

## ОРГАНІЗАЦІЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УТРИМУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Запропоновано математичну модель визначення залишкового ресурсу ізоляції тягових електричних машин локомотивів з урахуванням її початкової якості та мінімальних витрат на виконання відновлювальних робіт з метою побудови раціональної системи її утримування.

Предложена математическая модель определения остаточного ресурса изоляции тяговых электрических машин локомотивов с учетом ее начальной электрической прочности и минимальных затрат на выполнение восстановительных работ с целью построения рациональной системы ее содержания.

The mathematical model for determination of remaining resource of insulation of the locomotive hauling electric machines, taking into account its initial electric durability and minimum expenses on implementation of restoration works with the purpose of construction of the rational system of its maintenance, is offered.

До числа факторів, що визначають техніко-економічну ефективність та експлуатаційну надійність тягових електродвигунів локомотивів, входять показники властивостей ізоляції, які, в свою чергу, залежать від властивостей матеріалів, з яких виготовлена ізоляційна конструкція, рівня технологічного забезпечення, виконавчої дисципліни та якості контролю як під час виготовлення, так і в процесі експлуатації.

Щоб визначитись із якістю відновлювальних робіт по ізоляційній конструкції під час виконання капітальних ремонтів ТЕД, протягом десяти років проводились спостереження за групами ТЕД НБ-406, які встановлені на електровозах серії ВЛ8 депо Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці. Зокрема проводилися заміри зворотної напруги  $U_{зв}$  [1, 2] ізоляції ТЕД НБ-406, що проходили капітальний ремонт (КР1) на Львівському локомотиворемонтному заводі (ЛЛРЗ), Запорізькому електровозоремонтному заводі (ЗЕРЗ) та Смілянському електромеханічному ремонтному заводі (СемРЗ) та в процесі експлуатації (рис. 1).

Якість ізоляції ТЕД НБ-406 після ремонту та в процесі експлуатації оцінювалась величиною  $U_{зв}$ , математична модель якої має наступний вигляд:

$$U_{зв}(l) = U_{зв}(0) \cdot e^{-bl}, \quad (1)$$

де  $l$  – пробіг (за одиницю напрацювання в подальшому для розрахунків приймаємо 100 тис. км).

Відновлення якості ізоляції можливе в умовах локомотивного депо під час виконання ПРЗ

та в умовах локомотиворемонтного заводу при КР1, КР2.

Якщо відновлення властивостей ізоляції буде здійснюватися під час виконання ПРЗ з періодом по напрацюванню  $x = 330000$  км [3], то  $U_{зв}$  будемо описувати математичною залежністю наступного вигляду:

$$U_{зв}(l/x) = U_{зв}(0) \cdot e^{-b(l-\gamma x \left[ \frac{l}{x} \right])}, \quad (2)$$

де  $\left[ \frac{l}{x} \right]$  – ціла частина від  $(l/x)$ ;

$\gamma$  – характеристика рівня відновлення ізоляції під час виконання ПРЗ.

В подальшому вважаємо, що відлік напрацювання  $l$  починається від ремонту КР1.

Характеристика параметрів моделі  $U_{зв}$  в процесі експлуатації з урахуванням початкової якості ізоляції, тобто якості ремонту ТЕД НБ-406 локомотиворемонтними заводами наведена в табл. 1, де параметр  $a$  визначався із виразу:

$$a = \frac{\ln(U_{зв}/U_{зв}(0))}{-b}.$$

Значення цього параметру дозволяє визначити напрацювання  $l_{від}$ , коли  $U_{зв}(l/x) = U_{зв}$ , при періоді напрацювання  $x$  між деповськими відновленнями ізоляції.

З врахуванням (2)  $l_{від}$  визначається як рішення рівняння

$$l - \gamma \cdot x \cdot \left[ \frac{l}{x} \right] = a. \quad (3)$$

$$\left( \begin{matrix} -I_{\text{від}}(x) \\ Z(x) \end{matrix} \right) \rightarrow \min \quad (4)$$

Так, при фіксованій періодичності, коли  $x = 330\,000$  км, значення  $l_{\text{від}}$  по заводах складало (табл. 2).

Тепер і виникає задача визначення такої періодичності деповського ремонту, щоб напрацювання на відмову було, по можливості, найбільшим, а витрата коштів на виконання відновлень – найменшою, тобто приходимо до задачі векторної оптимізації [4]:

за умови  $l \leq x \leq a$ , де  $l$  – мінімально допустимий пробіг до виконання робіт по відновленню ізоляції в умовах депо. Обмежимося пробігом між відновленнями не менше ніж 1000 км.

Рішення задачі (4) визначення раціональної системи утримування ізоляції ТЕД виконувалось з використанням математичного пакету MAPLE 7.

Результати моделювання представлені у вигляді табл. 3, 4, 5.

Таблиця 1

Завод	$U_{\text{зв}}, \text{В}$	$\gamma$	$b$	$a$	$C_{(\text{ПРЗ})}, \text{грн}$	$C_{(\text{КР1})}, \text{грн}$
ЛЛРЗ	955	0,4	0,4	5,64	2400	4650
ЗЕРЗ	1100	0,55	0,35	6,851	2400	5160
СемРЗ	1269,5	0,49	0,37	6,844	2400	6240

Таблиця 2

Завод, де виконувалося відновлення ізоляції	Напрацювання до відмови $l_{\text{від}} \times 10^5, \text{км}$	Витрати коштів на відновлення $Z(\text{ПРЗ}), \text{грн}$	Витрати коштів $Z(\text{ПРЗ}) + C_{\text{КР1}}, \text{грн}$	Питомі витрати, коп/км
ЛЛРЗ	8,28	4800	9650	1,165
ЗЕРЗ	12,29	7200	12360	1,005
СемРЗ	11,74	7200	13440	1,149

Таблиця 3

### Результати розрахунків періодичностей виконання деповського ремонту для ТЕД НБ-406, ЛЛРЗ

Періодичність виконання деповського ремонту $x \times 10^5, \text{км}$	Напрацювання до відмови $l_{\text{від}} \times 10^5, \text{км}$	Кількість деповських ремонтів $n$	Витрати на відновлення ізоляції $Z, \text{грн}$	Питомі витрати на відновлення ізоляції $z, \text{коп/км}$
0,101	9,358	92	225450	24,091
0,201	9,339	46	115050	12,318
0,301	9,253	30	76650	8,283
0,501	9,243	18	47850	5,173
0,801	9,165	11	31050	3,387
1,201	9,004	7	21450	2,382
1,401	9,003	6	19050	2,115
1,601	8,844	5	16650	1,882
2,000	8,842	4	14250	1,611
2,501	8,645	3	11850	1,371
3,501	8,442	2	9450	1,119
5,602	7,888	1	7050	0,894

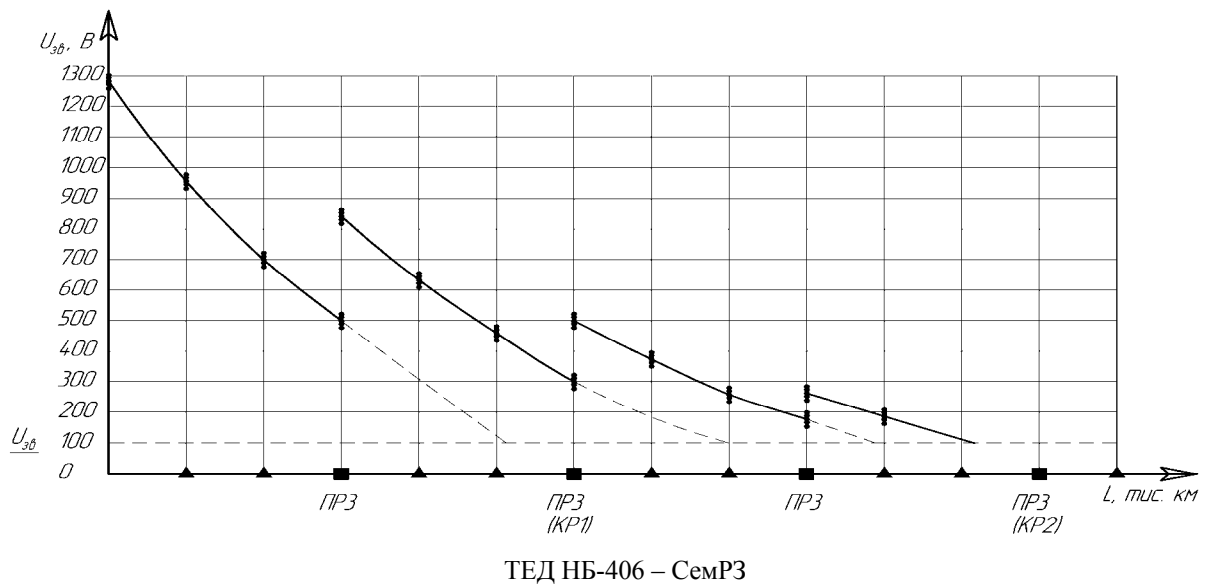
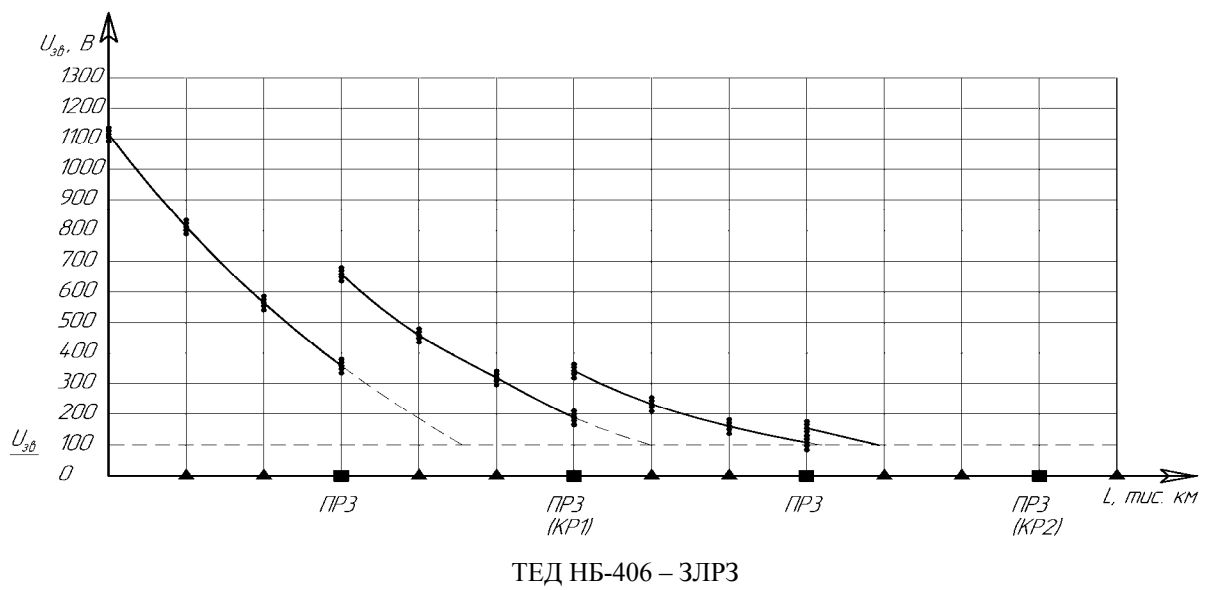
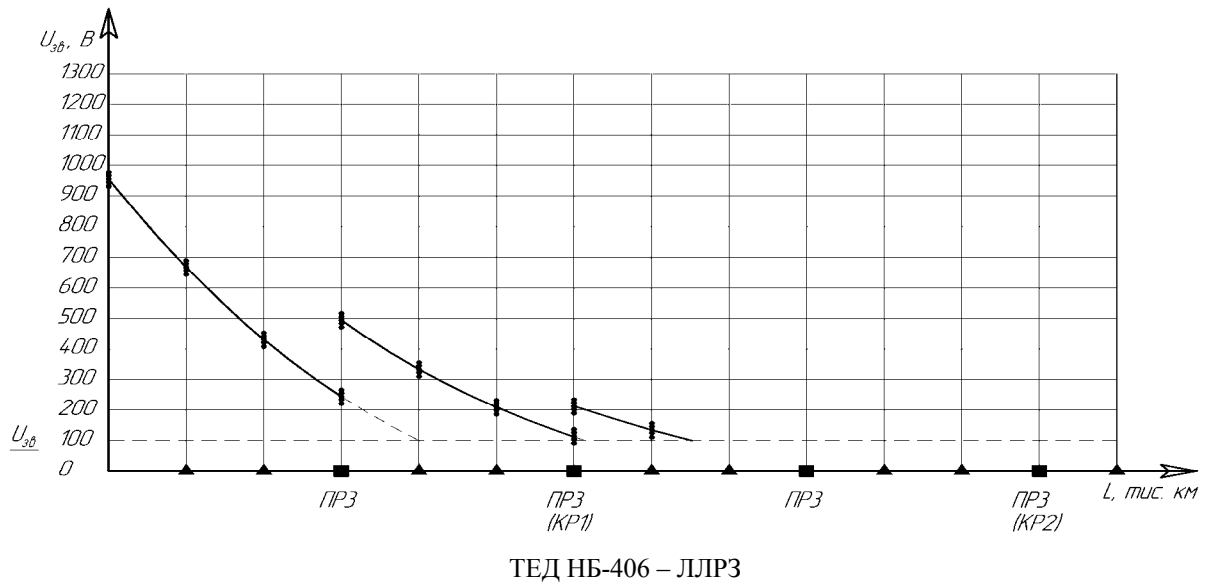


Рис. 1. Залежність величини пробігу ТЕД  $L$  від початкової якості ізоляції  $U_{30}$

Таблиця 4

## Результати розрахунків періодичностей виконання деповського ремонту для ТЕД НБ-406, ЗЕРЗ

Періодичність виконання деповського ремонту, $x \times 10^5$ , км	Напрацювання до відмови, $l_{\text{від}} \times 10^5$ , км	Кількість деповських ремонтів, $n$	Витрати на відновлення ізоляції, $Z$ , грн	Питомі витрати на відновлення ізоляції, $z$ , коп/км
0,11	15,13	137	333960	22,058
0,21	15,05	71	175560	11,663
0,31	15,03	48	120360	8,005
0,41	14,74	35	89160	6,047
0,51	14,71	28	72360	4,920
0,71	14,66	20	53160	3,625
1,01	14,62	14	38760	2,649
1,71	14,37	8	24360	1,694
1,81	13,81	7	21960	1,589
3,11	13,69	4	14760	1,077
3,51	12,64	3	12360	0,977
4,71	12,03	2	9960	0,827
6,81	10,59	1	7560	0,713

Таблиця 5

## Результати розрахунків періодичностей виконання деповського ремонту для ТЕД НБ-406, СемРЗ

Періодичність виконання деповського ремонту, $x \times 10^5$ , км	Напрацювання до відмови, $l_{\text{від}} \times 10^5$ , км	Кількість деповських ремонтів, $n$	Витрати на відновлення ізоляції, $Z$ , грн	Питомі витрати на відновлення ізоляції, $z$ , коп/км
0,11	13,53	123	301440	22,276
0,21	13,48	64	159840	11,850
0,41	13,32	32	83040	6,229
0,81	13,25	16	44640	3,368
1,61	13,21	8	25440	1,925
1,91	12,51	6	20640	1,650
2,21	12,30	5	18240	1,482
2,71	12,21	4	15840	1,298
3,31	11,75	3	13440	1,143
4,51	11,30	2	11040	0,976
6,81	10,21	1	8640	0,846

Аналізуючи отримані результати, вибираємо періодичність відновлення ізоляції при обмеженнях (4) і представимо у вигляді табл. 6.

Таким чином, запропонована методика визначення залишкового ресурсу ізоляції тягових електричних машин локомотивів з урахуванням

початкової її якості та питомих витратах на відновлення дає можливість замовнику (локомотивному депо) вибирати виконавця (локомотиворемонтний завод) для проведення відновлювальних робіт.

Запропонована періодичність відновлення властивостей ізоляції ТЕД НБ-406

Завод, де виконувався КР1	Періодичність виконання деповського ремонту $x \times 10^5$ , км	Напрацювання до відмови $l_{\text{від}} \times 10^5$ , км	Питомі витрати на відновлення ізоляції $z$ , коп/км
ЛЛРЗ	3,501	8,442	1,119
ЗЕРЗ	3,51	12,64	0,977
СмеРЗ	4,51	11,30	0,976

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боднар, Б. Є. Сучасні методи контролю поточного стану ізоляції тягових електричних машин локомотивів [Текст] / Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, В. М. Ляшук // Залізнич. трансп. України. – 2006. – № 2. – С. 22-26.
2. Капіца, М. І. Як відмовитись від передчасного руйнування ізоляції тягових електричних машин локомотивів під час проведення випробувань [Текст] / М. І. Капіца, В. М. Ляшук, Д. В. Бобир // Зб. наук. пр. Київського ун-ту економіки і технологій трансп. Мінтрансв'язку України: Сер. «Трансп. системи і технології». – Вип. 9. – К.: КУЕТТ, 2006. – С. 69-77.
3. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів. № ЦТ-0063 [Текст] : Наказ Міністерства транспорту України від 27.02.2003 №53-Ц
4. Босов, А. А. Векторная оптимизация функций множества [Текст] / А. А. Босов, М. И. Капица // Наук. пр. Донецького нац. техн. ун-ту. – 2002. – Вип. 48. – С. 173-179.

Надійшла до редколегії 02.12.2009.  
Прийнята до друку 21.12.2009.