

УДК 621.315.21

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.159.2016.66844>

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА УМОВИ МІНІМАЛЬНОЇ ВАРТОСТІ

Кандидати техн. наук О.І. Акімов, Ю.О. Акімова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ УСЛОВИИ МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ

Кандидаты техн. наук А.И. Акимов, Ю.А. Акимова

DETERMINATION OF THE OPTIMAL MAINTENANCE INTERVALS OF MINIMUM COST CONDITIONS

Cand. of techn. sciences A.I. Akimov, Y.A. Akimova

У статті запропоновано для складних технічних комплексів залізниці, періодичне обслуговування яких вимагає великих економічних витрат, методику визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування (ТО) обладнання за умови мінімальної вартості.

До розрахунку прийнято ту частину експлуатаційних витрат, яка йде на профілактичне обслуговування під час проведення ТО та усунення несправностей у період між ТО.

Ключові слова: визначення, періодичність, технічне обслуговування, мінімальна вартість, методика розрахунку, експлуатація, період між технічними обслуговуваннями, строк проведення, відмова, час виконання, параметр потоку відмов.

В статтє предложена методика определения оптимальной периодичности технического обслуживания оборудования при условии минимальной стоимости.

Ключевые слова: определение, периодичность, техническое обслуживание, минимальная стоимость, методика расчета, эксплуатация, период между техническими обслуживаниями, срок проведения, отказ, время выполнения, параметр потока отказов.

The article offered for complex technical railway, periodic maintenance required large economic costs, method of determining the optimal frequency of maintenance equipment with minimum cost.

The calculation adopted by the portion of operating costs, which comes to preventive maintenance during maintenance and troubleshooting between maintenance.

The cost of maintenance provided analytical dependence by performing maintenance, the cost per element is replaced and the number of items that are replaced during the period between maintenance.

In turn, the time to perform maintenance as expressed through time for maintenance provided equipment uptime, multiplied by the appropriate exponential function.

Thus obtained value maintenance.

Under the scheme proposed analytical expression for the cost of removal of failures between maintenance.

For expression failure flow parameter used by Laplace function.

After finding these components resulting expression for the maintenance of absolute value, and then - for its specific value.

The minimum value of this function will match the optimum size of the period between maintenance.

Keywords: *definition, periodicity, maintenance, minimum cost, method of calculation, period between the maintenance, refusal, run-time, the failure flow parameter.*

Постановка проблеми. Оснащеність технічних комплексів залізниці великою кількістю складного і коштовного обладнання, яке потребує періодичного обслуговування і вимагає великих економічних витрат, ставить актуальним питання про необхідність визначення оптимальної періодичності їх технічного обслуговування (ТО) з урахуванням мінімальних витрат сил та засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дана проблема розглядається у роботах [2, 7, 8]. Однак у цих дослідженнях час, необхідний для проведення ТО, взятий як деяка середня величина. Але у дійсності він залежить від частоти проведення ТО. Причому при вирішенні задачі враховувалися тільки відмови знішення, що обмежує застосування даної методики для розрахунку періодичності ТО.

У роботі [4] також розглядається задача визначення оптимальної періодичності контролю систем керування виробництвом із умови вартості, але в дещо іншому плані. Тут враховується тільки вартість продукції, що випускається.

Для визначення оптимального періоду між черговими ТО обладнання систем електропостачання комплексів залізниці такий підхід неприйнятний.

Мета статті. У зв'язку з викладеним вище виникає необхідність у розробленні методики розрахунку оптимальних строків між черговими ТО з урахуванням мінімальних витрат на експлуатацію обладнання.

Основна частина. При вирішенні цієї задачі до розрахунку приймається тільки та частина експлуатаційних витрат, яка йде на профілактичне обслуговування під час проведення ТО та усунення несправностей у період між ТО. Решта витрат на експлуатацію не враховуються, оскільки

вони не визначаються строками проведення ТО.

Вартість ТО обладнання складається:

– з вартості виконання ТО;

– вартості усунення відмов, що відбувалися в період між ТО, і вартості елементів та вузлів, які замінюються новими у зв'язку із закінченням гарантійного строку або виходу їх з ладу.

Вартість ТО $C_{ТО}$ відповідно до [2] можна зобразити такою залежністю:

$$C_{ТО} = (C_{П}T_{П} + C_{Н}N)m, \quad (1)$$

де $C_{П}$ – вартість виконання ТО, що припадає на одну годину робіт;

$T_{П}$ – час, який витрачається на виконання ТО;

$C_{Н}$ – вартість одного елемента, що замінюється;

N – кількість елементів, які замінюються в період між ТО;

m – кількість ТО за проміжок часу експлуатації обладнання, що розглядається.

Час, необхідний для виконання ТО, можна подати такою залежністю:

$$T_{П} = T_{ПО}e^{\alpha(T_{Р}-T_{О})}, \quad (2)$$

де $T_{ПО}$ – час, необхідний для проведення ТО при тривалості періоду між ТО, що дорівнює середньому часу безвідмовної роботи обладнання;

α – коефіцієнт, що визначає залежність тривалості ТО від величини періоду між ТО;

$T_{Р}$ – тривалість періоду між ТО;

$T_{О}$ – середній час безвідмовної роботи обладнання.

Кількість елементів, що замінюються під час ТО, можна подати такою залежністю:

$$N = N_0 e^{\beta(T_p - T_0)}, \quad (3)$$

де N_0 – кількість елементів, що замінюються під час ТО у випадку тривалості періоду між ТО, що дорівнює середньому часу безвідмовної роботи обладнання;

β – коефіцієнт, що визначає залежність кількості елементів, що замінюються, від тривалості періоду між ТО.

З урахуванням введених позначень, а також вважаючи $m = T_e / T_p$, де T_e – період експлуатації, вартість ТО можна записати в такому вигляді:

$$C_{TO} = \left(C_{II} T_{по} e^{\alpha(T_p - T_0)} + C_H N_0 e^{\beta(T_p - T_0)} \right) \frac{1}{T_p} T_e. \quad (4)$$

Визначимо вартість усунення раптових і поступових відмов для періоду експлуатації $T_e < T_0$.

Якщо припустити, що система після кожного ТО відновлюється до рівня надійності, що відповідає новому обладнанню, то вартість усунення відмов C_B^T за деякий період експлуатації T_e буде дорівнювати

$$C_B^T = (C_B T_B + C_H) n(T_e), \quad (5)$$

де C_B – вартість виконання робіт з усунення відмов, що припадає на одну годину робіт;

T_B – час відновлення відмови;

$n(T_e)$ – кількість відмов, що відбувалися за час T_e .

Кількість відмов, які відбувалися за час T_e , може бути записана у вигляді:

$$n(T_e) = n(T_p) \frac{T_e}{T_p}, \quad (6)$$

де $n(T_p)$ – кількість відмов за один період між ТО.

У свою чергу кількість відмов за період між ТО може бути знайдена за формулою

$$n(T_p) = N_0 \int_0^{T_p} \omega(t) dt, \quad (7)$$

де $\omega(t)$ – параметр потоку відмов.

Параметр потоку відмов за [5] дорівнює:

$$\omega(t) = C_1 \lambda + \frac{C_2 \sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi \left(\frac{t-T_0}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right)}, \quad (8)$$

де $\Phi \left(\frac{t-T_0}{\sigma \sqrt{2}} \right)$ – функція Лапласа;

σ – середньоквадратичне відхилення;

λ – інтенсивність раптових відмов;

C_1 і C_2 – коефіцієнти, що враховують раптові і поступові відмови.

Підставивши вираз для параметра потоку відмов у формулу (7), отримаємо

$$n(T_p) = N_0 \int_0^{T_p} \left(C_1 \lambda + \frac{C_2 \sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi \left(\frac{t-T_0}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right)} \right) dt. \quad (9)$$

Тоді з урахуванням (6) будемо мати:

$$n(T_e) = N_o C_1 \lambda \frac{T_e}{T_p} + \frac{T_e}{T_p} N_o C_2 \int_0^{T_p} \frac{\sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi\left(\frac{t-T_0}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right)} dt. \quad (10)$$

Підставивши значення $n(T_e)$ у формулу (5), отримаємо значення вартості усунення відмов у період між ТО:

$$C_B^T = (C_B T_B + C_H) \times \left[N_o C_1 \lambda \frac{T_e}{T_p} + \frac{T_e}{T_p} N_o C_2 \int_0^{T_p} \frac{\sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi\left(\frac{t-T_0}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right)} dt \right]. \quad (11)$$

Сумарна вартість ТО з урахуванням витрат на ТО і усунення відмов за період експлуатації $T_e < T_o$ буде дорівнювати

$$C = C_{TO} + C_B^T. \quad (12)$$

Підставивши у вираз (12) значення C_{TO} і C_B^T з формул (4) і (11) відповідно отримаємо

$$C = \left(C_{II} T_{II} e^{\alpha(T_p - T_o)} + C_H N_o e^{\beta(T_p - T_o)} \right) \frac{T_e}{T_p} + (C_B T_B + C_H) \times \left[N_o C_1 \lambda \frac{T_e}{T_p} + \frac{T_e}{T_p} N_o C_2 \int_0^{T_p} \frac{\sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi\left(\frac{t-T_0}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right)} dt \right]. \quad (13)$$

Оскільки для аналізу отриманого виразу більш зручно мати не абсолютну вартість ТО, а її питома значення C_o , тобто

вартість, що припадає на одну годину експлуатації обладнання, то поділивши вираз (13) на T_e , отримаємо

$$C_o = \left(C_{II} T_{II} e^{\alpha(T_p - T_o)} + C_H N_o e^{\beta(T_p - T_o)} \right) \frac{1}{T_p} + N_o (C_B T_B + C_H) \times$$

$$\times \left[C_1 \lambda \frac{1}{T_P} + \frac{C_2}{T_P} \int_0^{T_P} \frac{\sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi \left(\frac{t-T_0}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right)} dt \right]. \quad (14)$$

Оптимальна питома величина C_0 буде відповідати мінімальному значенню функції (14), а цьому значенню буде відповідати оптимальна величина періоду між ТО.

Висновки. Запропоновано методику, яка дає змогу визначити оптимальну періодичність технічного обслуговування обладнання за умови мінімальної вартості.

Список використаних джерел

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст]: утв. приказом М-ва топлива и энергетики № 258 от 25 июня 2006 г. (в редакции приказа М-ва энергетики и угольной промышленности № 91 от 13 февраля 2012 г.). – Харьков: Изд-во «Форт», 2012. – 404 с.
2. Шишенок, Н.А. Теория надежности и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Н.А. Шишенок. – М.: Сов. Радио, 1964. – 552 с.
3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
4. Половко, А.Н. Основы теории надежности [Текст] / А.Н. Половко. – М.: Наука, 1964. – 446 с.
5. Теория и техника автоматических систем контроля и управления [Текст] / под ред. Е.А. Артеменко. – Харьков: ХВВУ, 1972. – 357 с.
6. Акімов, О.І. Вибір раціональної стратегії обслуговування електрообладнання [Текст] / О.І. Акімов, В.В. Панченко, Д.Л. Сушко, Д.А. Стояновський // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізн. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 103-107.
7. Nazarychev, A. Maintenance and repair electric equipment stations and substations taking into account the technical condition [Text] / A.Nazarychev // Power and Electrical Engineering / Scientific Proceedings of Riga Technical University. – Riga, Latvia, 2002. – Vol. 5. 5 P. 40 - 45.
8. Nigris, M. Application of modern techniques for the condition assessment of power transformers [Text] / M. de Nigris, R. Passaglia, R. Berti, L. Bergonzi, R. Maggi // CIGRE. – 2004. Report A2-209.

Рецензент д-р техн. наук, професор Я.В. Щербак

Акімов Олександр Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-75.
Акімова Юлія Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вищої математики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-38.

Akimov Alexander Ivanovich, cand. of techn. sciences, associated professor department of the automated systems of electric transport Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-75.
Akimova Yuliya Alexandrovna, cand. of techn. sciences, associated professor department of Mathematics Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-38.

Прийнята 10.02.2016 р.