

УДК 621.331

В. Г. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук, доцент

Кафедра «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский университет железнодорожного транспорта им. ак. В. Лазаряна, г. Днепропетровск, Украина

E-mail: vkuz@i.ua

МОДЕЛЬ ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПРОВОДОВ ДЛЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ

В статье проведено построение модели среднего износа контактных проводов для непрямых методов контроля потерь электроэнергии в тяговых сетях магистральных железных дорог.

У статті проведена побудова моделі середнього зносу контактних дрітів для непрямих методів контролю втрат електроенергії в тягових мережах магистральних залізниць.

Введение

Уменьшение потерь электроэнергии во всех элементах систем тягового электроснабжения (СТЭ) – важная государственная задача. Тяговые сети железнодорожного имеют подвижную нагрузку – электроподвижной состав. Такая специфика приводит к невозможности точного расчёта потерь электроэнергии. Существуют косвенные методы определения потерь электроэнергии в тяговой сети, основанные на использовании счетчиков потерь. Такие счетчики измеряют квадрат тока в контактной сети, который пропорционален потерям электроэнергии. На потери электроэнергии в контактной сети влияет ряд факторов: схема питания межподстанционной зоны, количество поездов, износ контактных проводов, температура окружающей среды, скорость и ток электроподвижного состава. Для учёта износа контактных проводов в процессе определения потерь с помощью непрямых методов целесообразно построить регрессионные зависимости, по которым можно было бы определить прогнозируемое значение среднего износа контактного провода.

Цель статьи. Построить модель среднего износа контактных проводов для непрямых методов контроля потерь электроэнергии в тяговых сетях магистральных железных дорог.

Постановка проблемы

Износ контактных проводов является случайной функцией числа проходов пантографов электроподвижного состава, так как существенно зависит от потребляемого тока, условий токосъема и других, случайных по своей природе факторов. Износ контактных проводов в процессе эксплуатации приводит к изменению их сопротивления. Этот факт нужно учитывать при организации контроля за потерями электроэнергии в тяговых сетях на основе непрямых методов.

Анализ литературных источников

Измерение износа контактных проводов производится на железных дорогах Украины в соответствии с [1]. По результатам измерений вычисляют средний износ контактного провода. Данный показатель является важной характеристикой для оценки срока службы контактных проводов. Многие учёные занимались проблемами моделирования работы контактной сети. В [2] приводятся модели контактной сети, основанные на представлении процессов деградации в виде случайных процессов.

Такие модели имеют следующий вид:

$$\eta(p) = f(p) + \xi(p) \quad (1)$$

где p – количество проходов токоприёмников;

$f(p)$ – неслучайная составляющая среднего износа (математическое ожидание);

$\xi(p)$ – случайная составляющая среднего износа.

Неслучайная составляющая может быть описана многочленом, который является отрезком ряда Тейлора, приближенно описывающим эту неизвестную функцию:

$$f(p) = \alpha_0 + \alpha_1 p + \alpha_2 p^2 + \dots + \alpha_r p^r = \sum_j^r \alpha_j p^j \quad (2)$$

Случайный процесс (1) является нестационарным, так как математическое ожидание $f(p)$ и дисперсия $D[\xi] = \delta^2 p$ непрерывно возрастают.

Необходимость в замене контактного провода возникает при достижении некоторого, наперед заданного значения среднего износа. Задача прогнозирования в этом случае сводится к задаче о достижении границы нестационарным процессом (1), где границей является критическая величина среднего износа.

Непрямые методы контроля потерь электроэнергии в тяговых сетях железнодорожного транспорта развиты в работах [3, 4]. В [5, 6] предложены научные основы усовершенствованного непрямого метода контроля потерь электроэнергии в тяговой сети с учётом дополнительных факторов. Экспериментальная проверка полученных результатов показала, что предложенный усовершенствованный косвенный метод уменьшает погрешность определения потерь электроэнергии на 6,9 % по сравнению с расчетом по действующей методике.

Изложение основного материала

Для построения модели износа контактного провода проведём анализ износа контактного провода на одном из электрифицированных участков Приднепровской железной дороги. Исходными данными для анализа послужили книги состояния контактного провода районов контактной сети. Сводная информация по замерам оставшейся высоты контактного провода приведена в табл. 1 и табл. 2. для 18-ти анкерных участков (АУ). На рассматриваемом участке применяется контактная подвеска типа М-120+МФ-150+МФ-100. Буквой «л» обозначен левый провод МФ-150, соответственно буквой «п» обозначен правый провод МФ-100. Измерения остаточной высоты контактного провода проводились согласно [1].

Таблица 1

Остаточная высота контактного провода на анкерных участках исследуемого перегона в чётном направлении

АУ	2001 г.		2002 г.		2003 г.		2004 г.		2008 г.		2010 г.		2012 г.	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
2	12,25	11,23	12,09	11,12	11,9	10,9	11,75	10,72	11,43	10,48	11,04	10,26	10,63	10,03
4	12,36	11,04	12,17	10,83	12,06	10,7	11,94	10,51	11,78	10,35	11,37	10,17	11,15	10,01
6	12,7	11,21	12,57	11,11	12,44	11,03	12,31	10,88	12,17	10,61	11,96	10,39	11,78	10,19
8	12,69	11,32	12,49	11,19	12,3	11,07	12,16	10,95	12,01	10,72	11,84	10,58	11,62	10,37
10	12,78	11,13	12,67	11,05	12,54	10,94	12,42	10,83	12,28	10,65	12,07	10,48	11,91	10,31
12	12,4	11,11	12,15	11,01	12,02	10,94	11,89	10,83	11,67	10,72	11,51	10,57	11,29	10,42
14	12,28	11	12,13	10,92	12,05	10,8	11,93	10,69	11,81	10,54	11,59	10,4	11,43	10,27
16	12,74	10,91	12,63	10,84	12,55	10,73	12,44	10,64	12,31	10,48	12,14	10,32	11,98	10,19
18	13	11,04	12,83	10,91	12,74	10,82	12,67	10,74	12,52	10,61	12,41	10,49	12,29	10,33

По исходным замерам из табл.1. и табл. 2. получаем данные по среднему износу контактного провода. (табл. 3 и табл. 4)

Таблица 2

Остаточная высота контактного провода на анкерных участках исследуемого перегона
в нечётном направлении

АУ	2003 г.		2004 г.		2005 г.		2007 г.		2012 г.	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
1	13,7	11,44	13,5	11,09	13,18	10,97	12,9	10,89	12,72	10,6
3	13,53	11,78	12,97	11,23	12,3	10,53	12,21	10,16	12,09	10,06
5	12,86	11,3	12,81	11,21	12,73	11,03	12,51	10,82	12,02	10,66
7	12,55	11,08	12,44	10,97	12,21	10,71	11,89	10,56	11,89	10,12
9	12,59	11	12,23	10,93	12,06	10,72	11,82	10,54	11,4	10,02
11	12,71	11,13	12,54	10,77	12,26	10,55	11,97	10,4	11,39	10,09
13	13,04	11,22	12,98	11,14	12,76	11,01	12,6	10,88	12,12	10,52
15	12,81	11,13	12,72	11,02	12,63	10,94	12,4	10,76	12,03	10,48
17	12,44	11,04	12,28	10,85	12,19	10,77	12,05	10,59	11,74	10,28

Таблица 3

Средний износ контактных проводов исследуемого участка чётного направления, мм²

АУ	2001 г.		2002 г.		2003 г.		2004 г.		2008 г.		2010 г.		2012 г.	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
2	16,98	2,04	18,76	2,65	20,94	4,02	22,7	5,26	26,59	7,06	31,54	8,85	36,96	10,85
4	16,87	3,13	17,87	4,49	19,1	5,4	20,48	6,83	22,35	8,11	27,34	9,62	31,12	11,03
6	12,27	2,15	13,58	2,71	14,94	3,19	16,33	4,15	17,87	6,07	20,24	7,78	22,35	9,45
8	12,37	1,58	14,41	2,26	16,44	2,95	17,98	3,69	19,67	5,26	21,64	6,29	24,26	7,94
10	11,48	2,6	12,57	3,07	13,89	3,76	15,15	4,49	16,66	5,77	18,99	7,06	20,82	8,44
12	15,36	2,71	18,09	3,31	19,56	3,76	21,06	4,49	23,66	5,26	25,6	6,37	28,34	7,54
14	16,66	3,38	18,31	3,89	19,22	4,69	20,59	5,48	21,99	6,6	24,63	7,7	26,59	8,77
16	11,87	3,95	12,97	4,42	13,79	5,19	14,94	5,84	16,33	7,06	18,2	8,35	20,01	9,45
18	9,39	3,13	10,99	3,95	11,87	4,56	12,57	5,12	14,1	6,07	15,26	6,99	16,55	8,27

Таблица 4

Износ контактных проводов исследуемого участка нечётного направления, мм²

АУ	2003 г.		2004 г.		2005 г.		2007 г.		2012 г.	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
1	3,71	1,03	5,16	2,83	7,78	3,56	10,32	4,08	12,07	6,14
3	4,94	0,01	9,67	2,04	16,44	6,68	17,42	9,71	18,76	10,58
5	10,7	1,68	11,19	2,15	11,97	3,19	14,2	4,56	19,56	5,7
7	13,79	2,89	14,94	3,56	17,42	5,33	21,06	6,44	21,06	10,05
9	13,38	3,38	17,2	3,82	19,1	5,26	21,87	6,6	26,96	10,94
11	12,17	2,6	13,89	4,9	16,87	6,52	20,13	7,7	27,09	10,32
13	9,02	2,09	9,58	2,54	11,67	3,31	13,28	4,15	18,43	6,75
15	11,19	2,6	12,07	3,25	12,97	3,76	15,36	4,97	19,44	7,06
17	14,94	3,13	16,66	4,35	17,64	4,9	19,22	6,22	22,82	8,69

Рассчитаем величину среднего износа контактных проводов за период между измерениями. Результаты расчётов отдельно для каждого из 2-х контактных проводов приведены в табл. 5 и табл. 6.

Таблица 5
Величина среднего износа контактных проводов
за период между измерениями для
чётного направления

АУ	Сред. износ		$\Delta S_{и}$
	$\Delta S_{и\text{лев}}$	$\Delta S_{и\text{прав}}$	
2	19,98	8,81	28,79
4	14,25	7,9	22,15
6	10,08	7,3	17,38
8	11,89	6,36	18,25
10	9,34	5,84	15,18
12	12,98	4,83	17,81
14	9,93	5,39	15,32
16	8,14	5,5	13,64
18	7,16	5,14	12,3

Таблица 6
Величина среднего износа контактных проводов за период
между измерениями для нечётного направления

АУ	ср. износ		$\Delta S_{и}$
	$\Delta S_{и\text{лев}}$	$\Delta S_{и\text{прав}}$	
1	8,36	5,11	13,47
3	13,82	10,57	24,39
5	8,86	4,02	12,88
7	7,27	7,16	14,43
9	13,58	7,56	21,14
11	14,92	7,72	22,64
13	9,41	4,66	14,07
15	8,25	4,46	12,71
17	7,88	5,56	13,44

Характер изменения суммарного износа контактных проводов исследуемого участка прослеживается по табл. 7 и табл. 8.

Таблица 7

Средний износ контактных проводов зоны в чётном направлении

АУ	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2008 г.	2010 г.	2012 г.
2	19,02	21,41	24,96	27,96	33,65	40,39	47,81
4	20	22,36	24,5	27,31	30,46	36,96	42,15
6	14,42	16,29	18,13	20,48	23,94	28,02	31,8
8	13,95	16,67	19,39	21,67	24,93	27,93	32,2
10	14,08	15,64	17,65	19,64	22,43	26,05	29,26
12	18,07	21,4	23,32	25,55	28,92	31,97	35,88
14	20,04	22,2	23,91	26,07	28,59	32,33	35,36
16	15,82	17,39	18,98	20,78	23,39	26,55	29,46
18	12,52	14,94	16,43	17,69	20,17	22,25	24,82
ср. износ	16,27	18,53	20,56	22,72	25,87	29,69	33,55

Таблица 8

Средний износ контактных проводов зоны в нечётном направлении

АУ	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2007 г.	2012 г.
1	4,74	7,99	11,34	14,4	18,21
3	4,95	11,71	23,12	27,13	29,34
5	12,38	13,34	15,16	18,76	25,26
7	16,68	18,5	22,75	27,5	31,11
9	16,76	21,02	24,36	28,47	37,9
11	14,77	18,79	23,39	27,83	37,41
13	11,11	12,12	14,98	17,43	25,18
15	13,79	15,32	16,73	20,33	26,5
17	18,07	21,01	22,54	25,44	31,51
ср. износ	13,04	15,90	19,63	23,31	29,57

Прогнозирование износа осуществим по данным табл. 7 и табл. 8 с помощью регрессионного анализа.

Будем искать регрессионную зависимость в виде линейной регрессии (3).

$$\Delta S(t) = a + b \cdot t, \quad (3)$$

где a и b – коэффициенты линейной регрессии;

t – интервал времени, лет

Для построения регрессии воспользуемся методом средних. Расчёты производились в пакете Mathcad. Коэффициенты регрессии определены методом наименьших квадратов. В результате расчётов было получено выражение (4), которое и представляет модель износа контактного провода для задач контроля потерь электроэнергии в тяговых сетях (для чётного направления).

$$\Delta S(t) = 16,2 + 1,28 \cdot t \quad (4)$$

Рис.1. наглядно отображает изменение среднего износа контактного провода рассматриваемого участка.

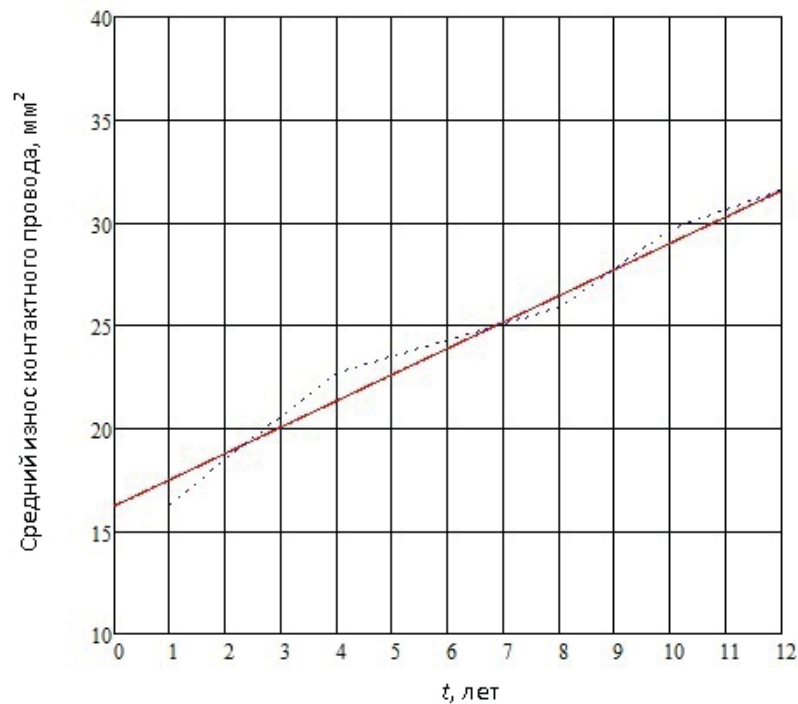


Рис. 1. График изменения среднего износа контактного провода исследуемого участка Приднепровской железной дороги дл: t , лет го направления (пунктиром обозначена экспериментальная кривая, сплошной ли теоретическая, полученная по выражению (4))

Аналогично может быть получено выражение для нечётного направления.

Вид выражения (4) будет зависеть от выбранного электрифицированного участка. По данному регрессионному выражению может быть рассчитан коэффициент износа контактных проводов, который используется для определения коэффициента потерь электроэнергии при организации контроля за потерями электроэнергии с помощью не прямых методов [6]. В [6] коэффициент износа получен без зависимости от времени.

$$k_{из} = \frac{1}{1 - \frac{DS\%}{100}} \tag{5}$$

где $DS\%$ – величина среднего износа контактного провода.

Подставив выражение (4) в выражение (5), получим модель коэффициента износа, позволяющую рассчитать коэффициент износа для любого года эксплуатации контактной подвески на рассматриваемом участке.

$$k_{из}(t) = \frac{1}{1 - \frac{16,2 + 1,28t}{100}} \tag{6}$$

Вывод

Предложенная в данной статье модель износа контактного провода может применяться для организации контроля за потерями электроэнергии в тяговых сетях магистральных железных дорог с помощью не прямых методов. На основании предложенного регрессионного выражения может быть определён коэффициент потерь электроэнергии в любой момент времени.

Литература

1. Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць. ЦЕ-023: Затв.: Наказ Укрзалізниці 20.11.2007 № 546-Ц [Текст] / ЦЕ УЗ.-К.:Укрзалізниця,2008.-208с.
2. Ефимов, А. В. Надёжность и диагностика систем электроснабжения железных дорог [Текст] / А.В. Ефимов, А.Г. Галкин.-М.:УМК МПС России,2000.-512с.

3. Быкадоров, А.Л. Сравнительная оценка косвенных способов измерения потерь энергии в контактной сети переменного тока [Текст] / А.Л. Быкадоров, В.Т. Доманский // Труды Ростовского института инж. ж. д. транспорта. - 1979. - № Вып. 153. - С. 20-27.

4. Доманский, В.Т. Экспериментальное определение потерь энергии в электротяговых сетях постоянного тока [Текст] / В.Т. Доманский, В.Ф. Блохин, Г.А. Доманская // Вестник ВНИИЖТ. - 1990. - № №5. - С. 29-32.

5. Кузнецов, В.Г. Облік втрат електричної енергії в тяговій мережі непрямим способом [Текст] / В.Г. Кузнецов, Д.О. Босий, Т.І. Кирилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. - 2012. - №42. - С. 103-109.

6. Кирилюк, Т. І. Удосконалення методу контролю втрат електроенергії в контактній мережі електрифікованих залізниць [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.22.09 / Кирилюк Тетяна Ігорівна; [ДНУЗТ]. - Д.: 2013. - 22 с.

Кафедра «Електроснабження залізничних доріг», Дніпропетровський університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, г. Дніпропетровськ, Україна E-mail: vkuz@i.ua

МОДЕЛЬ ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПРОВОДОВ ДЛЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ

В. Г. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук, доцент

This article presents a mathematical model of the average wearing of contact wire, which can be used in the tasks of power losses determination in railway traction lines by indirect methods.

Keywords: losses of power, contact line, wearing

Поступила в редакцию 20.07 2013 г