исследуемых оценок работоспособности. Сходимость экспериментальных и теоретических распределений проверялась с помощью критерия Колмогорова. Взаимозависимость факторов устанавливалась корреляционным анализом с определением параметров по методу наименьших квадратов.

Предложена следующая оценка работоспособности подъемных канатов, определяемая сроком службы \$T\$:

$$\frac{Ц \cdot \sqrt{L}}{П\alpha_i \cdot \sqrt{T}} \cdot e^{\sqrt{L}} = C$$

- где \$L\$ – длина вертикального пути сосуда (км);
- \$Ц\$ – количество циклов нагружения (тыс.);
- \$T\$ – срок службы (тыс. дней);
- \$П\alpha_i\$ – произведение коэффициентов влияния;
- \$C\$ – константа, равная 58,0.

Вероятность нахождения величины \$C\$ в интервале \$\pm 25\%\$ равна 0,923. Отклонение константы \$C\$ от своего среднего значения объясняются различием качества подъемных канатов, обу-

словленного технологическими процессами их изготовления. Входящие в формулу коэффициенты влияния α_i приведены в специальных таблицах.

Предлагаемая оценка работоспособности подъёмных канатов позволяет сравнивать качество однотипных канатов при их работе в разных эксплуатационных условиях, оценивать и сопоставлять влияние эксплуатационного характера в случаях применения канатов одинакового качества, работающих на разных подъёмных установках, а также прогнозировать предполагаемый срок службы при определённом количестве циклов нагружения.

Структурная схема предлагаемой системы изображена на рис.6.

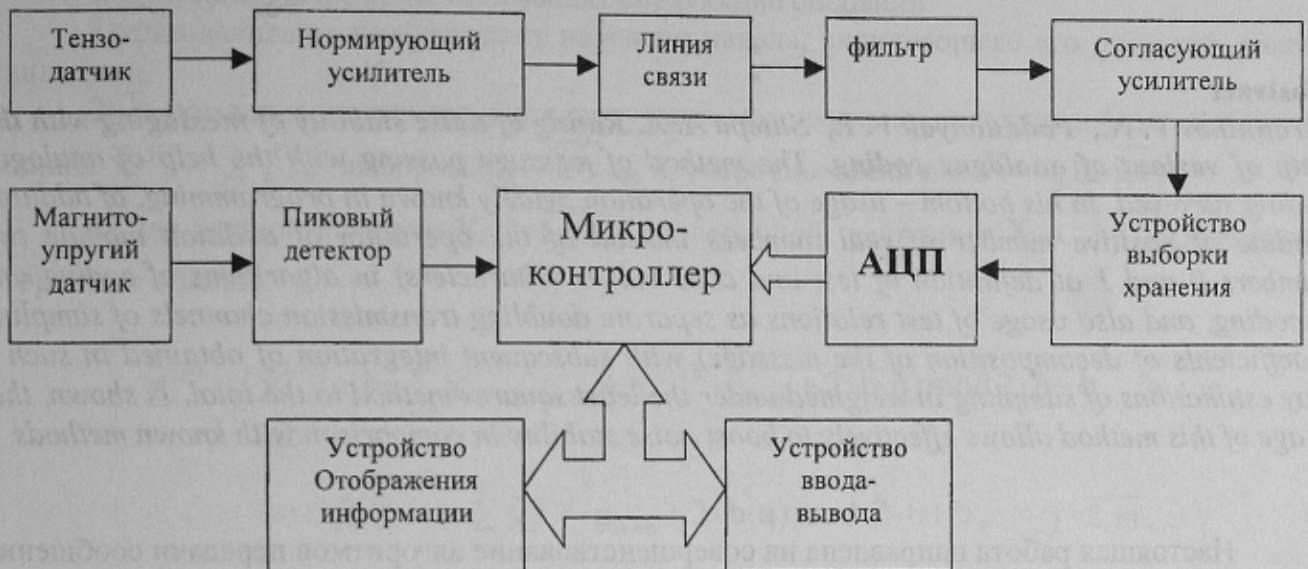


Рисунок 6 – Структурная схема автоматизированной системы контроля и управления процессом испытания стальных канатов при статических и динамических нагрузках

Выводы

Рассмотрены проблемы измерения динамических нагрузок при испытании стальных канатов и возможные способы их регистрации. Предложена методика оценки работоспособности стальных канатов и приведена структурная схема автоматизированной системы контроля и управления процессом испытаний.

Литература

1. Бауман Э. Измерение сил электрическими методами; Под ред. И.И.Смыслова. – М. : Мир, 1978. – 430 с.
2. Измерения в промышленности : Справочник : в 3 кн.; Под ред. П.Профоса; [2-е изд., перераб. и доп.]: Способы измерения и аппаратура. – М.: Металлургия, 1990.–382 с.
3. Стальные канаты / Базовая науч. исслед. лаборатория канатов каф. ПТМ Одесск. политехн. ин-та. – К.: Техніка, 1964.–307 с.
4. Стальные канаты. [Ред. коллегия: д-р техн. наук М.Ф.Глушко и др.]. Вып. 7. Киев, Техніка, 1970.–370 с.
5. Магнитные свойства металлов и сплавов. Под ред. С.В.Вонсовского. Издательство иностранной литературы. – Москва, 1961. –447 с.
6. Гуманюк М.Н. Магнитоупругие датчики в автоматике. – К.:Техника, 1972. –261 с.