

С.В. Ленков¹, І.В. Толок¹, В.М. Цицарєв¹, Є.С. Ленков²¹ Військовий інститут Київського національного університету ім. Т. Шевченка, Київ² Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИТРАЧАННЯ ТА ПОПОВНЕННЯ РЕСУРСУ УГРУПОВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті пропонується математична модель процесів витрачання та поповнення ресурсу (ПВІР) угруповання технічних об'єктів. Визначається поняття угруповання, вводяться показники якості ПВІР угруповання, визначаються їх параметри. Параметрами окремих технічних об'єктів є ресурс і термін служби, після закінчення яких експлуатація об'єкта в складі угруповання повинна бути припинена. Параметрами ПВІР є план проведення ремонтів, які відновлюють ресурс об'єктів, план списання об'єктів, ресурс яких вичерпано, і план поставок в угруповання нових об'єктів і запасних частин. Показниками якості ПВІР в цілому обрані склад і сумарний ресурс угруповання, необхідні значення яких повинні підтримуватися протягом усього часу існування угруповання. Сформульовано постановку задачі управління складом і ресурсом угруповання, в якій керуваними параметрами є плани ремонту, списання та поставок об'єктів в угруповання. Розроблена математична модель, яка встановлює залежність показників якості ПВІР від параметрів об'єктів і угруповання. Модель програмно реалізована засобами системи програмування Delphi. Наводиться приклад результатів моделювання, що демонструє працездатність алгоритмів моделювання та можливість практичного застосування моделі.

Ключові слова: ресурс технічного об'єкта, термін служби технічного об'єкта, склад і ресурс угруповання, план ремонту, списання та поставок нових об'єктів.

Вступ та постановка задачі

Під угрупованням технічних об'єктів будемо розуміти сукупність технічних засобів, розміщених на деякій території і призначених для вирішення якоїсь спільної функції. Як типовий приклад угруповання можна привести множинну систему наземних радіолокаційних станцій деякої системи Повітряних Сил (ПС) якоїсь території чи військового з'єднання. Для забезпечення необхідних показників якості такої системи, що входять до її складу радіолокаційні станції повинні бути різнотипними. Необхідними елементами угруповання можуть бути також засоби зв'язку та автоматизації, що забезпечують збір, обробку та передачу інформації до центрів управління відповідної системи ПС.

Авторським колективом була проведена велика наукова роботи по моделюванню процесів витрачання та поповнення технічного ресурсу складних одиночних об'єктів військової техніки [1–6]. Разом з тим фізичний зміст та природа задач, що виконуються окремими об'єктами – елементами угруповання, їх інформаційні та функціональні зв'язки – це не задача цієї статті. Хоча використання отриманих матеріалів є необхідною умовою для досягнення її мети. Важливими є властивості надійності об'єктів, що входять до складу угруповання, і її кількісний склад, які необхідні для вирішення всіх завдань системи, щодо забезпечення якої призначене дане угруповання. Таким чином, математична модель, що розробляється може бути застосована до угруповань

об'єктів різноманітної природи, до угруповань, об'єктами в яких може бути будь-яка техніка. При цьому важливо щоб існувала вагома необхідність підтримки необхідного кількісного і якісного складу угруповання і забезпечення необхідного рівня надійності кожного об'єкта.

В якості показників, що характеризують стан угруповання, приймемо два показники – склад і ресурс угруповання в кожен момент часу її експлуатації. Введемо наступні позначення для визначення цих показників:

$$\mathbf{N}(t) = \{N_i(t); i = \overline{1, N_{\text{тип}}}\} - \text{вектор, що визначає}$$

склад угруповання в момент часу t , де $N_i(t)$ – кількість об'єктів i -го типу, $N_{\text{тип}}$ – кількість різних типів технічних об'єктів, що включені до складу угруповання;

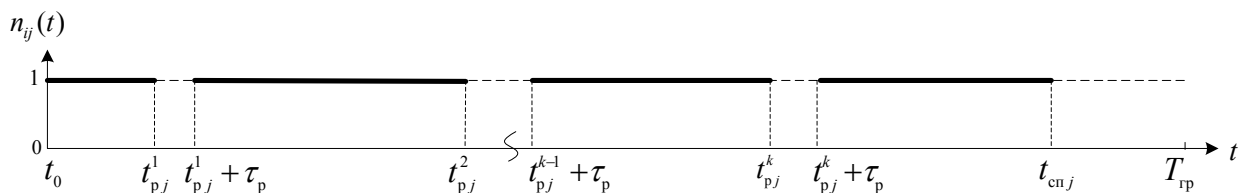
$$\mathbf{R}_{\Sigma}(t) = \{R_{\Sigma i}(t); i = \overline{1, N_{\text{тип}}}\} - \text{вектор, що ви-}$$

значає розподіл сумарного ресурсу за типами об'єктів, в якому $R_{\Sigma i}(t)$ – сумарний запас ресурсу об'єктів i -го типу на поточний момент часу t .

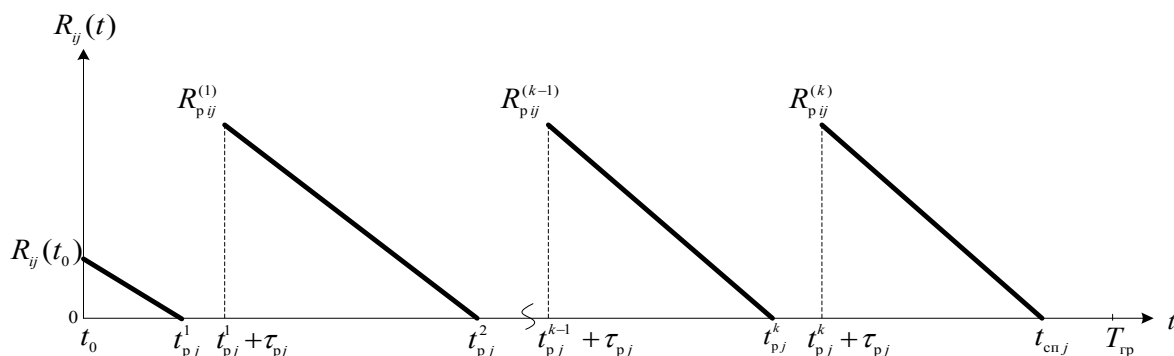
Показник складу $\mathbf{N}(t)$ визначає функціональні (тактичні) можливості угруповання в даний момент часу, а показник $\mathbf{R}_{\Sigma}(t)$ визначає узагальнено прогнозовану тривалість існування угруповання з необхідними показниками надійності об'єктів. Передбачається, що під час експлуатації об'єкта в межах встановленого для нього (нормативного) технічного ресурсу забезпечуються необхідні надійнісні харак-

теристиками. Під надійнішими характеристиками розуміються, перш за все, показники безвідмовності об'єктів [7]. У разі вичерпання ресурсу рівень безвідмовності об'єкта знижується до неприпустимого значення і подальше його застосування в складі угруповання вважається неможливим. Будемо вважати, що при вичерпанні ресурсу об'єкт виводиться зі складу угруповання і проводиться заповнення його ресурсу шляхом проведення планового ремонту (ПР). При цьому використовуються запасні частини, інструмент та прилади, як для окремих об'єктів, так і до угруповання об'єктів. Такі дослідження проводились у Збройних Силах колишнього СРСР, також відомі дослідження за кордоном останніх років [8–9]. На кількість ПР, яке може бути виконане протягом всього часу «життя» об'єкта, може бути встановлено обмеження. При вичерпанні ресурсу після виконання допустимої кількості ПР, об'єкт безповоротно виключається з угруповання після чого списується.

Функції $N(t)$ та $R_{\Sigma}(t)$ є узагальненими показниками якості, що описують процес витрачання та поповнення ресурсу (ПВПР) угруповання технічних об'єктів. В статті пропонується розроблена математична модель ПВПР, що дозволяє прогнозувати показники $N(t)$ та $R_{\Sigma}(t)$ на заданому передбачуваному періоді існування угруповання $T_{гр}$. Дана модель є розвитком раніше розробленої авторами моделі [10].

Рис. 1. Характерний вигляд функції $n_{ij}(t)$

На рис. 1 показано характерний (приблизний) вигляд функції $n_{ij}(t)$, використані наступні позначення: t_0 – момент часу, відповідний початку розглянутого періоду експлуатації угруповання; t_{pj}^k – час відправки j -го об'єкта в k -й плановий ремонт;

Рис. 2. Характерний вигляд функції $R_{ij}(t)$

Виклад основного матеріалу

Формалізований опис процесу витрачання та поповнення ресурсу угруповання. Кількість об'єктів i -го типу в складі угруповання $N_i(t)$ є випадковою функцією з одиничними стрибками в випадкові моменти часу зміни складу угруповання. Позитивні скачки відповідають моментам часу надходження в угруповання нових або повернутих з ремонту об'єктів, а негативні – моментам часу відправки об'єктів в ремонт або списання.

Функцію $N_i(t)$ представимо як суму такого вигляду:

$$N_i(t) = \sum_{j=1}^{|\mathbf{O}_i|} n_{ij}(t), \quad (1)$$

де $n_{ij}(t)$ – одинична функція, що приймає значення 1 або 0 (рис. 1):

$n_{ij}(t) = 1$ – якщо j -й об'єкт i -го типу (ij -й об'єкт)

в момент часу t знаходиться в складі угруповання і застосовується за призначенням (або знаходиться в стані готовності до застосування за призначенням);

$n_{ij}(t) = 0$ – якщо ij -й об'єкт відсутній в складі угруповання (виключений зі складу угруповання, або тимчасово, для виконання планового ремонту, або списаний);

$|\mathbf{O}_i|$ – кількість елементів у множині \mathbf{O}_i (\mathbf{O}_i – множина об'єктів i -го типу, наявних в угрупованні).

τ_{pj} – тривалість ремонту; $t_{спj}$ – час списання j -го об'єкта.

Можна констатувати, що функція $n_{ij}(t)$ породжується функцією витрачання ресурсу ij -го об'єкта $R_{ij}(t)$, характерний вигляд якої зображено на рис. 2.

На рис. 2 використані такі позначення: $R_{ij}(t_0)$ – ресурс ij -го об'єкту в момент часу t_0 ; $R_{p_{ij}}^{(k)}$ – ресурс ij -го об'єкту, відновлений в результаті виконання k -го планового ремонту ($k = \overline{1, N_{p_{ij}}}$, де $N_{p_{ij}}$ – максимальна кількість планових ремонтів, встановлене для ij -го об'єкта). Графік функції $R_{ij}(t)$ тут наведено для випадку, якщо передбачається рівномірне витрачання ресурсу об'єкта. Насправді ресурс витрачається випадковим чином внаслідок випадковості моментів часу включення-виключення об'єкта при його використанні за призначенням (включення і знеструмлення апаратури, запуск і зупинка агрегатів живлення і двигунів і тощо).

Величину інтенсивності витрачання ресурсу позначимо $\eta_{ij}(t)$ та визначимо таким чином:

$$\eta_{ij}(t) = -\frac{dR_{ij}(t)}{dt} = -\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R_{ij}(t + \Delta t) - R_{ij}(t)}{\Delta t}, \quad (2)$$

де t – календарний час (строк служби); $R_{ij}(t)$ – величина ресурсу об'єкта на момент часу t ; Δt – малий інтервал часу, на якому величина витрачання ресурсу рівна $R_{ij}(t) - R_{ij}(t + \Delta t)$.

З урахуванням (2) величину ресурсу об'єкта в довільно заданий момент часу t можна представити як випадкову функцію такого вигляду:

$$R_{ij}(t) = \int_0^t \eta_{ij}(x) dx, \quad (3)$$

де $\eta_{ij}(x)$ – інтенсивність витрачання ресурсу ij -го об'єкта.

Випадковість величини $R_{ij}(t)$ породжується випадковістю інтенсивності витрачання ресурсу $\eta_{ij}(t)$. Характер функції $\eta_{ij}(t)$ повністю визначається експлуатаційними режимами застосування об'єкта (частотою включень-виключень і тривалістю інтервалів часу перебування в стані застосування). Імовірнісні характеристики функції $\eta_{ij}(t)$ можуть бути визначені за підсумками експлуатації конкретного типу об'єкта, що застосовується в даному угрупованні.

На практиці зазвичай встановлюють ліміт витрачання ресурсу (наприклад на рік), і в процесі експлуатації прагнуть регулювати витрачання ресурсу таким чином, щоб укластися в заданий ліміт. Тому для прогнозних розрахунків цілком можна прийняти, що функція $\eta_{ij}(t)$ має постійне значення математичного сподівання $\bar{\eta}_{ij}$, величину якого можна задати приблизно за виразом:

$$\bar{\eta}_{ij} = \frac{L_{R_{ij}}}{T}, \quad (4)$$

де $L_{R_{ij}}$ – ліміт витрати ресурсу, встановлений для ij -го об'єкту; T – період експлуатації, для якого встановлений ліміт $L_{R_{ij}}$.

Далі будемо вважати, що інтенсивності витрачання ресурсу окремих об'єктів являються величинами постійними. Для різних об'єктів одного такого ж угруповання, ці інтенсивності можуть мати істотно різні значення.

Функція $R_{ij}(t)$ описує процес витрачання та поповнення ресурсу окремого об'єкта угруповання. На рис. 2 моменти часу витрачання ресурсу ототожнюються з моментами часу відправки об'єкта в ремонт або списання. У розробленій моделі критерієм витрачання ресурсу є або досягнення значення $R_{ij}(t) = 0$, або досягнення значення 0 залишкового терміну служби об'єкта $T_{ij}(t)$. На практиці відправка в ремонт і списання об'єктів з різних причин може здійснюватися до розрахункового часу витрачання ресурсу, або через деякий час після (із запізненням).

Завданням органів управління, відповідальних за підтримання необхідного технічного стану об'єктів угруповання, є планування експлуатації об'єктів таким чином, щоб час відправки в ремонт або списання об'єктів по можливості точно збігалося з часом витрачання ресурсу об'єктів.

На рис. 3 зображені типові графіки функцій $N_i(t)$ та $R_{\Sigma i}(t)$, що показують їх характерний вигляд.

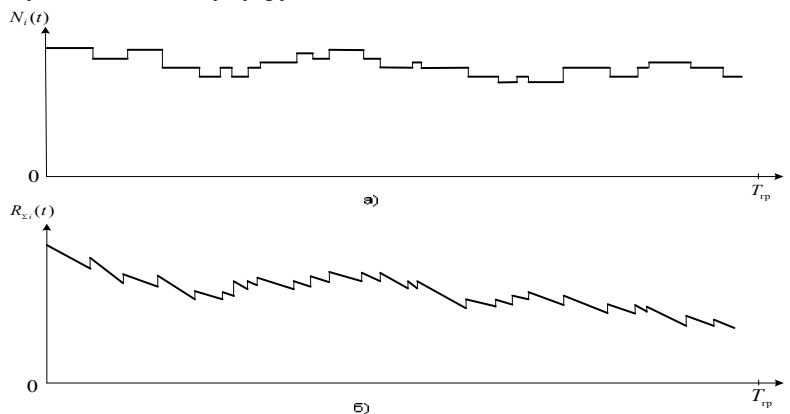


Рис. 3. Характерний вигляд функцій $N_i(t)$ і $R_{\Sigma i}(t)$

Негативні скачки (розриви) функції $N_i(t)$ відповідають моментам часу відправки об'єктів в ремонт або їх списання. Позитивні скачки відповідають моментам часу повернення в угруповання об'єктів після завершення їх ремонту або надходження в угруповання нових об'єктів. Позитивні скачки функції $R_{\Sigma i}(t)$ за часом збігаються з позитивними стрибками функції $N_i(t)$ відображають собою збільшення ресурсу, одержуваного в результаті виконаних ремонтів або в результаті надходження в угруповання нових об'єктів. Швидкість убування функції в інтервалах між розривами визначається сумарною інтенсивністю витрачання ресурсу всіх об'єктів техніки, наявних в цей час в угрупованні.

Параметри процесу витрачання та поповнення ресурсу угруповання. Введемо наступні параметри, що характеризують ПВІР об'єктів i -го типу:

$P_{\text{рес}i}^H$ – нормативні (встановлені керівними документами) параметри, що регламентують технічну експлуатацію об'єктів даного типу:

$$P_{\text{рес}i}^H = \left\{ \left\langle R_i^r, T_i^r, N_i^r \right\rangle, r = \overline{0, N_{\text{вид}r}} \right\}, \quad (5)$$

де R_i^r – нормативний ресурс, встановлений для об'єкта i -го типу в результаті виконання ПР r -го виду; T_i^r – нормативний строк служби об'єкту i -го типу після проведення ПР r -го виду; N_i^r – кількість ПР r -го виду, яке повинно бути виконано протягом всього терміну експлуатації об'єкта i -го типу до його списання; $N_{\text{вид}r}$ – нормативна кількість видів ПР. Види ПР відрізняються об'ємом ремонтних робіт (найбільш поширені два види ПР – середній і капітальний). При $r = 0$ параметри $\langle R_i^0, T_i^0, N_i^0 \rangle$ є відповідними параметрами для нового об'єкта i -го типу;

$S_i(t)$ – вектор, що визначає стан об'єктів i -го типу в момент часу t :

$$S_i(t) = \left\{ \left\langle R_{ij}(t), T_{ij}(t), n_{rij}(t) \right\rangle; j = \overline{1, |O_i|} \right\}, \quad (6)$$

де $R_{ij}(t)$ та $T_{ij}(t)$ – залишковий ресурс та строк служби ij -го об'єкту в момент часу t ; $n_{rij}(t)$ – остаточна кількість ремонтів, які ще повинно бути виконано на даному об'єкті до його списання;

Π_{ri} – план ремонту об'єктів i -го типу, що представлений наступним множителем:

$$\Pi_{ri} = \left\{ \left\langle \left\langle t_{rij}^{(k)}, \tau_{rij}^{(k)} \right\rangle; k = \overline{1, N_{rij}} \right\rangle; j = \overline{1, |O_i|} \right\}, \quad (7)$$

де $t_{rij}^{(k)}$ – плановий момент часу k -го ремонту ij -го об'єкту; $\tau_{rij}^{(k)}$ – тривалість виконання k -го ремонту; N_{rij} – кількість усіх ремонтів, запланованих для ij -го об'єкту;

Π_{ci} – план списання об'єктів i -го типу:

$$\Pi_{ci} = \left\{ t_{cij}; j = \overline{1, |O_i|} \right\}, \quad (8)$$

де t_{cij} – запланований час списання об'єкта (яке не обов'язково має збігатися з нормативним терміном вичерпання його ресурсу або строку служби);

Π_{ni} – план поставок нових об'єктів i -го типу в угруповання:

$$\Pi_{ni} = \left\{ t_{nik}; k = \overline{1, N_{ni}} \right\}, \quad (9)$$

де t_{nik} – запланований момент часу надходження в угруповання k -го нового об'єкту i -го типу; N_{ni} – кількість нових об'єктів i -го типу, які мають надійти в угруповання на даному проміжку часу.

З урахуванням введених позначень параметрів ПВІР функції $N_i(t)$ та $R_{\Sigma i}(t)$ в повному їх уявленні можна записати в такий спосіб:

$$N_i(t) = N_i \left(t / P_{\text{рес}i}^H, S_i(t_0), \bar{\eta}_i, \Pi_{ri}, \Pi_{ci}, \Pi_{ni} \right);$$

$$R_{\Sigma i}(t) = R_{\Sigma i} \left(t / P_{\text{рес}i}^H, S_i(t_0), \bar{\eta}_i, \Pi_{ri}, \Pi_{ci}, \Pi_{ni} \right), \quad (10)$$

де $\bar{\eta}_i = \left\{ \bar{\eta}_{ij}; j = \overline{1, |O_i|} \right\}$ – векторний параметр, що характеризує зовнішню навантаженість на угруповання (на об'єкти i -го типу).

Введені параметри ПВІР в сукупності з залежностями (10) визначають собою математичну модель процесу витрачання та поповнення ресурсу окремого об'єкта. Наявність такої моделі є необхідною умовою для вирішення різних завдань управління складом і ресурсом угруповання.

Завдання управління складом і ресурсом угруповання. Вимога до складу і ресурсу угруповання об'єктів техніки можна визначити такими умовами:

$$N_i \left(t / P_{\text{рес}i}^H, S_i(t_0), \bar{\eta}_i, \Pi_{ri}^*, \Pi_{ci}^*, \Pi_{ni}^* \right) \leq N_i^{\text{TP}}; \quad (11, a)$$

$$R_{\Sigma i} \left(t / P_{\text{рес}i}^H, S_i(t_0), \bar{\eta}_i, \Pi_{ri}^*, \Pi_{ci}^*, \Pi_{ni}^* \right) \leq R_{\Sigma i}^{\text{TP}}, \quad (11, б)$$

де N_i^{TP} та $R_{\Sigma i}^{\text{TP}}$ – необхідні значення кількості об'єктів i -го типу і їх сумарного ресурсу, при яких забезпечується необхідний рівень ефективності функціонування угруповання; $\Pi_{ri}^*, \Pi_{ci}^*, \Pi_{ni}^*$ – оптимальні (у відносному розумінні) плани ремонту, списання та поставок нових об'єктів в угрупованні.

Вимога до складу угруповання (11,а) має ясний фізичний зміст – якщо кількість об'єктів в угрупованні знизиться нижче допустимого, то ефективність угруповання не буде відповідати необхідності. Тому не виникає питань у зв'язку з визначенням значення N_i^{TP} – це прерогатива старшої «системи», функціонування якої забезпечується розглядаємим угрупованням об'єктів техніки.

Вимога до сумарного ресурсу об'єктів (11,б) визначає свого роду "запас міцності" угруповання, тобто визначає, як довго може існувати угруповання при зберіганні необхідної ефективності. Задача визначення величини $R_{\Sigma_i}^{TP}$ дуже складна. Однак, відмова від показника сумарного ресурсу $R_{\Sigma_i}(t)$ є помилкою, так як він несе в собі важливу інформацію про "життєздатність" угруповання. На практиці величина $R_{\Sigma_i}^{TP}$ зазвичай задається наступним чином:

$$R_{\Sigma_i}^{TP} = R_{\Sigma_i}^{MT} \cdot \alpha_i, \quad (12)$$

де $R_{\Sigma_i}^{MT}$ – сумарний ресурс всіх об'єктів і-го типу, які повинні бути в складі угруповання згідно з її штатним складом за умови, що всі об'єкти нові (величину $R_{\Sigma_i}^{MT}$ називають ще *табельним ресурсом*); α_i – коефіцієнт, величина якого визначає відносний рівень необхідного запасу ресурсу (величину α_i визначають за досвідом експлуатації і на практиці зазвичай задають $\alpha_i = 0,5$).

Умови (11) можна розглядати як постановку задачі управління складом і ресурсом угруповання, в якій керованими параметрами є плани Π_{pi} , Π_{ci} і Π_{ni} . Параметр $\bar{\eta}_i$, як відмічалось раніше, є частково керованим. Параметр P_{reci}^H є некерованим, так як їм представлені характеристики об'єктів – елементів угруповання, тип яких заданий. В цілому завдання (11) не можна розглядати просто як завдання оптимізації, в результаті вирішення якої повинні бути знайдені оптимальні рішення Π_{pi}^* , Π_{ci}^* , Π_{ni}^* , її потрібно розглядати і вирішувати саме як завдання управління, так як плани Π_{pi}^* , Π_{ci}^* і Π_{ni}^* повинні періодично коректуватися протягом усього часу існування угруповання. Розгляд питань, пов'язаних з її вирішенням, виходить за рамки даної статті.

Вочевидь, що необхідною умовою для вирішення завдання (11) є побудова моделі, за допомогою якої можна було б визначити залежності (10). Така модель була розроблена авторами з використанням системи програмування Delphi [11]. Модель реалізована в рамках раніше розробленої програми ISMPN [12] шляхом введення до неї додаткового режиму **Угрупування | Прогнозування складу і ресурсу**.

Нижче розглядається простий приклад, який ілюструє застосування цієї програми.

Приклад рішення задачі прогнозування складу та ресурсу угруповання. Для прикладу було взяте угруповання, що складається з 30 однотипних об'єктів. У вихідних даних було запропоновано такі характеристики об'єкта (параметр P_{reci}^H):

$R_i^0 = 10000$ год – ресурс нового об'єкту;

$T_i^0 = 9$ років – строк служби нового об'єкту;

$R_i^1 = 8000$ год – ресурс, який заповнюється в результаті проведення ПР;

$T_i^1 = 6$ років – строк служби, який встановлюється після проведення ПР;

$N_i = 2$ – кількість ПР, яке повинно бути виконано до списання об'єкта;

$N_{видр} = 1$ – кількість видів ПР;

$T_{гр} = 20$ років – розглянутий період експлуатації угруповання.

Моделювання проводилося в режимі нормативного планування, коли моменти часу відправки в ремонт і списання об'єктів відбуваються в строго встановлені терміни (імітувалося виконання нормативних планів Π_{pi}^H та Π_{ci}^H). Нові об'єкти в складі угруповання на протязі періоду $T_{гр}$ не надходять ($\Pi_{ni} = \emptyset$).

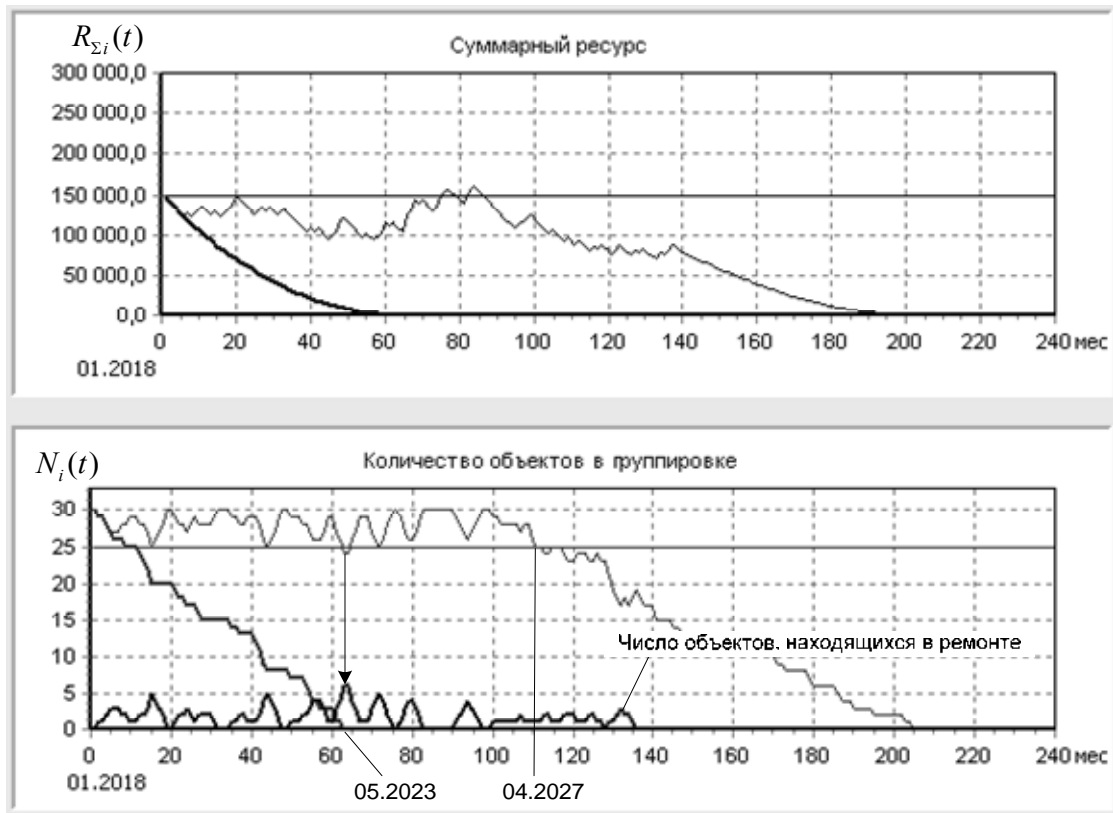
Початковий стан угруповання $S_i(t_0)$ генерувалося випадковим чином: значення початкового ресурсу $R_{ij}(t_0)$ визначалися як реалізації рівномірно розподілених випадкових величин, обраних в діапазоні [1000...10000 год]. Значення річного ліміту витрат ресурсу L_{Rij} так само генерувалися як випадкові величини, рівномірно розподілені в діапазоні [1500...2500 год/рік]. Інтенсивність витрачання ресурсу об'єктів $\bar{\eta}_{ij}$ ($j = \overline{1,30}$) визначалися за формулою (4). Початкове значення періоду експлуатації угруповання t_0 задано рівним 01.01.2018.

На рис. 4 показані графіки функції $N_i(t)$ і $R_{\Sigma_i}(t)$, одержані в результаті моделювання для умов прикладу, що розглядається.

На графіку $N_i(t)$ в загальних координатах показані також графіки, що відображають кількість об'єктів, що знаходяться в ремонті.

Припустимо, що необхідна кількість об'єктів в угрупованні задано $N_i^{TP} = 25$, тоді по графікам $N_i(t)$ можна визначити тривалість існування угруповання в необхідному складі. У розглянутому прикладі ми визначаємо, що необхідний склад угруповання при дотриманні заданих нормативів заповнення ресурсу об'єктів буде підтримуватися протягом приблизно 9,1 років (до квітня 2027 р.).

За цим же графіками можна визначити «небезпечні» періоди часу, коли склад угруповання може виявитися нижче допустимого. Так, за графіком на рис. 4 видно, що такий небезпечний період можливий близько травня 2023 р.

Рис. 4. Графіки функції $N_i(t)$ та $R_{\Sigma_i}(t)$, що одержані в результаті моделювання

Висновки

1. Запропонована математична модель процесів витрачання та поповнення ресурсу (ПВПР) угруповання технічних об'єктів адекватно відображає їх зміст. Ця модель дозволяє прогнозувати склад і ресурс угруповання на майбутній період її експлуатації.

2. Модель ПВПР може бути використана в подальшому для визначення оптимальних планів ремонту, списання та поставок нових об'єктів техніки в це угруповання.

3. Приведений приклад результатів моделювання підтверджує правильність алгоритмічної і програмної реалізації моделі.

Список літератури

1. 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. – Київ, 2016. – № 4(47). – С. 3-8.
2. 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.
3. 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.
4. Толлок І.В. Імітаційна статистична модель процесу технічного обслуговування "за станом" складного об'єкту озброєння і військової техніки, що відновлюється / І.В. Толлок // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2017. – № 55. – С. 106-112.
5. Толлок І.В. Деякі аспекти визначення та поповнення ресурсу складних технічних об'єктів, що відновлюються / І.В. Толлок // Сучасна спеціальна техніка. – Київ, 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. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
8. Ша Чжу. Улучшенный метод прогнозирования спроса на запасные части с использованием теории экстремальных значений. Оригинальная исследовательская статья / Ша Чжу, Роммерт Деккер, Виллемван Яарсвельд, Рекс Ван Ренцзе, Алекс Дж. Кониинг // Европейский журнал оперативных исследований. – 6 августа 2017. – Т. 261. – С. 169-181.
9. Линг Ли. Улучшенная модель стохастического программирования для планирования цепочки поставок запасных частей MRO. Оригинальная исследовательская статья / Линг Ли, Мин Лю, Вейминг Шен, Гоцин Чэн. Улучшенная мо-

дель стохастического программирования для планирования цепочки поставок запасных частей MRO // Прикладное математическое моделирование. – Июль, 2017. – Т. 47. – С. 189-207.

10. Моделі процесів витрат і поповнення ресурсу складних відновлюваних об'єктів і систем радіоелектронної техніки: монографія / К.Ф. Боряк, В.О. Браун, С.В. Ленков, О.В. Селюков, В.М. Цицарев. – Київ: Знання України, 2008. – 267 с.

11. Дарахвелидзе П.Г. Программирование в Delphi 7 / П.Г. Дарахвелидзе, Е.П. Марков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 784 с.

12. Lenkov S. Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: monography in English / S. Lenkov, K. Borjak, G. Banzak, V. Braun, V. Ossypa, S. Pashkov, V. Tsitsarev, Ju. Berezovskaya; under edition S.V. Lenkov. – Odessa: Publishing house «BMB», 2014. – 252 p.

References

1. Lienkov, S.V. and Lienkov, Ye.S. (2016), "Formalizovana metodyka optymizatsii parametriv stratehii tekhnichnoho obsluhovuvannya za resursom skladnykh vyrobiv tryvaloї ekspluatatsii" [Formalized method of optimization of the parameters of the maintenance strategy for the resource of complex products of prolonged operation], *Suchasna spetsialna tekhnika*, No. 4(47), pp. 3-8.

2. 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, *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, No. 4, pp. 34-42.

3. Lienkov, Ye.S. (2017), "Uzahalnena matematychna model protsesu tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu skladnoi tekhniki" [A generalized mathematical model of the process of maintenance and repair of complex equipment], *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, No. 2, Khmelnytskyi, pp. 186-191.

4. Tolok, I.V. (2017), "Imitatsiina statystychna model protsesu tekhnichnoho obsluhovuvannya "za stanom" skladnoho ob'ektu ozbroiennia i viiskovoi tekhniki, shcho vidnovliuetsia" [Simulation statistical model of the maintenance process "in the state" of a complex weapon and military equipment that is being restored], *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, No. 55, Kyiv, pp. 106-112.

5. Tolok, I.V. (2017), "Deiaki aspekty vyznachennia ta popovnennia resursu skladnykh tekhnichnykh ob'ektiv, shcho vidnovliuetsia" [Some aspects of determining and replenishing the resource of complex technical objects that are being restored], *Suchasna spetsialna tekhnika*, No. 1, Kyiv, pp. 41-44.

6. Zhyrov, H.B., Lienkov, Ye.S. and Tolok, I.V. (2017), "Alhorytmichna model adaptivnoho tekhnichnoho obsluhovuvannya za stanom ozbroiennia i viiskovoi tekhniki" [Algorithmic model of adaptive maintenance on the state of armament and military equipment], *Zbirnyk prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy imeni B. Khmelnytskoho. Seriya: viiskovi ta tekhnichni nauky*, No. 1(71), Khmelnytskyi, pp. 368-378.

7. DSTU 2860-94. "Nadiinist tekhniki. Terminy ta vyznachennia" [Reliability of technology. Terms and definitions].

8. Sha, Chzhu, Rommert, Dekker, Vilemvan, Jaarsvel'd, Reks, Van Rencze and Aleks, Dzh. Koning (2017), "Uluchshennyj metod prognozirovaniia sprosa na zapasnye chasti s ispol'zovaniem teorii jekstremal'nykh znachenij. Original'naja issledovatel'skaja stat'ja" [Improved method for forecasting demand for spare parts using the theory of extreme values. Original research article], *Evropejskij zhurnal operativnykh issledovaniij*, Vol. 261, 16 august, pp. 169-181.

9. Ling, Li, Min, Lju, Vejming, Shen and Gocin, Chjen (2017), "Uluchshennaja model' stohasticheskogo programmirovaniia dlja planirovaniia cepochki postavok zapasnykh chastej MRO. Original'naja issledovatel'skaja stat'ja" [Improved stochastic programming model for planning the supply chain of spare parts for MRO. Original research article], *Prikladnoe matematicheskoe modelirovanie*, Vol. 47, July, pp. 189-207.

10. Boriak, K.F., Braun, V.O., Lienkov, S.V., Sieliukov, O.V. and Tsytsariev, V.M. (2008), "Modeli protsesiv vytrat i popovnennia resursu skladnykh vidnovliuvanykh ob'ektiv i system radioelektronnoi tekhniki" [Models of processes of costs and replenishment of resources of complex renewable objects and systems of electronic equipment], *Znannia Ukrainy Publ.*, Kyiv, 267 p.

11. Дарахвелидзе, П.Г. and Марков, Е.П. (2004), "Программирование в Delphi 7" [Programming in Delphi 7], БХВ-Петербург, СПб., 784 p.

12. Lenkov, S., Borjak, K., Banzak, G., Braun, V., Ossypa, V., Pashkov, S., Tsitsarev, V. and Berezovskaya, Ju. (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 8.02.2018

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

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

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

Цыцарев Вадим Миколайович

кандидат технічних наук, доцент
старший науковий співробітник
Військового інституту Київського
національного університету
імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
e-mail: tsitsarev@mail.ru

Vadim Tsitsarev

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Research Associate
of Military Institute
of Taras Shevchenko
National University
Kyiv, Ukraine
e-mail: tsitsarev@mail.ru

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

Evgen Lenkov

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСХОДОВАНИЯ И ПОПОЛНЕНИЯ РЕСУРСОВ ГРУППИРОВКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

С.В. Ленков, И.В. Толок, В.Н. Цыцарев, Е.С. Ленков

В статье предлагается математическая модель процессов расходования и пополнения ресурса (ПРПР) группировки технических объектов. Определяется понятие группировки, вводятся показатели качества ПРПР группировки, определяются их параметры. Параметрами отдельных технических объектов есть ресурс и срок службы, по истечении которых эксплуатация объекта в составе группировки должна быть прекращена. Параметрами ПРПР есть план проведения ремонтов, которые восстанавливают ресурс объектов, план списания объектов, ресурс которых исчерпан, и план поставок в группировку новых объектов и запасных частей. Показателями качества ПРПР в целом выбраны состав и суммарный ресурс группировки, необходимые значения которых должны поддерживаться в течение всего времени существования группировки. Сформулировано постановку задачи управления складом и ресурсом группировки, в которой управляемыми параметрами планы ремонта, списания и поставок объектов в группировки.

Разработана математическая модель, которая устанавливает зависимость показателей качества ПРПР от параметров объектов и группировки. Модель программно реализована средствами системы программирования Delphi. Приводится пример результатов моделирования, демонстрирует работоспособность алгоритмов моделирования и возможности практического применения модели.

Ключевые слова: ресурс технического объекта, срок службы технического объекта, состав и ресурс группировки, план ремонта, списания и поставок новых объектов.

MODELING OF PROCESSES OF EXPENDITURE AND RESOURCE REPLENISHMENT GROUPING OF TECHNICAL OBJECTS

S. Lenkov, I. Tolok, V. Tsytsarev, Ye. Lenkov

In the article, a mathematical model of the processes of spending and replenishing the resource (PVPR) of the grouping of technical objects is proposed. The concept of grouping is defined, the quality indicators of the PVPR grouping are introduced, its parameters are determined. The parameters of individual technical objects are the resource and service life, after which the operation of the object within the grouping should be stopped. The parameters of the VFRP have a plan for repairs, which restore the resource of the facilities, the plan for the write-off of facilities whose resource is exhausted, and the supply plan for the grouping of new facilities and spare parts. Indicators of the quality of the VFR in general selected the composition and total resource of the grouping, the necessary values of which should be maintained throughout the entire existence of the grouping. The formulation of the task of managing a warehouse and a grouping resource is formulated, in which the parameters controlled by the plans repair, write-off and supply objects to the groupings.

A mathematical model has been developed that establishes the dependence of VDPR quality indicators on the parameters of objects and grouping. The model is implemented programmatically with the help of the Delphi pro-grammatical system. An example of modeling results is given, demonstrates the working capacity of simulation algorithms and the possibilities of practical application of the model.

Keywords: resource of technical object, service life of technical object, composition and resource of grouping, plan for repair, write-off and supply of new objects.