

УДК 620.179.16

## ДЕФЕКТОСКОПИЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

***В. И. ПУДОВ, А. С. СОБОЛЕВ***

НИУ «Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН»

Екатеринбург, Россия

UDC 620.179.16

## DEFECTSOSCOPY OF STEEL CANANTS

***V. I. PUDOV, A. S. SOBOLEV***

### **Аннотация**

Рассмотрена возможность оптимизации настроечных параметров магнитного дефектоскопа, предназначенного для контроля стальных канатов, с помощью имитационных образцов, соответствующих 10, 15, 20 и 25% износу канатов.

### **Ключевые слова:**

контроль канатов, ферромагнитные имитаторы, настройка.

### **Abstract**

The possibility of optimizing the tuning parameters of a magnetic flaw detector intended for controlling steel ropes is considered using imitators samples corresponding to 10, 15, 20 and 25% rope wear.

### **Key words:**

rope control, ferromagnetic imitators, tuning, flaw detector.

Стальные канаты и тросы подвержены многократным статическим и динамическим нагрузкам. Наиболее перспективное направление их контроля связано с магнитным методом. Например, с разработкой образцов, имитирующих разную степень износа канатов. Такой износ обеспечивается изменением площади поперечного сечения образцов. В частности, при поверке магнитных дефектоскопов «Интрос» используют образцы ИК-МДК в виде набора из стальных калиброванных проволок с разной площадью поперечного сечения [1]. Они изготовлены из материала соответствующего материалу и типоразмерам конкретных канатов.

Однако такие образцы исследуются в статическом состоянии и не соответствуют в полной мере изменениям свойств материала канатов в условиях эксплуатации.

Предлагаемое в работе решение связано с разработкой комплектов имитационных образцов в виде стандартных образцов (СО), полученных термообработкой их материала по специальному режиму. СО предназначены для настройки и поверки магнитных дефектоскопов типа УДК-3, используемые для контроля износа стальных круглых, плоских и резинотросовых канатов.

В УДК-3 намагничивание стальных образцов осуществляется в катушке его датчика переменным магнитным полем частотой 200 Гц и раз-

ной амплитудой (например, 50 А/м для плоских и резинотросовых канатов, 160 А/м для круглых стальных канатов). Их магнитное поле рассеяния, воздействуя на измерительную катушку датчика, формирует магнитный поток ( $\Phi = \Phi_a \sin(2\pi f_a t)$ , где  $\Phi_a$  и  $f_a$  – соответственно, амплитуда и частота переменного магнитного потока;  $t$  – текущее время), который индуцирует регистрируемую ЭДС ( $\varepsilon = -d\Phi/dt$ ), передаваемую на индикаторную шкалу, показывающую износ образца в процентах. Например, для СО амплитуда  $\Phi_a$  зависит от параметров образца и переменного магнитного поля ( $\Phi_a \sim \mu_0 \mu_a H_a S$ , где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $\mu_a$  – амплитудная магнитная проницаемость образца;  $H_a$  – амплитуда напряженности переменного магнитного поля;  $S$  – площадь поперечного сечения образца).

Разработка СО с существенно меньшими  $\mu_a$  по сравнению с аналогичными для контролируемых канатов  $\mu_a^k$  значительно повышает требования к характеристикам дефектоскопов, которые после настройки по этим образцам приобретут значительный запас по чувствительности и более стабильный режим работы. Например, используемые для канатов стали 6Х19, 6Х30, 18Х19 имеют разброс по  $\mu_a^k$  в интервале 30–60 ед. [2]. В этом случае можно ограничиться применением СО с  $\mu_a$  на уровне 20 ед. СИ, в результате создается запас по чувствительности не менее чем в 1,5 раз, что в последующем позволяет практически исключить зависимость результатов контроля от сложных условий эксплуатации и влияния магнитных свойств применяемых сталей.

Для СО выбрана инструментальная сталь марки У8. В образцах использовали прутки, для которых  $\mu_a$  составляла 40–45 ед. СИ. Они имели диаметры 1 и 5 мм, а длину – 1200 мм, которая превышала в 3–4 раза линейные размеры рабочего объема датчиков УДК-3, что позволило исключить влияния краевых эффектов. При термообработке прутков по специальному режиму их  $\mu_a$  была уменьшена примерно в 2 раза.

Исследование магнитных характеристик прутков проводили на базе установки УВТ 82-А-93 (аттестационное свидетельство №58-06/262 от 10.07.2006 г.) и разработанного устройства со специальной магнитной системой, имитирующего режим работы дефектоскопа. Оно состояло из соленоида 40x740 мм. Расчет его постоянной показал значение  $k_c = 790$  1/м.

Через соленоид пропускали от генератора тока, с последующим усилением, переменный ток с частотой 200 Гц, который формировал воздействующее на прутки магнитное поле амплитудой 50 и 160 А/м. В результате воздействия магнитного поля прутков на измерительную обмотку, в ней формировался магнитный поток, который индуцировал регистрируемую ЭДС, соответствующую изменению потока от потери суммарной площади поперечного сечения прутков (то есть от их износа).

Для создания СО отбирали прутки с многократным измерением микрометром их диаметров ( $d$ ) и определением средних значений  $d_c$ , а также определением среднего значения площади поперечного сечения прутка

$$S_c = \pi \cdot (d_c^2) / 4 = \pi \cdot (\sum_i^n \sum_j^m d_{ij})^2 / 4, \quad (1)$$

где  $d_{ij}$  –  $i$ -ое значение диаметра в  $j$ -ом месте прутка;  $n, m$  – соответственно, число измерений диаметра в данном месте прутка и количество мест измерений по длине прутка ( $n, m$  должно быть не менее 3).

При разных значениях ЭДС, измеряли вольтметром эффективное напряжение ( $U_3$ ) на измерительной обмотке и оценивали  $\mu_a$  прутка

$$\mu_a = \frac{U_3}{\mu_0 S_c dH/dt}, \quad (2)$$

где  $H$  – напряженность переменного магнитного поля, формируемого прутком.

В результате было отобрано более 100 прутков с  $\mu_a$  от 19 до 21 ед. СИ. Из них сформировали 5 образцов в виде пучков. Образцы имитировали круглые канаты без износа сечения (0 %) и 10 %, 15 %, 20 % и 25 % износ.

Площади среднего сечения пучков образца  $S_c^0$  определяли по формуле

$$S_c^0 = N \cdot S_c, \quad (3)$$

где  $N$  – число прутков в пучке.

Для этих 5 образцов определены  $U_3$  при двух амплитудах переменного магнитного поля  $H_a=50$  и  $160$  А/м. В результате были получены СО для трех типов стальных канатов.

В табл. 1 приведены данные о комплектах СО для круглых, плоских и резиновых стальных канатов. Из неё видно, что, комбинируя прутки по их числу и диаметру можно получить необходимые площади поперечного сечения СО отражающих износ всех трех типов канатов.

При исследовании уже СО из пучка прутков определение амплитуды переменного магнитного поля  $H_a^c$  производили по формуле

$$H_a^c = k_c \cdot I = k_c \cdot [(2^{1/2} U_3^c / 1,111) / R], \quad (4)$$

где  $I$  – ток в намагничивающей обмотке;  $R$  – величина сопротивления магазина Р4830/1 ( $R=10$  Ом);  $U_3^c$  – измеряемое вольтметром напряжение на клеммах магазина Р4830/1; 1,111 – коэффициент пересчета  $U_3^c$  в среднее напряжение  $U_c$ ).

Табл. 1. Комплекты СО для круглых, плоских и резинотросовых стальных канатов

Тип канатов	Обозначение комплектов СО	Число прутков в СО		Σ площадь поперечного сечения СО, мм <sup>2</sup>	Уменьшение сечения СО (имитация износа), %
		d = 5мм	d = 1мм		
Круглые	МП1-1	20	-	392,8	1,000
	МП1-2	18	1	354,2	0,902
	МП1-3	17	1	334,6	0,852
	МП1-4	16	1	315,0	0,802
	МП1-5	15	-	294,5	0,750
Плоские	МП2-1	38	-	746,1	1,000
	МП2-2	34	-	667,6	0,895
	МП2-3	32	-	628,3	0,842
	МП2-4	30	-	589,1	0,790
	МП2-5	28	-	559,6	0,736
Резинотросовые	МП3-1	52	-	1021,0	1,000
	МП3-2	47	-	922,8	0,904
	МП3-3	44	-	863,9	0,846
	МП3-4	42	-	824,7	0,808
	МП3-5	39	-	765,7	0,750

Для каждой амплитуды  $H_a^c$  (4) определяли по 10 наблюдениям среднюю величину амплитуды переменного магнитного потока  $\Phi_a^c$  [3]

$$\Phi_a^c = U_3^c / 4,444 \cdot W_2 \cdot f, \quad (5)$$

где  $W_2$  – число витков измерительной катушки;  $f$  – частота переменного намагничивающего магнитного поля.

С другой стороны из (2) следует, что  $U_3^c$  связано с площадью поперечного сечения образца. Тогда согласно (5) и (2) отношение амплитуд  $\Phi_a^{c*}$  переменных магнитных потоков для образцов с уменьшенным поперечным сечением  $S_c^{o*}$  к амплитуде  $\Phi_a^c$  образца с исходным сечением  $S_c^o$  может быть записано в виде

$$\Phi_a^{c*} / \Phi_a^c = U_3^{c*} / U_3^c, \sim S_c^{o*} / S_c^o, \quad (6)$$

где  $U_3^{c*}$ ,  $U_3^c$  – эффективные напряжения, соответственно, для образцов с уменьшенным  $S_c^{o*}$  и исходным  $S_c^o$  поперечными сечениями.

В табл. 2. приведены результаты исследований комплектов СО. Видно что отношение амплитуд переменных магнитных потоков для СО с износом к амплитуде исходных СО без износа, находится в пропорциональной зависимости с отношением исправленных средних значений напряжений  $U_3^{c**} / U_3^c$ , связанных с площадями сечений СО.

Табл. 2. Физические параметры комплектов СО

Обозначение комплектов СО	Средние значения параметров намагничивающего поля				Средние значения $U_3^{c**}$ , мВ	Амплитуда магнитного потока $\Phi_a^c$ , мкВб	Отношения амплитуд СО $\Phi_a^{c*}/\Phi_a^c$ от. ед.
	160 А/м		50 А/м				
	$H_a^c$ , А/м	f, Гц	$H_a^c$ , А/м	f, Гц			
МП 1-1	160,2	200,2	-	-	68,8	77,5	1,0
МП 1-2	160,0	199,8	-	-	61,7	69,5	0,897
МП 1-3	159,8	200,0	-	-	58,5	66,0	0,851
МП 1-4	160,1	200,3	-	-	54,7	61,6	0,795
МП 1-5	159,9	200,0	-	-	51,2	57,7	0,744
МП 2-1	-	-	50,2	199,9	40,3	45,3	1,0
МП 2-2	-	-	50,3	200,2	35,8	40,2	0,889
МП 2-3	-	-	49,9	200,0	33,7	37,9	0,837
МП 2-4	-	-	50,0	198,8	31,8	35,6	0,788
МП 2-5	-	-	50,1	200,1	29,8	33,4	0,739
МП 3-1	-	-	49,8	200,1	55,1	62,0	1,0
МП 3-2	-	-	50,1	200,0	49,6	55,8	0,900
МП 3-3	-	-	50,0	200,2	46,6	52,4	0,845
МП 3-4	-	-	50,2	200,1	44,5	50,0	0,807
МП 3-5	-	-	49,9	199,8	41,4	46,6	0,751

\*Исправленные значения  $U_3^{c**}$  получены введением вышеприведенных поправок СО МП-1 для круглых канатов; СО МП-2 для плоских канатов; СО МП-3 для резинотросовых канатов.

Исправленные значения  $U_3^{c**}$  получены введением 2-х поправок. Первая поправка со знаком минус обусловлена меньшим единицы коэффициентом заполнения СО с поперечным сечением  $S_c^o$  площади внутреннего поперечного сечения соленоида ( $S_c^B$ ) намагничивающей системы и оценивается по формуле

$$\Delta U_1 = -U_3^c \cdot (1 - (S_c^o / S_c^B)). \quad (7)$$

Из (6) следует, что с уменьшением  $S_c^o$  поправка по абсолютному значению возрастает.

Вторая поправка обусловлена уменьшением коэффициента размагничивания при снижении площади ( $S_c^o$ ) СО при его одинаковой длине, определяемой длиной соленоида ( $l_s$ ). Она представлена в виде

$$\Delta U_2 = -(1 - K) \cdot U_3^c, \quad (8)$$

где  $K$  – поправочный коэффициент, зависящий от  $\lambda = l_s/2(S_c^o/\pi)^{1/2}$  [4–6].

Зависимость поправочного коэффициента ( $K$ ) от  $\lambda$  приведена на рис.1.

Из рис. 1 видно, что с ростом  $\lambda$ , то есть при уменьшении  $S_c^o$ ,  $K$  отклоняется от единицы в меньшую сторону. Это приводит к завышению  $U_3^{c**}$  по отношению значению  $U_3^c$  для исходного (не уменьшенного) значения  $S_c^o$ . Поэтому согласно (8) эта поправка вводится со знаком минус.

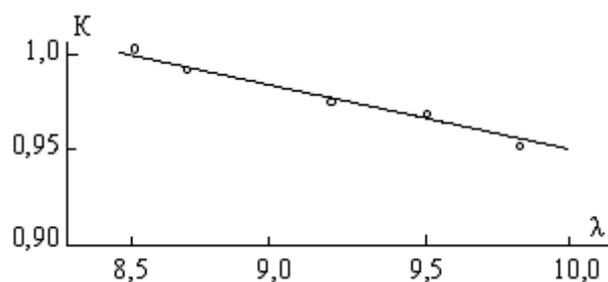


Рис. 1. Зависимость поправочного коэффициента  $K$  от параметра  $\lambda$

Эффективность применения разработанных комплектов стандартных образцов была подтверждена испытанием дефектоскопов УДК-3 в практических условиях эксплуатации канатов в составе шахтного оборудования [7–9].

Таким образом, магнитный контроль износа стальных канатов посредством дефектоскопов типа УДК-3, калиброванных с помощью разработанных СО существенно повышает возможности магнитного метода дефектоскопии при контроле стальных канатов.

Работа выполнена по бюджетной теме «Диагностика», №01201463329.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов подъемных сооружений. – М. : Изд. СП «Интрон Плюс», 2000. – 19 с.
2. Марочник сталей и сплавов / Под ред.. В. Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
3. **Чечерников, В. И.** Магнитные измерения / В. И. Чечерников. – М. : Изд. МГУ, 1963. – 285 с.
4. **Янус, Р. И.** Магнитная дефектоскопия / Р. И. Янус. – М.-Л. : ОГИЗ Гостехиздат, 1946. – 171 с.
5. **Соболев, А. С.** О возможности оптимизации настроечных параметров магнитных дефектоскопов / А. С. Соболев, В. И. Пудов, В. П. Малюк // Дефектоскопия. – 2009. – № 12. – С. 83–87.
6. **Пудов, В. И.** Измерение физических параметров образцов-имитаторов / В. И. Пудов, А. С. Соболев, С. В. Воронина // Измерительная техника. – 2010. – № 5. – С. 54–57.
7. **Пат. № 96979 РФ, МПК8 G01N 27/82.** Устройство для калибровки магнитных дефектоскопов / В. И. Пудов, А. С. Соболев ; заявитель и патентообладатель ИФМ УРО РАН. – Бюл. изобр. №23. – 2 с.
8. **Пат. №2455635 РФ, МПК8 G01N 27/82.** Способ изготовления имитаторов потери сечения стальных канатов / В. И. Пудов, А. С. Соболев ; заявитель и патентообладатель ИФМ УРО РАН. – Бюл. изобр. №19. – 2 с.
9. **Соболев, А. С.** Повышение эффективности магнитного контроля стальных шахтных канатов / А. С. Соболев, В. И. Пудов // Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций : тез. докл. VIII Российской науч.-техн. конф. 2014. – Екатеринбург : ООО Издательство УМЦ УПИ, 2014. – 202 с.

E-mail: pudov@imp.uran.ru