

1st International Conference - Reliability and Durability
of Machine and Machinery Systems in Mining
1986 JUNE 16-18 SZCZYRK, POLAND

Виницијум БОРОН
Горнопромышленное объединение по автоматизации ЭМАГ
Катовице, ПНР

Фльоријан КРАСУЦКИ
Силезский политехнический институт
Гливице, ПНР

ИЗБРАННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ШАХТНЫХ ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ

Резюме. В работе обсуждена структура процесса эксплуатаций шахтных гибких кабелей. Представлен граф надежности эксплуатации кабелей. Проанализирована возможность технической диагностики шахтных гибких кабелей, особенно в области диагностирования, генезирования и прогнозирования. Проведен анализ контроля параметров состояния кабелей и использования защит, а также схем управления горных машин как средств технической диагностики. Представлены результаты лабораторных исследований резин типа ON4 и IZ применяемых в шахтных гибких кабелях.

1. СТРУКТУРА ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИЙ ШАХТНЫХ ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ

Шахтные гибкие кабели можно зачислить в класс технических объектов характеризующихся двусоставным эксплуатационным процессом. Обычно рассматривается состояние исправности (с длительностью Δt_z) и состояние повреждения (с длительностью Δt_u). Такое представление составляет однако только приближенную модель эксплуатационной действительности. Часто отличаются также:

- переходное состояние или состояние частичной исправности (с длительностью Δt_p),
- состояние ремонта (с длительностью Δt_r).

Особенным свойством эксплуатационного процесса гибких кабелей в шахтах является то, что временные диапазоны Δt_z , Δt_u , Δt_p и Δt_r это случайные переменные меняющиеся в широких пределах.

Структуру описанного процесса эксплуатации горных гибких кабелей изображено в виде графа надежности на рис. 1.

Типичную структуру представляет собой ход 1-2-3-4, в котором состояние исправности после переходного периода проходит в состояние повреждения.

После ремонта кабель вновь является исправным для эксплуатации. Эта структура характерна постепенным, относительно медленным переходом из состояния исправности в состояние повреждения. Может это быть вызвано следующими факторами:

- а) натуральное старение эластических элементов кабеля,
- б) поступающие во времени обрывы проволок жил,
- в) стирание внешней оболочки,
- г) увлажнение изоляции жил.

Надо подчеркнуть, что факторы а) + в) вызывают всегда необходимость перехода кабеля через фазу его ремонта (опущен случай, в котором кабель снимается с эксплуатации).

Появление фактора г) может вызвать реализацию хода 1-2-6, в котором например вследствие натуральной подсушки кабель переходит в состояние исправности.

Качественно другой характер имеет структура с ходом 5-3-4 или 5-6. Характеризует она повреждения в виде случайных импульсов. Такие повреждения могут возникать главным образом из-за механических ударов (сжатие, обрыв, разрез) вызывающих прочные или проходящее ход 5-6 повреждения.

С точки зрения повышения эксплуатационной прочности кабелей наиболее правильным является ход 1-7-4. Только эта структура реализует на практике действие профилактического типа.

2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ

Техническую диагностику гибких кабелей можно определить как процесс оценки технического состояния кабеля путем исследования его эксплуатационных параметров [1]. Целью является получение основы для предпринимания возможно оптимального решения в области дальнейшей работы.

Техническую диагностику можно подразделить на [3]:

- диагностирование: непрерывное или дискретное исследование актуального состояния,
- генезирование: исследование состояний, в которых кабель находился в прошлом,
- прогнозирование: определение состояний кабеля, которые могут возникнуть в будущем.

2.1. Диагностирование

В практике шахт диагностирование гибкого кабеля осуществляется двумя методами:

- 1 - непрерывный самодействующий способ без участия человека,
- 2 - дискретный способ с участием обслуживающего персонала.

Диагностирование (независимо от принятого метода) должно давать возможность определить состояние кабеля понимаемого как множество действительных чисел (значения параметров состояния) x_1, x_2, \dots, x_n , характеризующих избранные (наиболее существенные) свойства кабеля.

С точки зрения теории диагностики множество параметров x_1, x_2, \dots, x_n (вектор \bar{W}) в n -мерном пространстве должно выполнять следующие условия [1]:

- 1° Каждый параметр x_i может меняться независимо от изменения параметра x_j ($i \neq j$). Это условие говорит о существовании n степеней свободы. Надо подчеркнуть, что принятая система независимых параметров не должна содержать лишних параметров не дающих существенных информации о состоянии кабеля.
- 2° Множество параметров x_1, \dots, x_n должно быть полным. Это значит, что не должны существовать другие независимые параметры, которых определение является необходимым для реализации диагностической задачи. Таким образом число параметров описывающих состояние должно быть равно числу степеней свободы кабеля.

В случае шахтного гибкого кабеля можно принять для практических целей число степеней свободы $n = 4$.

Из проведенных исследований [2] следует (при $n = 4$), что в виде параметров состояния кабеля можно принять:

- x_1 - активное сопротивление жил
- x_2 - активное сопротивление изоляций жил
- x_3 - переходное сопротивление экранов
- x_4 - толщина или механические свойства внешней оболочки.

Каждая из составляющих $x_1 \div x_4$ вектора \bar{W} это величина переменная по времени и может принимать значения из следующих диапазонов:

$$x_1 \{x_{1n}, \infty\}; x_2 \{0, x_{2n}\}; x_3 \{x_{3n}, \infty\}; x_4 \{0, x_{4n}\}$$

где x_{in} - параметры номинальные определенные нормами или правилами.

С точки зрения диагностирования состояния кабеля принять можно в виде средств диагностики следующие устройства:

- 1° Системы управления горных машин - диагноз активного сопротивления вспомогательных жил и жилы заземления.
- 2° Сверхтоковая защита с асимметрическим членом - диагноз сопротивления рабочих жил.
- 3° Реле утечки - диагноз сопротивления изоляций рабочих жил.

Вышепредставленные устройства являются самодействующими средствами диагностирующими состояние кабеля непрерывным способом. Характерной чертой принятого диагностирования является предпринимание действий типа решения без участия человеческого фактора.

С приведенных рассуждений следует, что только для переходного сопротивления экранов (параметр x_3) и состояния внешней оболочки (параметр x_4) пока нет средств диагностирования. Между этими параметрами существует однако основное отличие; насколько изменение параметра x_4 можно контролировать диагностированием дискретного типа (обслуживающим персоналом) настолько определение состояния параметра x_3 требует измерений практически невозможных в условиях горных работ. Из этого следует необходимость ограничения степени свободы кабеля до $n = 3$. Осуществление этого постулата будет требовать изменений конструкций и разработки экранированных кабелей. Эти изменения должны вести к механическому (увеличение толщины) и электрическому усилению (снижение удельного сопротивления полупроводящей резины) экранов.

Надо отметить, что в области диагностирования параметра x_4 существует возможность технической реализации контроля автоматическим и непрерывным способом с одновременным действием решительного типа. Это можно сделать через расширение диапазона применения специальных контрольно-защитных устройств (например типа UPZ-12).

2.2. Генезирование и прогнозирование

Генезирование и прогнозирование, понимаемые как составляющие технической диагностики, тесно связаны с прочностью гибких кабелей, при чем генезирование связано с ретроспективной прочностью, а прогнозирование - с проспективной [2, 3].

Кажется, что теперь существуют технические средства для генезирования и прогнозирования основного (с точки зрения безопасности и прочности) параметра гибкого кабеля каким является сопротивление изоляций токоведущих жил. Эти возможности связаны с применением в шахтных сетях до 1 кВ реле утечки с измерителем (омметр) сопротивления изоляций сети. Совершение отчета показаний измерительного прибора в определенном диапазоне времени дает возможность реализовать генезирование (анализ состояний, которые существовали в прошлом) и прогнозирования (выводы о состояниях, которые произойдут в будущем).

Значительные возможности расширения диапазона диагностических действий дает применение в защитах реле утечки современной микропроцессорной техники. Использование в защитах памяти или других запоминающих элементов для регистрирования информации о переменности сопротивления изоляций сети позволяет эти информации воссоздавать в любой момент времени и предпринять в необходимых случаях действия профилактического характера.

3. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ

Исследования прочности гибких кабелей могут содержать как исследования объекта (кабеля) в целом так и исследования отдельных его элементов в реальных эксплуатационных условиях или в лабораторных условиях. Преимуществом лабораторных симуляционных исследований является возможность влияния на

кабель или его элемент вектором вынуждений с управляемым, точно определенным распределением. Эти условия практически невозможно осуществить в случае эксплуатационных исследований, во время которых составляющие вектора вынуждений меняются случайно, что практически исключает анализ влияния отдельных составляющих на прочность кабеля. Знание этого влияния необходимо, между прочим, для подбора оптимальных материалов для отдельных элементов кабеля.

Лабораторные исследования кабеля, который был подвержен действию составляющих векторов вынуждений представляющих механические факторы, указаны в [2].

Ниже показаны некоторые результаты симуляционных исследований, которые дают возможность оценить влияние другой составляющей вектора вынуждений т.е. температуры на избранные параметры некоторых элементов кабеля.

Повышенная температура имеет негативное влияние прежде всего на свойства резин. Это влияние можно рассматривать в двух аспектах:

1. Изменения параметров вследствие непрерывного, поступающего во времени теплового старения. Эти изменения являются функцией температуры и длительности старения.
2. Изменения параметров вследствие непосредственного воздействия повышенной температуры на материал. Эти изменения являются функцией только повышенной температуры.

В качестве параметров решающих вопрос прочности приняты:

- 1° Предел прочности при растяжении R_r .
- 2° Относительное удлинение при растяжении ϵ .
- 3° Удельное объемное сопротивление ρ_v .

Принято, что параметры 1° и 2° должны быть определены для материала внешней оболочки, а 3° - для изоляций жил. Избранные результаты исследований проведенных в Горнопромышленном объединении по автоматизации ЭМАГ представлены в табл. 1, а также на рис. 2, 3 и 4. Исследования были проведены на резинах типа ON4 (внешняя оболочка) и типа IZ (изоляция жил).

Таблица 1

Изменение механических параметров резины типа ON4
в зависимости от времени старения (тем. стар. - 80°C)

Температура старения °C	Время старения ч	Предел прочности при растяжении МПа	Относительное удлинение %
18	0	10,43	376
80	72	10,10	272
80	240	9,25	262
80	360	8,90	212

На основе проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Во время теплового старения резины типа ON4 ухудшению подлежит прежде всего величина L (для времени старения 360 ч снижение равно 44%). Величина R_r падает значительно меньше (для времени старения 360 ч снижение равно только 15%).
2. В повышенной температуре работы падают величины R_r . Принимая, что температура внешней оболочки равна (при нагрузке кабеля током допустимым) 40°C можно получить следующие значения процентных понижений параметров:
 - для R_r - 19%
 - для L - 16%.
3. Результаты лабораторных исследований доказали, что изменение механических параметров в зависимости от температуры имеет линейный характер и выражается в виде формул:

$$k_r(\vartheta^?) = \frac{R_{r\vartheta^?}}{R_{r20}} = -(0,0092 \pm 0,0011) \cdot \vartheta^? + (1,1833 \pm 0,0871)$$

$$k_L(\vartheta^?) = \frac{L_{\vartheta^?}}{L_{20}} = -(0,00806 \pm 0,00104) \cdot \vartheta^? + (1,161 \pm 0,068)$$

где:

$R_{r\vartheta^?}$, R_{r20} - пределы прочности при растяжении МПа соответственно в температуре 20 и $\vartheta^?$ $^\circ\text{C}$

$L_{\vartheta^?}$, L_{20} - относительные удлинения при растяжении соответственно в температуре 20 и $\vartheta^?$ $^\circ\text{C}$.

4. Для изоляционной резины типа IZ исследования доказали, что изменение удельного объемного сопротивления в зависимости от температуры можно записать в следующем виде:

$$\rho_S(\vartheta^?) = \rho_{S0} \cdot \exp(-k_S \cdot \vartheta^?)$$

где:

ρ_{S0} - удельное объемное сопротивление при температуре 0°C ,

k_S - постоянный коэффициент, $1/^\circ\text{C}$.

После подстановки определенных значений ρ_{S0} и k_S методом наименьших квадратов зависимость принимает вид:

$$\rho_S(\vartheta^?) = 3,83 \cdot 10^{13} \cdot \exp(-0,07 \cdot \vartheta^?)$$

5. Учитывая, что при не рэзке кабеля допустимым током температура жил возрастает до 75°C , можно определить для этой температуры значение удельного объемного сопротивления резины типа IZ. Оно равно $2 \cdot 10^{11} \Omega \cdot \text{м}$. По срав-

нению о начальной температурой 20°C наступает ок. 50-кратное падение удельного объемного сопротивления.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Надежность и устойчивость гибких кабелей в шахтах зависит, между прочим, от реализованной структуры хода эксплуатационного процесса. С этой точки зрения за наиболее оптимальную надо принять структуру, которая дает возможность действий профилактического характера. Правильная реализация такой структуры требует применения соответствующих устройств технической диагностики. Проведенный анализ доказал, что уже применяемые теперь в шахтных сетях контрольно-защитные устройства выполняют в некотором диапазоне диагностические задачи.

Расширение диапазона действия этих устройств о функции генерирования и прогнозирования будет требовать разработки новых информатических защит исходя с микропроцессорной техники.

Широкое внедрение в эксплуатацию информатических защит, выполняющих требования технической диагностики даст возможность расширить и уточнить исследования кабелей в условиях шахт. Тогда особенно важное значение будут иметь лабораторные исследования влияния составляющих вектора вынуждений на отдельные элементы кабеля.

Лабораторные исследования доказали, что на величину механических и электрических параметров резин применяемых в кабелях очень сильно влияет температура. В связи с этим надо принять необходимость ведения дальнейших исследований с целью подбора оптимальных материалов. Надо учесть при этом исследования [4] свойств новых синтетических материалов применяемых в новых конструкциях шахтных кабелей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pawłow B.W.: Badania diagnostyczne w technice. WNT, Warszawa 1967.
- [2] Krasucki F., Boron W., Rabsztyn J., Wnuk A.S.: Badania możliwości zwiększenia trwałości przewodów oponowych górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. "Górnictwo", z. 92, Gliwice 1975.
- [3] Ziemia S., Czaplicki J.M.: Wybrane elementy diagnostyki obiektów technicznych: diagnostyka a teoria informacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. "Górnictwo" z. 93, Gliwice 1979.
- [4] Пешков И.Б.: Новые направления в разработке методов определения ресурса кабелей и проводов. Электричество 1985, № 4.

Recenzent: Prof. mgr inż. Władysław GLUZINSKI

Wpłynęło do Redakcji: luty 1986 r.

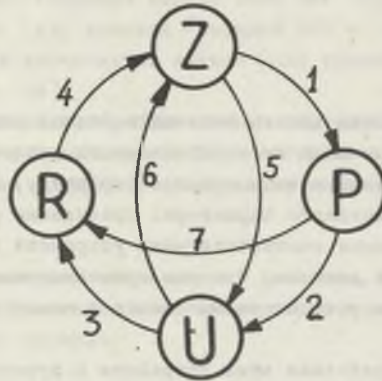


Рис. 1. Граф процесса эксплуатации шахтного гибкого кабеля

Z - состояние исправности, P - переходное состояние, U - состояние повреждения (неисправности), R - состояние ремонта

Rys. 1. Graf procesu eksploatacji przewodu oponowego górniczego

Z - stan sprawności, P - stan przejściowy, U - stan niesprawności (uszkodzenie), R - stan naprawy (remontu)

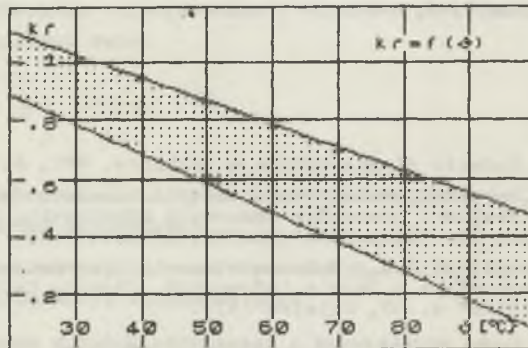


Рис. 2. Зависимость коэффициента k_r от температуры для резины типа ON4

Rys. 2. Zależność wartości współczynnika k_r (wytrzymałość względna) od temperatury dla gumy typu ON4

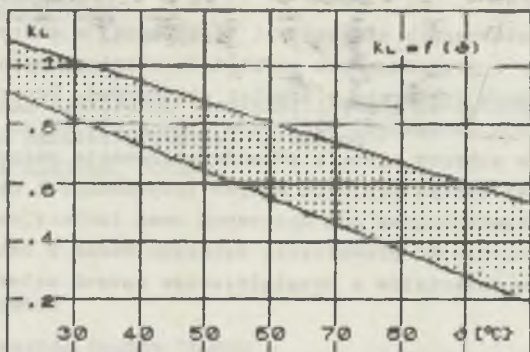


Рис. 3. Зависимость коэффициента k_L от температуры для резины типа ON4
 Rys. 3. Zależność wartości współczynnika wydłużenia k_L od temperatury dla gumy typu ON4

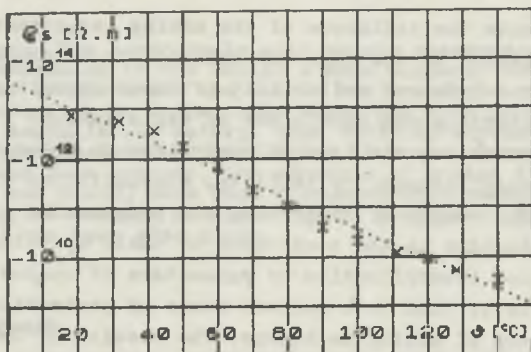


Рис. 4. Зависимость удельного объемного сопротивления ρ_S от температуры для резины типа IZ
 Rys. 4. Zależność rezystywności gumy izolacyjnej typu IZ w funkcji temperatury

WYBRANE PROBLEMY EKSPLOATACYJNEJ TRWAŁOŚCI PRZEWODÓW OPONOWYCH GÓRNICZYCH

S t r e s z c z e n i e

W pracy przedstawiono wpływ środowiska górniczego i warunków eksploatacji na trwałość i niezawodność pracy górniczych przewodów oponowych. Wykazano, że trwałość i niezawodność przewodów zależy od ich konstrukcji, zastosowanych materiałów i warunków eksploatacyjnych.

Metodę oceny użytkowania (trwałości) giętkich przewodów oponowych górniczych przedstawiono w postaci grafu niezawodności eksploatacyjnej. Omó-

wiono możliwości stosowania diagnostyki technicznej w zakresie diagnozowania, genezowania i programowania parametrów eksploatacyjnych przewodów oponowych w warunkach ich pracy w kopalni głębinowej. Przeprowadzono analizę i identyfikację parametrów przewodów z uwzględnieniem stosowanych w kopalniach środków ochrony sieci i układów sterowania maszyn górniczych. Podano wyniki badań laboratoryjnych wpływu temperatury i czasu starzenia na parametry wytrzymałościowe gum oponowych oraz izolacyjnej.

Stwierdzono konieczność prowadzenia dalszych badań w celu doboru optymalnych parametrów materiałów z uwzględnieniem nowych materiałów syntetycznych.

SOME PROBLEMS CONNECTED WITH THE LIFE OF MINING CONDUCTORS

S u m m a r y

The paper presents the influence of the mining environment and of conditions of exploitation on the life and reliability of conductors. It has been proved that the life and reliability of hoses depends on their construction, used materials and conditions of exploitation.

A method for estimating the life of conductors is presented in the form of a diagram of exploitational reliability. Possibilities of using technical diagnosis in the domain of diagnosing and programming exploitational parameters of conductors in the conditions of their operation in deep mines. An analysis and identification of parameters of conductors were carried out. The analysis took into account means of protection of networks and steering systems of mining machinery. The results of laboratory tests of the influence of temperature and time on the strength parameters of insulating rubbers are given. It has been stated that there is a need for further research to chose optimum parameters of materials especially of new synthetic ones.