

УДК 621.315.21

**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 зніщення, 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;

$\alpha$  – 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;

$\beta$  – 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;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення;

$\lambda$  – 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

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

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

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

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

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

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.