

С.В. Ленков¹, О.В. Селюков¹, І.В. Толок¹, Є.С. Ленков², Т.В. Бондаренко²¹ Військовий інститут Київського національного університету ім. Т. Шевченка, Київ² Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ВИТРАЧАННЯ ТА ПОПОВНЕННЯ РЕСУРСУ УГРУПОВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті наведено опис математичної моделі процесів витрачання та поповнення ресурсу (ПВПР) угруповання складних технічних об'єктів. На додаток до розглянутого авторами раніше опису моделі введено формалізований опис угруповання, який включає до себе безліч технічних об'єктів угруповання; нормативні параметри витрачання та поповнення ресурсу об'єктів і поточний стан угруповання. Стан угруповання значною мірою визначається станом ресурсу об'єктів, що входять до нього. Ресурс окремого об'єкта визначається трьома параметрами: власним ресурсом (залишкове напрацювання), залишковим терміном служби і залишковою кількістю планових ремонтів, які повинні бути виконані на даному об'єкті до його списання.

Модель ПВПР, що розроблена, реалізована програмно в середовищі програмування Delphi. Розроблена база даних (БД), що вбудована в модель, в якій зберігається вся інформація щодо угруповання, що моделюються. В БД може бути введена також інформація для реального угруповання, завдяки чому модель може бути використана для вирішення практичних завдань планування технічної експлуатації в конкретних угруповань. БД моделі побудована на основі застосування локального сервера InterBase.

Введена класифікація станів ресурсу угруповання, що визначає три класи станів: «новий», «рівноважений» і «старий». Наведені приклади результатів моделювання ПВПР, що наочно ілюструють можливості застосування розробленої моделі. На прикладах продемонстровано доцільність прагнення при організації експлуатації об'єктів угруповання до урівноваженого стану її ресурсу.

Ключові слова: ресурс і термін служби технічного об'єкта, склад і ресурс угруповання технічних об'єктів, плани ремонту, списання та поставок нових об'єктів, залишкова кількість планових ремонтів.

Вступ

Авторами статті раніше було введено поняття угруповання технічних об'єктів і розроблена математична модель процесу витрачання та поповнення ресурсу (ПВПР) угруповання, що встановлює залежність показників якості цих процесів від параметрів угруповання [1]. Як відмічено в зазначеній роботі, значний перелік задач по оптимізації ПВПР для окремих технічних об'єктів розроблені у роботах [2–6]. Для оцінки якості ПВПР угруповання приймають показники складу $N(t)$ та ресурсу $R_{\Sigma}(t)$. Модель в цілому у формальному запису представляється наступними залежностями:

$$N(t) = N\left(t / P_{\text{рес}}^H, S(t_0), \bar{\eta}, \Pi_p, \Pi_c, \Pi_n\right);$$

$$R_{\Sigma}(t) = R_{\Sigma}\left(t / P_{\text{рес}}^H, S(t_0), \bar{\eta}, \Pi_p, \Pi_c, \Pi_n\right), \quad (1)$$

де $N(t) = \{N_i(t); i = \overline{1, N_{\text{тип}}}\}$ – вектор, який визначає склад угруповання в момент часу t , в якому $N_i(t)$ – кількість об'єктів i -го типу в угрупованні в момент часу t ; $N_{\text{тип}}$ – кількість різних типів об'єктів, наявних в складі угруповання;

$R_{\Sigma}(t) = \{R_{\Sigma i}(t); i = \overline{1, N_{\text{тип}}}\}$ – вектор, який представляє сумарний ресурс угруповання, в якому

$R_{\Sigma i}(t)$ – сумарний ресурс об'єктів i -го типу, наявних в угрупованні в момент часу t ;

t_0 – момент часу, відповідний початку розглянутого періоду експлуатації угруповання;

$P_{\text{рес}}^H, S(t_0), \bar{\eta}, \Pi_p, \Pi_c, \Pi_n$ – параметри моделі.

Параметр $P_{\text{рес}}^H$ представляє нормативні ресурсні характеристики об'єктів, що входять до складу угруповання, і є об'єднанням множин:

$$P_{\text{рес}}^H = \bigcup_{i=1}^{N_{\text{тип}}} P_{\text{рес}i}^H, \quad (2)$$

де $P_{\text{рес}i}^H$ – ресурсні параметри об'єктів i -го типу, що визначаються як безліч трійок наступним чином:

$$P_{\text{рес}i}^H = \left\{ \left\langle R_i^{hk}, T_i^{hk}, N_i^{hk} \right\rangle; k = \overline{0, N_{\text{видр}}} \right\}, \quad (3)$$

де R_i^{hk} та T_i^{hk} – нормативний ресурс та нормативний строк служби, що призначений для об'єкта i -го типу після проведення на ньому планового ремонту (ПР) k -го виду; N_i^{hk} – кількість ПР k -го виду, яка повинна бути виконана на протязі всього строку експлуатації об'єкту i -го типу до його списання; $N_{\text{видр}}$ – кількість різноманітних видів ПР. Види ПР розрізня-

ються обсягом ремонтних робіт i , отже, величиною ресурсу, що встановлено після його проведення (найбільш поширені два види ПР – середній і капітальний). При $k = 0$ параметри $\langle R_i^{H0}, T_i^{H0}, N_i^{H0} \rangle$ є відповідними параметрами для нових об'єктів i -го типу.

Стан угруповання на момент часу t $S(t)$ визначається як кількість векторів наступним чином:

$$S(t) = \{S_i(t); i = \overline{1, N_{\text{тип}}}\}, \quad (4)$$

де $S_i(t)$ – вектор, який описує стан об'єкту i -го типу. Елементами вектора $S_i(t)$ є трійки наступного вигляду:

$$S_i(t) = \left\{ \langle R_{ij}(t), T_{ij}(t), N_{p_{ij}}(t) \rangle; j = \overline{1, |O_i|} \right\}, \quad (5)$$

де $R_{ij}(t)$ и $T_{ij}(t)$ – кінцевий ресурс та кінцевий строк служби j -го об'єкту i -го типу (ij -го об'єкту) на момент часу t ; $N_{p_{ij}}(t)$ – кінцева кількість ремонтів, які ще потрібно виконати на ij -м об'єкті до досягнення ним граничного стану, коли буде потрібно його списання; $|O_i|$ – кількість елементів i -го типу в угрупованні.

Стан угруповання $S(t)$ є ендегенним (внутрішнім) для перемінної моделі (1). Параметр $S(t_0)$, присутній в (1), визначає собою початкові умови моделюємого процесу ($t > t_0$).

Параметр $\bar{\eta}$ у (1) є характеристикою навантаження на угруповання і представляється як безліч інтенсивностей витрачання ресурсу окремими об'єктами угруповання:

$$\bar{\eta} = \left\{ \left\{ \bar{\eta}_{ij}; j = \overline{1, |O_i|} \right\}; i = \overline{1, N_{\text{тип}}} \right\}, \quad (6)$$

де $\bar{\eta}_{ij}$ – середня інтенсивність витрачання ресурсу ij -го технічного об'єкта угруповання. Чим більше (в середньому) величини $\bar{\eta}_{ij}$, тим з більшою швидкістю витрачається ресурс об'єктів угруповання.

Параметр $\bar{\eta}$ вважатимемо некерованим, або слабо керованим (орган управління угрупованням може перерозподіляти ліміт витрачання ресурсу між окремими об'єктами). Параметри \bar{P}_p , \bar{P}_c и \bar{P}_n в (1) представляють собою відповідно плани ремонту, списання і постачання в угрупованні нових об'єктів. Ці плани в моделі представляються у вигляді наступних множин:

$$\bar{P}_p = \bigcup_{i=1}^{N_{\text{тип}}} \bar{P}_{p_i}, \quad \text{де } \bar{P}_{p_i} \text{ – безліч запланованих}$$

моментів часу ремонту об'єктів i -го типу;

$$\bar{P}_c = \bigcup_{i=1}^{N_{\text{тип}}} \bar{P}_{c_i}, \quad \text{де } \bar{P}_{c_i} \text{ – безліч запланованих}$$

моментів часу списання об'єктів i -го типу;

$$\bar{P}_n = \bigcup_{i=1}^{N_{\text{тип}}} \bar{P}_{n_i}, \quad \text{де } \bar{P}_{n_i} \text{ – безліч моментів часу}$$

планових поставок об'єктів i -го типу.

Параметри \bar{P}_p , \bar{P}_c та \bar{P}_n є повністю керованими, так як складання планів технічної експлуатації об'єктів і контроль за їх виконанням – це повністю прерогатива органу управління (технічної служби) угруповання.

Математична модель ПВПР, що розглянута, призначена для вирішення двох основних завдань:

– прогнозування складу та ресурсу угруповання;

– складання оптимальних планів ремонту, списання та поставок в угруповання нових об'єктів.

Обидва ці завдання повинні вирішуватися постійно протягом всього часу існування угруповання. Модель реалізована програмно засобами системи програмування Delphi [7]. У даній статті далі розглядається потрібна класифікація угруповань технічних об'єктів, після цього наводяться приклади моделювання ПВПР для різних класів угруповань.

Виклад основного матеріалу

Формалізований опис угруповання. Для формалізованого представлення угруповання введемо наступний опис:

$$G = \langle O, P_{\text{pec}}^H, S(t_0) \rangle, \quad (7)$$

де G – математичний об'єкт, що описує угруповання; O – безліч всіх об'єктів техніки, що входять до складу угруповання; P_{pec}^H – узагальнений параметр, який містить дані про нормативні вимоги щодо організації технічної експлуатації об'єктів угруповання; $S(t_0)$ – стан об'єктів угруповання на момент часу t_0 , що описується згідно (4).

Безліч O розглядаємо як об'єднання множин:

$$O = \bigcup_i O_i, \quad (8)$$

де $O_i = \{o_{ij}; j = \overline{1, |O_i|}\}$ – безліч всіх об'єктів i -го типу; o_{ij} – позначення окремого ij -го об'єкта.

Кожний об'єкт o_{ij} описується безліччю даних, що характеризують цей об'єкт.

$$o_{ij} = \{i, j, \text{num}, D_{\text{izg}}, R, T, N, D_{\text{pr}}, D_{\text{sp}}, \dots\}, \quad (9)$$

де i та j – ідентифікатори типу і зразку об'єкта; num – заводський номер; D_{izg} – дата виготовлення; R та T – залишковий ресурс і залишковий термін служби об'єкта; N – залишкова кількість ремонтів; D_{pr} – дата запланованого ремонту; D_{sp} – запланована дата списання. Крім перерахованих змінних в структурі даних o_{ij} може міститись інша інформація. Вся

необхідна інформація про технічні об'єктах угруповання зберігається в БД моделі.

З урахуванням введеного формального опису угруповання G узагальнене уявлення математичної моделі ПВІР угруповання (1) можна тепер уточнити і записати наступним чином:

$$\begin{aligned} N(t) &= N(t/G, \bar{\eta}, \Pi_p, \Pi_c, \Pi_n); \\ R_{\Sigma}(t) &= R_{\Sigma}(t/G, \bar{\eta}, \Pi_p, \Pi_c, \Pi_n). \end{aligned} \quad (10)$$

Математична модель (10) програмно реалізована засобами програмування Delphi [7]. База даних (БД) моделі побудована на основі застосування локального сервера InterBase [8]. Завдяки наявності БД моделі програмне забезпечення, що розроблене, може застосовуватися для вирішення практичних завдань планування технічної експлуатації об'єктів в конкретних угрупованнях.

З точки зору методу моделювання реалізовану модель слід віднести до класу імітаційних алгоритмічних моделей. В рамках цієї статті немає можливості навіть коротко розглянути питання реалізації моделі. Деякі уявлення про модель можна скласти за результатами розглянутого нижче приклада застосування моделі.

Вочевидь, що теоретично може існувати нескінченна різноманітність варіантів угруповань технічних об'єктів, тому доцільно ввести для них деяку класифікацію, що дозволяє систематизувати їх з метою виявлення в них деяких загальних закономірностей і тенденцій. Далі розглянемо один з можливих підходів до такої класифікації.

Класифікація стану угруповання. Для практичного застосування розробленої моделі ПВІР угруповання технічних об'єктів інтерес певних досліджень впливу стану угруповання $S(t_0)$ на характер поведінки функцій $N(t/...)$ та $R_{\Sigma}(t/...)$, які ми використовуємо для оцінки якості цих процесів. Параметр $S(t_0)$ згідно (5) має складну структуру, окремі його значення представляються точками в 3-вимірному просторі. Тому безглуздо намагатися розглядати всі їхні множини можливих значень. Доцільно для значень параметра $S(t_0)$ ввести деяку невелику кількість класів, що мають ясну фізичну інтерпретацію, і після цього спробувати вивести деякі закономірності. Для параметра $S(t_0)$ введемо наступні три класи, що представляють найбільш характерні стану ресурсу угруповання. Назвемо їх умовно «новий», «старий» і «врівноважений».

До класу «новий» будемо відносити такі угруповання, для яких в параметрі (3) ресурс $R_{ij}(t_0)$ для всіх об'єктів близький до нормативного начального значення R_i^{n0} .

До класу «старий» будемо відносити угруповання в тому випадку, якщо більшість об'єктів вже практично витратили свій ресурс і вимагають найближчим часом ремонту або списання.

Якщо ресурс об'єктів приблизно рівномірно розподілений між об'єктами угруповання в діапазоні можливих його значень, тобто від 0 до R_i^{n0} , домовимося називати «врівноваженим».

Введені класи станів ресурсу угруповання по суті є розпливчастими поняттями, і формально для їх опису можна було б використовувати апарат нечітких множин [9]. Однак нас тут не цікавить формальний аналіз можливих розподілів ресурсу $R_{ij}(t_0)$ між об'єктами угруповання, нам достатньо лише якісно визначити ці класи і використовувати їх при аналізі результатів моделювання. Для цієї мети ми скористуємось гістограмою (дискретним поданням щільності) розподілу ресурсу об'єктів в угрупованні, $g_R(R_{ij})$, яку визначимо наступним чином:

$$g_R(R_{ij}) = \frac{\Delta n_k(R_{ij})}{n}, \quad (11)$$

де R_{ijk} – значення ресурсу ij -го об'єкту; $\Delta n_k(R_{ij})$ – кількість об'єктів, ресурс яких потрапляє в k -й інтервал $\Delta R_k = [R_{k-1}, R_k]$ (k – номер інтервалу; $\sum_k \Delta n_k(R_{ij}) = n$); $n = |O_i|$ – кількість об'єктів i -го типу в угрупованні. Область визначення гістограми дорівнює $[0, R_i^{n0}]$.

На рис. 1 показано орієнтовний вигляд характерних гістограм $g_R(R_{ij})$, які можуть бути прийняті в якості «еталонів», що представляють введені вище три класи.

Очевидно, що для реальних угруповань вигляд гістограм $g_R(R_{ij})$ може істотно відрізнятись від «еталонних» і займати довільно проміжний стан між еталонами. На практиці найбільш часто зустрічаються угруповання з розподілами ресурсу, які розташовані ближче до класу «старий».

Для подальшого аналізу доцільно також ввести класи станів для параметра $\bar{\eta}_i$ – вектора інтенсивностей витрачання ресурсу.

Для параметра $\bar{\eta}_i$ введемо два класи розподілів, які назвемо умовно «рівномірний розподіл» і «зосереджений розподіл». На рис. 2 показано приблизний вигляд гістограм $g_{\eta}(\eta_{ij})$, які можна розглядати як граничні для всього різноманіття можливих розподілів параметра $\bar{\eta}_i$. На практиці для реальних угруповань найбільш типовим є розподіл, близький до «зосередженого».

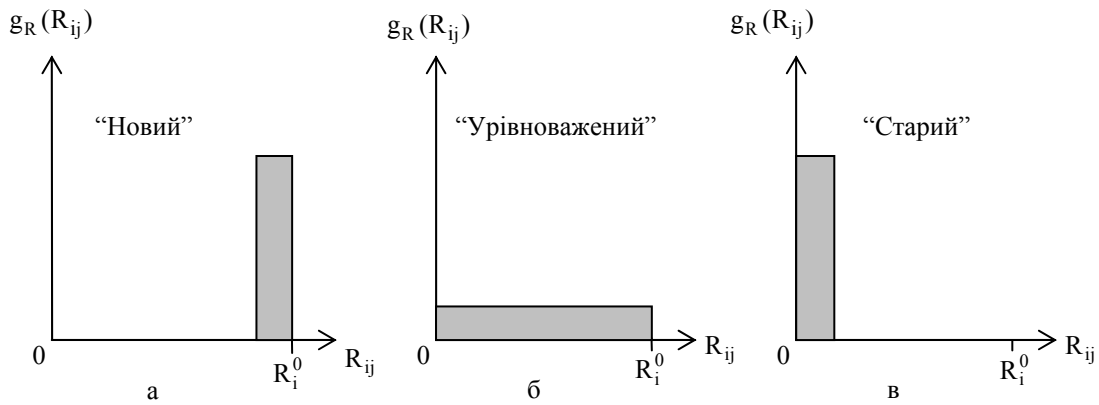


Рис. 1. Наочний вигляд "еталонних" гістограм для трьох класів характерних розподілів ресурсу угруповання

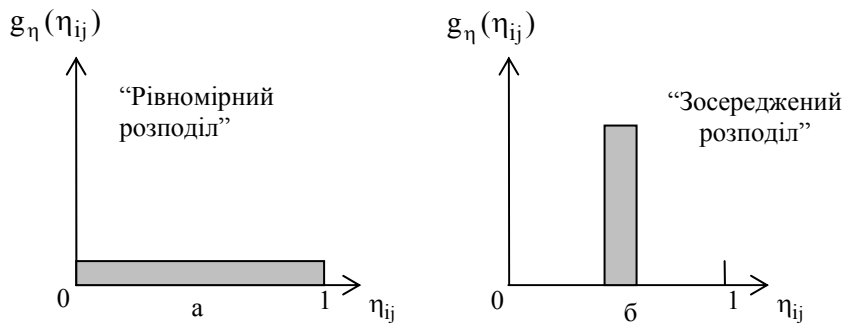


Рис. 2. Наочний вигляд характерних розподілів інтенсивності витрачання ресурсу

Введена класифікація для можливих значень параметрів $S_i(0)$ та $\bar{\eta}_i$ важлива, перш за все, для більшої визначеності при інтерпретації результатів моделювання. Ми скористаємося введеною класифікацією в розглянутому нижче прикладі.

Приклад моделювання ПВПР угруповання технічних об'єктів. Для прикладу будемо використовувати угруповання (G), що складається з 30 однотипних об'єктів ($|O_i| = 30$).

Параметри $P_{ресі}^n$ для об'єктів i -го типу задамо наступні:

$R_i^{n0} = 10000$ год – ресурс нового об'єкту;

$T_i^{n0} = 9$ років – строк служби нового об'єкту;

$R_i^{n1} = 8000$ год – ресурс, що заповнюється в результаті проведення ПР;

$T_i^{n1} = 6$ років – строк служби, що встановлений після проведення ПР;

$N_i^{n0} = 2$ – кількість ПР до списання об'єкту;

$N_{видр} = 1$ – кількість видів ПР;

$\tau_{pi} = 3$ міс – тривалість ПР.

Моделювання будемо здійснювати для 3 варіантів угруповання об'єктів даного типу (назвемо їх A1, A2 та A3). A1 відноситься до класу «новий», A2 –

до класу «урівноважений», A3 – до класу «старий». Початковий ресурс об'єктів цих угруповань $R_{ij}(t_0)$

задаємо шляхом генерування рівномірно розподілених випадкових величин в заданому діапазоні значень $[R1, R2]$. Границі R1 та R2 задамо такі:

– для A1 – [8000 год, 10000 год] («новий»);

– для A2 – [100 год, 10000 год] («урівноважений»);

– для A3 – [100 год, 2000 год] («старий»).

Параметри $T_{ij}(t_0)$ та $n_{pij}(t_0)$ для всіх об'єктів в угрупованнях задамо однаковими та рівними: $T_{ij}(t_0) = T_i^{n0} = 9$ років; $n_{pij}(t_0) = 2$.

Значення параметру $\bar{\eta}_i$ так само будемо задавати шляхом генерування випадкових чисел в діапазоні, обмеженому значеннями річного ліміту витрат ресурсу от 1500 год/рік до 2500 год/рік.

Тривалість експлуатації об'єктів угруповання задамо рівній $T_{пр} = 20$ років. Поточний час t_0 , відповідний початку розглянутого періоду експлуатації, встановимо 01.01.2018.

Моделювання зробимо в режимі формування нормативних планів ремонту і списання Π_p и Π_c (в цьому режимі терміни відправки в ремонт і списання об'єктів моделюються в точній відповідності з заданими нормативами $P_{ресі}^n$). Нові об'єкти до скла-

ду угруповання протягом періоду $T_{гр}$ не надходять ($\Pi_n = \emptyset$).

Всі наведені нижче результати отримані за допомогою програми ISMPN [10], в якій запроваджено

режим *Угруповання* | Прогнозування складу і ресурсу (який реалізує розроблену модель).

На рис. 3–5 показані графіки функцій $R_{\Sigma_i}(t/...)$ і $N_i(t/...)$, що отримані для вихідних даних розглянутого прикладу.

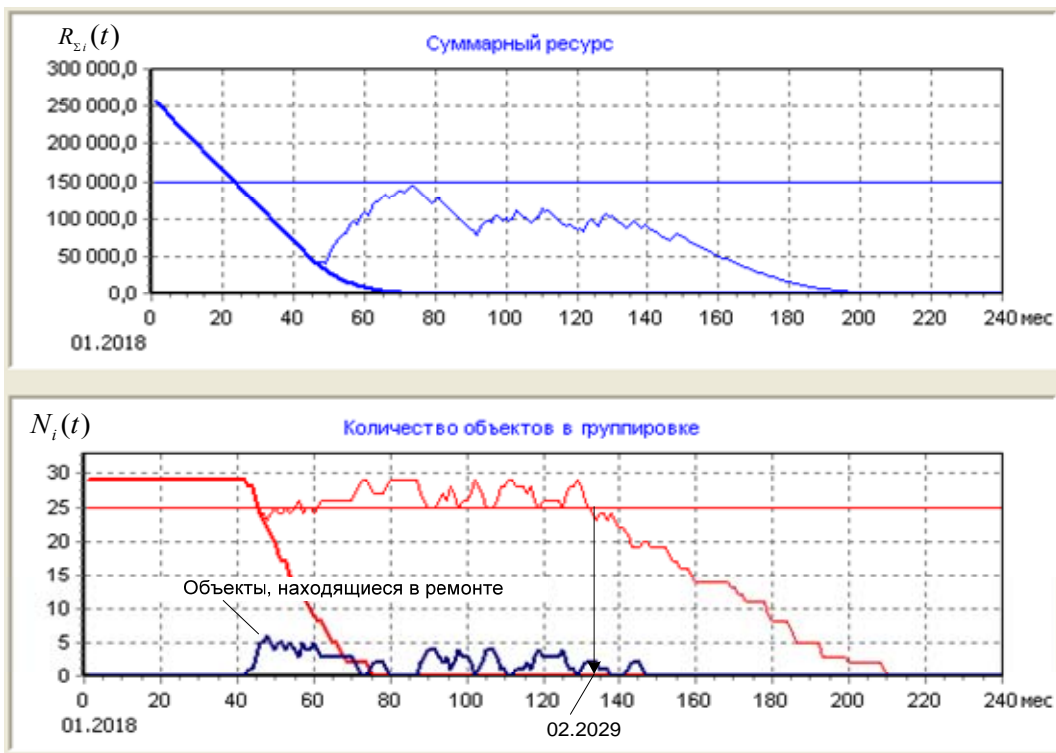


Рис. 3. Графіки функцій $R_{\Sigma_i}(t)$ та $N_i(t)$ для угруповання A1 («новий»)

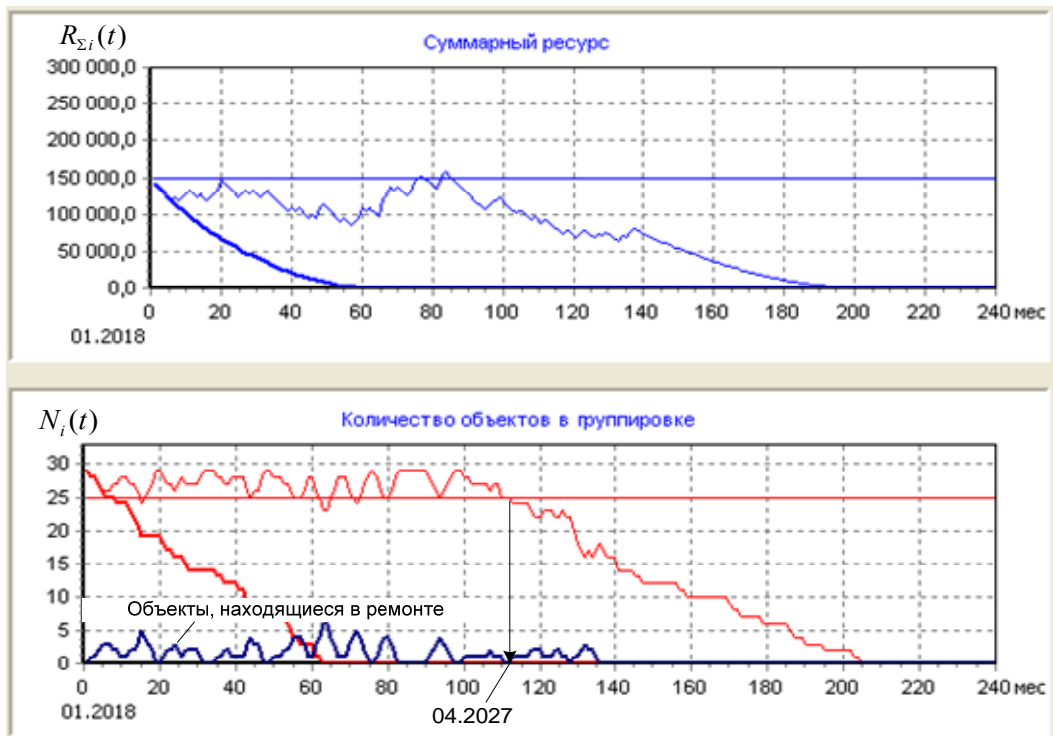


Рис. 4. Графіки функцій $R_{\Sigma_i}(t)$ та $N_i(t)$ для угруповання A2 («урівноважений»)

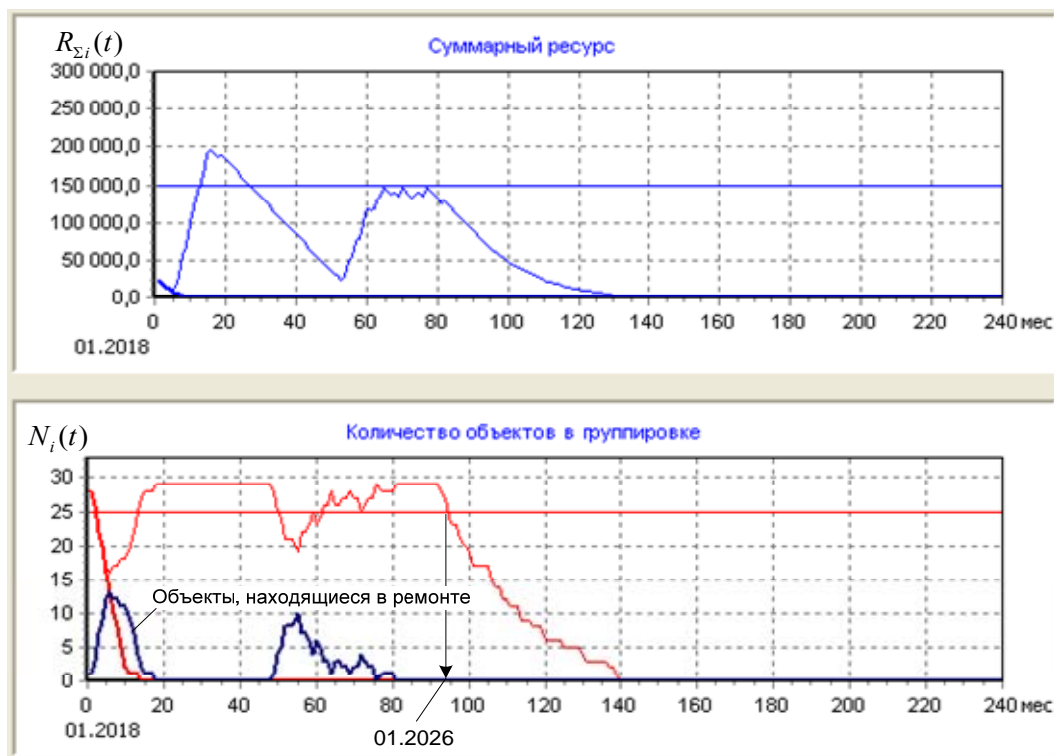


Рис. 5. Графіки функцій $R_{\Sigma_i}(t)$ та $N_i(t)$ для угруповання А3 («старий»)

На графіках $N_i(t)$ відображається також поточна сумарна кількість об'єктів, що знаходяться в ремонті. Проаналізуємо отримані результати.

Для «нового» угруповання (рис. 3) потреба в ремонтах виникає тільки приблизно через 3 роки. У разі «врівноваженого» угруповання (рис. 4) потреба в ремонтах розподілена приблизно рівномірно на протязі розглянутого періоду експлуатації угруповання. Для «старого» угруповання (рис. 5) потреба в ремонті виникає відразу на початку розглянутого періоду. Внаслідок незбалансованості ресурсу («нерівноваженого») угруповання практично всі його об'єкти повинні піддатися ремонту протягом перших 1 ÷ 1,5 років. Очевидно, що в цей період угруповання виявляється непрацездатним.

Якщо мінімально необхідну кількість об'єктів в угрупованні задати рівним $N_i^{TP} = 25$, ми бачимо наступне. У разі «нового» і «врівноваженого» угруповання ця вимога порушується незначно у рідкісні випадково виникаючі інтервали часу. Парувати їх негативний вплив можна за рахунок коригування термінів відправки в ремонт окремих об'єктів. У разі ж «старого» («нерівноваженого») угруповання запобігти різке зниження її складу в деяких інтервалах часу експлу-

тації може бути неможливим. Для недопущення таких явищ потрібно поставка в угруповання нових об'єктів.

В цілому отримані результати в даному прикладі ілюструють просту ідею: при організації технічної експлуатації об'єктів у великих угрупованнях необхідно прагнути до «урівноваженого» стану ресурсу угруповання. Для цього необхідно своєчасне прогнозування складу та ресурсу угруповання.

Висновки

В статті розроблено математичну модель процесів витрачання та поповнення ресурсу угруповання технічних об'єктів, що призначена для прогнозування складу та ресурсу угруповання в майбутньому. На основі застосування розробленої моделі можна вирішувати не тільки завдання прогнозування, а й завдання оптимізації планування ремонту, списання та поставок в угруповання нових об'єктів. Розроблена модель реалізована програмно, що дозволяє застосовувати її на практиці для вирішення відповідних завдань для конкретних угруповань технічних об'єктів.

Список літератури

1. Ленков С.В. Моделирование процессов витрачания та поповнення ресурсу угруповання технічних об'єктів / С.В. Ленков, І.В. Толок, В.М. Цицарев, Є.С. Ленков // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 1(53). – С. 155-162.
2. Ленков С.В. Формалізована методика оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за ресурсом складних виробів тривалої експлуатації / С.В. Ленков, Є.С. Ленков // Сучасна спеціальна техніка. – 2016. – № 4(47). – С. 3-8.

3. Lenkov S. Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure / S. Lenkov, G. Zhyrov, D. Zaytsev, I. Tolok, E. Lenkov, T. Bondarenko, Y. Gunchenko, V. Zagrebnyuk, O. Antonenko // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2017. – №4. – С. 34-42.
4. Ленков Є.С. Узагальнена математична модель процесу технічного обслуговування і ремонту складної техніки / Є.С. Ленков // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький. – 2017. – № 2. – С. 186-191.
5. Толлок І.В. Деякі аспекти визначення та поповнення ресурсу складних технічних об'єктів, що відновлюються / І.В. Толлок // Сучасна спеціальна техніка. – 2017. – № 1. – С. 41-44.
6. Жиров Г.Б. Алгоритмічна модель адаптивного технічного обслуговування за станом озброєння і військової техніки / Г.Б. Жиров, Є.С. Ленков, І.В. Толлок // Збірник праць Національної академії Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького. Серія: військові та технічні науки. – Хмельницький, 2017. – № 1(71). – С. 368-378.
7. Дарахвелідзе П.Г. Программирование в Delphi 7 / П.Г. Дарахвелідзе, Е.П. Марков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 784 с.
8. Ковязин А. Мир InterBase. Архитектура, администрирование и разработка приложений баз данных в InterBase/Firebird/Yaffil / А. Ковязин, С. Востриков. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2002. – 496 с.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: пер. с франц. / А. Кофман. – М. Радио и связь, 1982. – 432 с.
10. Lenkov Sergey. Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: monography / Sergey Lenkov, Konstantin Borjak, Gennady Banzak, Vadim Braun, etc.; under edition S.V. Lenkov. – Odessa: Publishing house «BMB», 2014. – 252 p.

References

1. Lenkov S., Tolok, I., Tsytsev, V. and Lenkov, Ye. (2018), “Modeliuvannya protsesiv vytrachannya ta popovnennia resursu uhrupuvannya tekhnichnykh ob'ektiv” [Modeling of processes of expenditure and resource replenishment grouping of technical objects], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(53), pp. 155-162.
2. Lienkov, S.V. and Lienkov, Ye.S. (2016), “Formalizovana metodyka optymizatsii parametriv stratehii tekhnichnoho obsluhovuvannya za resursom skladnykh vyrobiv tryvaloi eksploatatsii” [Formalized method of optimization of the parameters of the maintenance strategy for the resource of complex products of prolonged operation], *Suchasna spetsial'na tekhnika*, No. 4(47), pp. 3-8.
3. Lenkov, S., Zhyrov, G., Zaytsev, D., Tolok, I., Lenkov, E., Bondarenko, T., Gunchenko, Y., Zagrebnyuk, V. and Antonenko, O. (2017), Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure], *Skhidno-ievropejs'kyj zhurnal peredovykh tekhnolohij*, No. 4, pp. 34-42.
4. Lienkov, Ye.S. (2017), “Uzahal'na matematychna model' protsesu tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu skladnoi tekhniki” [A generalized mathematical model of the process of maintenance and repair of complex equipment], *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky*, No. 2, Khmel'nyts'kyj, pp. 186-191.
5. Tolok, I.V. (2017), “Deiaki aspekty vyznachennia ta popovnennia resursu skladnykh tekhnichnykh ob'ektiv, scho vidnovliuiut'sia” [Some aspects of determining and replenishing the resource of complex technical objects that are being restored], *Suchasna spetsial'na tekhnika*, No. 1, pp. 41-44.
6. Zhyrov, H.B., Lienkov, Ye.S. and Tolok, I.V. (2017), “Alhorytmichna model' adaptivnoho tekhnichnoho obsluhovuvannya za stanom ozbroiennia i vijs'kovoï tekhniki” [Algorithmic model of adaptive maintenance on the state of armament and military equipment], *Zbirnyk prats' Natsional'noi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy im. B. Khmel'nyts'koho. Seriia: vijs'kovi ta tekhnichni nauky*, No. 1(71), Khmel'nyts'kyj, pp. 368-378.
7. Darakhvelidze, P.H. and Markov, E.P. (2004), “Prohrammyrovanye v Delphi 7” [Programming in Delphi 7], BKhV-Peterburh, Saint Petersburg, 784 p.
8. Kovjazin, A. and Vostrikov, S. (2002), “Mir InterBase. Arhitektura, administrirovanie i razrabotka prilozhenij baz dannykh v InterBase/Firebird/Yaffil” [Architecture, administration and development of database applications in InterBase / Firebird/Yaffil], KUDIC-OBRAZ, Moscow, 496 p.
9. Kofman, A. (1982), “Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv” [Introduction to the theory of fuzzy sets], Radio i svjaz', Moscow, 432 p.
10. Lenkov, Sergey, Borjak, Konstantin, Banzak, Gennady and Braun, Vadim (2014), *Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models*, Publishing house «BMB», Odessa, 252 p.

Надійшла до редколегії 16.02.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

Відомості про авторів:

Ленков Сергій Васильович

доктор технічних наук професор
Головний науковий співробітник науково-дослідного
центру Військового інституту Київського національного
університету імені Тараса Шевченка,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7689-239X>
e-mail: lenkov_s@ukr.net

Селюков Олександр Васильович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
заступник директора ТОВ «Укрспецконсалтинг», Київ,
Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7979-3434>
e-mail: selukov@3g.ua

Information about the authors:

Sergey Lenkov

Doctor of Technical Sciences Professor
Chief Researcher Head of Research Center
of Military Institute of Taras Shevchenko
National University,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7689-239X>
e-mail: lenkov_s@ukr.net

Oleksandr Sieliukov

Doctor of Technical Sciences
Senior Research
Head's Assistant LLC "Ukrspetsconsulting",
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7979-3434>
e-mail: selukov@3g.ua

Толок Ігор Вікторович

кандидат педагогічних наук
начальник Військового інституту Київського
національного університету імені Тараса Шевченка,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6309-9608>
e-mail: igortolok@72gmail.com

Igor Tolok

Candidate of Pedagogical Sciences
Head of the Military Institute of Taras Shevchenko
Kyiv National University,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6309-9608>
e-mail: igortolok@72gmail.com

Ленков Євген Сергійович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5819-2656>
e-mail: torwer007@gmail.com

Lenkov Evgen

Candidate of Technical Sciences Senior Researcher
Senior Research Associate of Military Institute
of Telecommunications and Informatization
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5819-2656>
e-mail: torwer007@gmail.com

Бондаренко Тетяна Василівна

молодший науковий співробітник
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2879-2041>
e-mail: torwer007@gmail.com

Tetiana Bondarenko

Junior Research Associate of Military Institute
of Telecommunications and Informatization,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2879-2041>
e-mail: torwer007@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ РАСХОДОВАНИЯ И ВОСПОЛНЕНИЯ РЕСУРСА ГРУППИРОВКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

С.В. Ленков, А.В. Селюков, И.В. Толок, Е.С. Ленков, Т.В.Бондаренко

В статье приведено описание математической модели процессов расходования и восполнения ресурса (ПРВР) группировки сложных технических объектов. В дополнение к рассмотренному авторами ранее описанию модели введено формализованное описание группировки, включающее в себя: множество технических объектов группировки; нормативные параметры расходования и восполнения ресурса объектов и текущее состояние группировки. Состояние группировки определяется состоянием ресурса входящих в него. Ресурс отдельного объекта определяется тремя параметрами: собственным ресурсом (остаточная наработка), остаточным сроком службы и остаточным количеством плановых ремонтов, которые должны быть выполнены на данном объекте до его списания.

Модель ПРВР, разработанная реализована программно в среде программирования Delphi. Разработанная база данных (БД), что встроена в модель, в которой хранится вся информация о группировки, моделируются. В БД может быть введена также информация для реального группировки, благодаря чему модель может быть использована для решения практических задач планирования технической эксплуатации в конкретных группировок. БД модели построена на основе применения локального сервера InterBase.

Введена классификация состояний ресурса группировки, определяющая три класса состояний: «новый», «уравновешенный» и «старый». Приведены примеры результатов моделирования ПРВР, наглядно иллюстрирующие возможности применения разработанной модели. На примерах продемонстрирована целесообразность стремления при организации эксплуатации объектов группировки к уравновешенному состоянию ее ресурса.

Ключевые слова: ресурс и срок службы технического объекта, состав и ресурс группировки технических объектов, планы ремонта, списания и поставок новых объектов, остаточное количество плановых ремонтов.

MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESSES OF EXPENDITURE AND REPLENISHMENT OF THE RESOURCE OF THE GROUPING OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

S. Lenkov, A. Selyukov, I. Tolok, E. Lenkov, T. Bondarenko

The article describes the mathematical model of the process of resource consumption and replenishment (PRVR) of the grouping of complex technical objects. In addition to the authors' description previously described, a formalized description of the grouping was introduced, including: the set of grouping objects; normative parameters for the expenditure and replenishment of the resource of the objects and the current state of the grouping. The grouping status is determined by the state of the resource of the technology included in the grouping. The resource of an individual object is determined by three parameters: the actual resource (residual operating time), the remaining service life and the remaining number of planned repairs that must be performed at this facility before it is written off.

The developed model is implemented in software in Delphi programming environment. A database (DB) built into the model has been developed, in which all information about the simulated groupings is stored. In the database, information can also be entered for a real grouping, so that the model can be used to solve practical problems of planning technical operation in specific groups. The database model is based on the application of the local InterBase server.

A classification of states of a grouping resource has been introduced, which defines three classes of states: "new", "balanced" and "old". Examples of the results of RVR simulation are presented, which clearly illustrate the possibilities of using the developed model. The examples demonstrate the expediency of striving to organize the operation of the grouping objects to the balanced state of its resource.

Keywords: resource and service life of a technical object, composition and resource of technical objects grouping, plans for repair, write-off and supply of new objects, residual number of scheduled repairs.