

УДК 681.51

**І.В. Павловський<sup>1</sup>****М.О. Шишанов<sup>2</sup>**, д.т.н., проф.**В.Г. Козлов<sup>2</sup>**, к.т.н.<sup>1</sup>Міністерство оборони України, м. Київ, Україна<sup>2</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна

## МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПРОВЕДЕННЯ ПРОФІЛАКТИЧНИХ ЗАХОДІВ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА ІНТЕРВАЛАХ МІЖ ПЛАНОВИМИ РЕМОНТАМИ

У статті дане математичне формулювання завдання щодо порядку визначення часу проведення профілактичних заходів складних технічних систем на інтервалах між плановими ремонтами. Показано що рішення цього завдання може бути здійснено на основі визначення сукупності проміжку часу при якій забезпечується максимальне значення часу «життя» СТС а надійність її функціонування підтримується на рівні, не нижче допустимого.

**Ключові слова:** профілактичні заходи, складні технічні системи, плановий ремонт, середній ремонт, капітальний ремонт, міжремонтний інтервал.

### Постановка проблеми

Тривала експлуатація складної технічної системи (далі – СТС) впливає на якість її функціонування. Причиною цього процесу є погіршення якості складальних одиниць, що обумовлене явищем старіння та зносу. Одним з найбільш ефективних заходів щодо підтримки заданої якості функціонування СТС під час тривалої експлуатації є плановий ремонт, який становить комплекс робіт з підтримання та відновлення необхідних експлуатаційних властивостей СТС, який повинен здійснюватись в плановому порядку.

Залежно від ступеня зносу, старіння, складності та обсягу робіт необхідних для забезпечення заданих показників якості функціонування СТС, плановий ремонт ділиться на середній та капітальний.

### Постановка завдання та його розв'язання

Плановий ремонт є одним із способів підтримання заданої якості функціонування СТС в процесі їх тривалої експлуатації. Оскільки проблема забезпечення необхідної якості функціонування СТС вирішується при проектуванні даних засобів, виробництві та експлуатації то розгляд всіх питань пов'язаних з організацією при проведенні планових ремонтів, необхідно виконувати в тісному взаємозв'язку з сукупністю заходів по створенню, забезпеченню та підтриманню належних показників якості функціонування СТС. В зв'язку з цим завдання з організації та проведення планових ремонтів СТС є оптимізаційною та повинна вирішуватися в два етапи. На першому етапі необхідно визначити оптимальний розподіл витрат на забезпечення належної якості функціонування СТС на всіх етапах їх “життя”. На другому етапі рішення задачі визначається оптимальна стратегія організації та проведення планових ремонтів СТС.

### Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття

Рішення першого етапу сформульованого завдання достатньо повно було висвітлено у роботі [1].

Однак на практиці досить часто виникає задача визначення оптимального набору значень  $\{T_i\}$  для СТС, за якими вже відомі значення величин  $C_0$  та  $C_{Pi}$ , що є характерним для СТС, які перебувають в експлуатації, то вираз [1]:

$$C_{\Sigma} = C_0 + C_i + C_{Pi} + C_{TPi},$$

де  $C_0$  - витрати на забезпечення начального значення надійності СТС  $\omega_0$  при її виробництві на  $i$ - $\acute{e}$  плановий ремонт СТС;

$C_{Pi}$ ,  $C_{TPi}$  затрати на виконання профілактичних заходів та поточний ремонт СТС на  $i-l$  міжремонтному інтервалі, зводиться до наступного визначення. Визначити такий набір  $\{T_i\}$ , при якому забезпечується функціонування СТС на міжремонтних інтервалах з надійністю, не нижче заданої при мінімальних витратах на її експлуатацію за час «життя»  $T_{i-1}$  [1].

### Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Для цього ж випадку вираз  $\max L = \sum_{i=0}^n T_i$  може бути виражений і таким чином: визначити таку сукупність  $\{T_i\}$ , при якій забезпечується максимальне значення часу «життя» СТС  $T_{i-1}$  при цьому надійність її функціонування підтримується на рівні, не нижче допустимого, а витрати на експлуатацію СТС за час не перевищать заданого їх значення [2].

Формалізація записи варіантів сформульованих задач зводиться до наступного вигляду.

Для першої задачі знайти

$$\min L = \sum_{i=1}^n (C_{TPi} + C_i) \quad (1)$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n T_i \geq T_{i-1} \quad (2)$$

$$T_i \geq 0$$

Для другої задачі знайти

$$\max = \sum_{i=1}^n T_i \quad (3)$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n (C_{TPi} + C_i) \leq C_{зад} \quad (4)$$

$$T_i \geq 0$$

З урахуванням виразу  $T_i = \frac{\left(\omega_\sigma - \frac{B_i}{C_i^a}\right) C_{Pi}^\beta}{D_i}$  та  $C_{TPi} = \frac{C_1 C_{Pi}^\beta}{2D_i} \left[\omega_\sigma^2 - \left(\frac{B_i}{C_i^a}\right)^2\right]$  форма запису цих задач

прийме наступний вигляд.

Для першої задачі знайти

$$\min L = \sum_{i=1}^n C_1 \left( \omega_\sigma + \frac{D}{C_{Pi}^\beta} T_i^{1-\beta} \right) + \frac{C_1 D}{C_{Pi}^\beta} T_i^{2-\beta} + \frac{B^a}{\left( \omega_\sigma + \frac{D}{C_{Pi}^\beta} T_i^{1-\beta} \right)^a} \quad (5)$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n T_i \geq T_{i-1} \quad (6)$$

$$T_i \geq 0$$

Для другої задачі знайти

$$\max = \sum_{i=1}^n T_i \quad (7)$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=0}^n \left[ C_1 \left( \omega_{\sigma} + \frac{D}{C_{Pi}^{\beta}} T_i^{1-\beta} \right) T_i + \frac{C_1 D}{C_{Pi}^{\beta}} T_i^{2-\beta} + \frac{B^a}{\left( \omega_{\sigma} + \frac{D}{C_{Pi}^{\beta}} T_i^{1-\beta} \right)^a} \right] \quad (8)$$

Вхідні в вирази (5), (8) коефіцієнти,  $C_1, C_{Pi}, D, B, a, \beta$  визначаються на підставі досвіду експлуатації СТС, при цьому найбільшу складність представляє визначення коефіцієнтів  $D$  та  $\beta$ , які характеризують вплив профілактичних заходів на надійність СТС [2]. Визначення цих коефіцієнтів можливо лише в тому випадку, коли для конкретних експлуатованих СТС відома динаміка зміни рівня їх надійності. В окремому випадку, при лінійному законі зміни в часі параметра потоку відмов СТС вираз  $a_{ij} = \frac{D_i}{C_{Pi}^{\beta}}$ , де  $C_{Pi}$  – витрати на виконання профілактичних заходів в процесі експлуатації АЗУ на  $i$ -му міжремонтному інтервалі;  $D_i, \beta$  коефіцієнти які характеризуються ефективністю профілактики СТС, зведеться до виду:

$$K = \frac{D}{(C_{Pi} T)^{\beta}} \quad (9)$$

де  $K$  - коефіцієнт нахилу функції параметра потоку відмов СТС;

$T$  - інтервал часу спостереження.

Визначаючи для двох груп СТС, що характеризуються різними величинами витрат на профілактику, значення коефіцієнтів, отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} D &= K_1 (C'_{P1} T)^{\beta} \\ D &= K_2 (C''_{P1} T)^{\beta} \end{aligned} \quad (10)$$

рішенням якої отримаємо формулу для розрахунку коефіцієнта

$$\beta = \frac{\lg K_2 - \lg K_1}{\lg C'_{P1} - \lg C''_{P1}} \quad (11)$$

де  $K_1, K_2, C'_{P1}, C''_{P1}$  - коефіцієнти нахилу та витрати на профілактику для СТС першої і другої групи відповідно.

Крім перерахованих коефіцієнтів для вирішення завдання визначення оптимальних інтервалів  $T_i$  необхідно задати допустиме значення параметра потоку відмов СТС, яке як правило задається на основі вимог до показника ефективності їх функціонування по призначенню [2].

В результаті рішення визначається оптимальний набір значень  $\{T_i\}$  при якому забезпечується функціонування СТС на міжремонтних інтервалах з надійністю, не нижче заданої при мінімальних витратах на її експлуатацію.

## Перспективи подальших досліджень

Проблема забезпечення необхідної якості функціонування СТС є актуальною та потребує більш детальних досліджень в напрямку, оцінки та прогнозування показників надійності СТС, а також формування алгоритмів вирішення поставленого завдання для розробки розрахунково-інформаційної системи оцінки показників надійності СТС.

## Список використаних джерел

1. Зубарев В.В., Ковтуненко О.П., Василенко А.В., Чепков И.Б., Шишанов М.О. Основы теории комплексного обоснования требований к техническим показателям сложных систем/ В.В.Зубарев., О.П. Ковтуненко., А.В. Василенко., И.Б. Чепков., М.О. Шишанов // Монографія. – К.: 2010 – 356 с.
2. Ковтуненко О.П., Шишанов М.О., Зубарев В.В. Основы теории восстановления эксплуатационных vlastivostey технічних систем/ О.П. Ковтуненко., М.О. Шишанов., В.В.Зубарев // Монографія. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2007. – 296 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ИНТЕРВАЛАХ МЕЖДУ ПЛАНОВЫМИ РЕМОНТАМИ

І.В. Павловський, М.О. Шишанов, В.Г. Козлов

*В статье дано математическое формулирование задачи относительно порядка определения времени проведения профилактических мероприятий сложных технических систем на интервалах между плановыми ремонтами. Показано, что решение этой задачи может быть осуществлено на основе определения совокупности промежутков времени при которой обеспечивается максимальное значение времени «жизни» сложных технических систем а надежность ее функционирования поддерживается на уровне, не ниже допустимого.*

**Ключевые слова:** профилактические мероприятия, сложные технические системы, плановый ремонт, средний ремонт, капитальный ремонт, межремонтный интервал.

## METHODOLOGICAL BASICS OF DETERMINATION OF TIME OF PREVENTIVE CONTROL OF COMPLICATED TECHNOLOGICAL SYSTEMS ON THE INTERVALS BETWEEN PLANNED REPAIRS

I. Pavlovskiy, M. Shishanov, V. Kozlov

*This article gives mathematical formulation of problem concerning the order of determination of preventive control time of complicated technological systems on the interval between planned repairs.*

*It is presented that solution of this problem can be reached on the basis of determination of the complex of time intervals to ensure the maximum “living” time of complicated technological systems and the reliability of its functioning is maintained on the level no more than acceptable.*

**Keywords:** preventive control, complicated technological systems, planned repairs, medium repairs, basic repair, interrepair interval.