

Є.С. Ленков<sup>1</sup>, І.В. Толок<sup>2</sup><sup>1</sup> Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ<sup>2</sup> Військовий інститут Київського національного університету ім. Т. Шевченка, Київ

## ПРОГНОЗУВАННЯ СКЛАДУ І РЕСУРСУ УГРУПУВАНЬ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Угрупування технічних об'єктів створюються зазвичай для вирішення тих чи інших масштабних завдань в тих випадках, коли окремих об'єктів вирішити такі завдання не може. Здатність угрупування вирішувати поставлені завдання залежить від її складу і від ресурсу окремих об'єктів. Тому для забезпечення ефективності функціонування угрупування необхідно постійно підтримувати необхідний склад угрупування і ресурс окремих об'єктів. Для того, щоб своєчасно вживати необхідних заходів з підтримки складу і ресурсу угрупування (проводити ремонти і поставку нових об'єктів), потрібно вирішувати задачу їх прогнозування. Таке прогнозування можливо тільки на основі застосування математичної моделі процесів витрачання та поповнення ресурсу (ПВІР) об'єктів угрупування. У статті наводиться короткий опис моделі ПВІР і приклади результатів її застосування. При побудові моделі використовувався метод імітаційного моделювання. Таке прогнозування можливо тільки на основі застосування математичної моделі процесів витрачання та поповнення ресурсу (ПВІР) об'єктів угрупування. У статті наводиться короткий опис моделі ПВІР і приклади результатів її застосування. При побудові моделі використовувався метод імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** угрупування технічних об'єктів, ресурс технічного об'єкта, термін служби технічного об'єкта, склад і ресурс угрупування, процес витрачання та поповнення ресурсу.

### Вступ

Під поняттям угрупування технічних об'єктів розуміється сукупність технічних засобів, що розміщені на деякій території та призначені для розв'язання якої-небудь загальної задачі. Типовим прикладом угрупування є сукупність наземних радіолокаційних станцій (РЛС) деякої системи проти-повітряної оборони (ППО) на певній території.

**Постановка проблеми.** Для забезпечення необхідних показників якості такої системи РЛС, що входять до його складу, повинні бути різноманітними. Один тип РЛС повинен забезпечувати виявлення цілей на великих відстанях, при цьому великої точності визначення координат цілі не потрібно. Інший тип РЛС призначений для виявлення цілей на малих висотах, вочевидь кількість таких РЛС має бути великою. Третій тип повинен забезпечувати високу точність визначення координат цілей, тому що інформація цих РЛС використовується безпосередньо для наведення активних засобів ППО для знищення цілей. І так далі. З цього випливає, що співвідношення кількості РЛС різних типів в кожен момент часу існування угрупування має бути строго визначеним і відповідати найбільшій ефективності угрупування. Подібні твердження можна поширити і на угрупування інших видів техніки, наприклад, авто-тракторної, бронетанкової, рятувальної техніки тощо. Кожен елемент угрупування являє собою складний технічний об'єкт, який характеризується своїми показниками надійності, ресурсу та терміну служби. Будемо виходити з того, що кожен об'єкт повинен знаходитися в складі угрупування тільки в межах

часу, встановлених керівними документами (нормативами) для об'єктів даного типу. У разі вичерпання ресурсу або закінчення нормативного терміну служби об'єкта він повинен бути виведений зі складу угрупування для заповнення ресурсу (шляхом проведення капітального або середнього ремонту) або для списання та подальшої утилізації. Якщо продовжувати експлуатацію об'єкта після вичерпання його ресурсу або строку служби, то рівень надійності об'єктів буде знижуватися, що, природно, призводить до зниження рівня ефективності функціонування угрупування.

Таким чином, виникає важливе завдання підтримки необхідних складу і ресурсу угрупування в кожен момент часу заданого проміжку часу його існування. Вочевидь, що вирішувати таке завдання можна тільки на основі прогнозування складу та ресурсу угрупування на майбутній період часу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вочевидь, для вирішення поставленої проблеми необхідна математична модель процесу витрачання та поповнення ресурсу ПВІР, за допомогою якої можна було б здійснювати таке прогнозування. У даній статті наводиться короткий опис математичної моделі ПВІР угрупування, розробленої авторами раніше в [1–3] після чого розглядаються приклади її застосування.

Крім цього, авторами проаналізовані публікації за останні роки в наступних напрямках. Визначення інтенсивності відмов і відновлень технічних систем на основі застосування інформаційних технологій у тому числі методів імітаційного моделювання [4–9]. Аналіз моделей адаптивного технічного обслугову-

вання [10–11] та деяких інших технологій. Зазначений аналіз дозволив сконцентруватись на розробці математичної моделі процесу витрачання та поповнення ресурсу угруповання та провести експеримент з її застосуванням.

**Метою статті** є розробка наукових та практичних пропозицій по забезпеченню ефективності функціонування угруповання за рахунок підтримання його необхідного складу та ресурсу окремих об'єктів.

## Виклад основного матеріалу

### Математична модель процесу витрачання та поповнення ресурсу угруповання

Прогнозованими показниками в даній моделі визначені наступні:  $N(t) = \{N_i(t); i = \overline{1, N_{\text{тип}}}\}$  – векторний показник, що визначає склад угруповання в момент часу  $t$ , де  $N_i(t)$  – кількість об'єктів  $i$ -го типу ( $N_{\text{тип}}$  – кількість різних типів об'єктів в складі угруповання);  $R_{\Sigma}(t) = \{R_{\Sigma i}(t); i = \overline{1, N_{\text{тип}}}\}$  – вектор, який визначає сумарний ресурс угруповання, в якому  $R_{\Sigma i}(t)$  – сумарний ресурс об'єктів  $i$ -го типу на поточний момент часу  $t$ .

Показник складу  $N(t)$  визначає функціональні (тактичні) можливості угруповання в даний момент часу, а показник  $R_{\Sigma}(t)$  визначає узагальнено прогнозовану тривалість існування угруповання з необхідними показниками надійності об'єктів. Характер функцій  $N(t)$  та  $R_{\Sigma}(t)$  визначаються змістом процесу витрачання та поповнення ресурсу (ПВПР) угруповання. Для формалізованого опису ПВПР наведемо наступні параметри:

$S(t_0)$  – стан процесу (угруповання) на момент часу  $t_0$ , де  $t_0$  – це початковий момент часу розглянутого інтервалу прогнозування;

$P_{\text{рес}}^{\text{н}}$  – загальний параметр, що характеризує нормативні (встановлені керівними експлуатаційними документами) показники ресурсу об'єктів;

$\bar{\eta}$  – вектор середньої інтенсивності витрачання ресурсу об'єктами угруповання;

$\Pi_p, \Pi_c$  та  $\Pi_{\text{с}}$  – параметри, що представляють собою плани ремонту, списання та поставки в угруповання нових об'єктів.

З урахуванням цього математичну модель ПВПР угруповання представимо у вигляді наступних узагальнених залежностей:

$$\begin{aligned} N(t) &= N\left(t/S(t_0), P_{\text{рес}}^{\text{н}}, \bar{\eta}, \Pi_p, \Pi_c, \Pi_{\text{н}}\right); \\ R_{\Sigma}(t) &= R_{\Sigma}\left(t/S(t_0), P_{\text{рес}}^{\text{н}}, \bar{\eta}, \Pi_p, \Pi_c, \Pi_{\text{н}}\right), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $N(t)$  та  $R_{\Sigma}(t)$  – підсумкові показники, які визначаються для моменту часу  $t$  ( $t \in [t_0, t_0 + T_3]$ );

$t_0$  – поточний момент часу, відповідний початку інтервалу прогнозування;

$T_3$  – тривалість заданого інтервалу прогнозування);

$S(t_0)$  – початковий стан моделюючого процесу;

$P_{\text{рес}}^{\text{н}}, \bar{\eta}, \Pi_p, \Pi_c, \Pi_{\text{н}}$  – параметри моделі (вихідні данні), що задаються користувачем.

Узагальнену модель (1) можна розглядати як сукупність моделей, що описують поведінку процесів окремо для кожного з типів об'єктів, наявних в угрупованні. Тому замість узагальненої моделі (1) можна розглядати її еквівалентне представлення як сукупності таких моделей:

$$\begin{aligned} N_i(t) &= N_i\left(t/S_i(t_0), P_{\text{рес}i}^{\text{н}}, \bar{\eta}_i, \Pi_{p_i}, \Pi_{c_i}, \Pi_{n_i}\right); \\ R_{\Sigma i}(t) &= R_{\Sigma i}\left(t/S_i(t_0), P_{\text{рес}i}^{\text{н}}, \bar{\eta}_i, \Pi_{p_i}, \Pi_{c_i}, \Pi_{n_i}\right), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $N_i(t)$  і  $R_{\Sigma i}(t)$  – кількість об'єктів та сумарний ресурс об'єктів  $i$ -го типу, наявних в складі угруповання в момент часу  $t$ ;

$S_i(t_0), P_{\text{рес}i}^{\text{н}}, \bar{\eta}_i, \Pi_{p_i}, \Pi_{c_i}, \Pi_{n_i}$  – відповідні параметри, що відносяться до  $i$ -го типу об'єктів ( $i = \overline{1, N_{\text{тип}}}$ ;  $N_{\text{тип}}$  – кількість типів об'єктів в угрупованні).

Параметри моделі мають наступний опис:

$S_i(t_0)$  – вектор, що характеризує стан об'єктів  $i$ -го типу в момент часу  $t_0$ ; елементами вектору є трійки наступного вигляду:

$$S_{ij}(t_0) = \langle R_{ij}(t_0), T_{ij}(t_0), N_{rij}(t_0) \rangle, \quad (3)$$

де  $R_{ij}(t_0)$  та  $T_{ij}(t_0)$  – остаточний ресурс та остаточний строк служби  $j$ -го об'єкта  $i$ -го типу ( $ij$ -го об'єкта) на момент часу  $t_0$ ;

$N_{rij}(t_0)$  – остаточна кількість ремонтів, які ще потребує виконання на  $ij$ -м об'єкті до його списання ( $i = \overline{1, N_{\text{тип}}}$ ;  $j = \overline{1, |O_i|}$ ):

тут  $|O_i|$  – це кількість елементів  $i$ -го типу в угрупованні ( $O_i = \{o_{ij}\}$  – позначення безлічі всіх об'єктів  $i$ -го типу);

$P_{\text{рес}i}^{\text{н}}$  – нормативні параметри, що визначають процес поповнення ресурсу об'єктів  $i$ -го типу:

$$P_{\text{рес}i}^{\text{н}} = \left\{ \langle R_i^{\text{н}k}, T_i^{\text{н}k}, N_i^{\text{н}k} \rangle; k = \overline{0, N_{\text{вид}p}} \right\}, \quad (4)$$

де  $R_i^{\text{н}k}$  та  $T_i^{\text{н}k}$  – нормативний ресурс та нормативний строк служби об'єкту  $i$ -го типу, призначуваний після проведення планового ремонту (ПР)  $k$ -го виду;  $N_i^{\text{н}k}$  – число ПР  $k$ -го виду, яке повинно бути виконано до його списання;  $N_{\text{вид}p}$  – кількість різних видів ПР. Можливі види ПР розрізняються обсягом ремонтних робіт і, отже, величиною ресурсу, запов-

нованої в результаті його проведення (на практиці поширені два види ПР – середній і капітальний).

При  $k = 0$  параметри  $\langle R_i^{n0}, T_i^{n0}, N_i^{n0} \rangle$  є відповідними параметрами нового об'єкту  $i$ -го типу;  $\bar{\eta}_{ij} = \{\bar{\eta}_{ij}\}$  – вектор, елементами якого є середні інтенсивності витрачання ресурсу об'єкту  $i$ -го типу  $\bar{\eta}_{ij}$  ( $j = \overline{1, |O_i|}$ );  $\Pi_{pi}$ ,  $\Pi_{ci}$  та  $\Pi_{ni}$  – множини, що представляють плани відповідно ремонту, списання та надходження в угруповання нових об'єктів  $i$ -го типу ( $i = \overline{1, N_{\text{тип}}}$ ).

Розглянута математична модель реалізована методом імітаційного моделювання [12]. Програмне забезпечення, що реалізує цю модель, розроблено засобами програмування Delphi для платформи Windows [13]. База даних (БД) моделі побудована на основі СУБД InterBase [14] (використовується тільки локальний сервер. Програми реалізовані як частина комплексної програми ISMPN [15].

Програмне забезпечення дозволяє вирішувати два режиму завдань:

1. Дослідити закономірності (особливості) ПРВР в різних угрупованнях і в різних умовах їх застосування. Для цього використовується режим генерування угруповань з бажаними параметрами з подальшим прогнозу для них показників  $N_i(t)$  та  $R_{\Sigma i}(t)$ .

2. Розв'язати практичні завдання для конкретних угруповань, що задаються користувачем. Для цього користувач повинен ввести в БД вихідні дані для конкретного угруповання і після цього вирішувати для неї конкретні завдання прогнозування тих же показників  $N_i(t)$  і  $R_{\Sigma i}(t)$ , задачі планування ремонту та поставок нових об'єктів в угруповання.

В обох режимах використовуються одні й ті ж алгоритми моделювання, одні і ті ж форми відображення результатів. У даній статті наводяться приклади моделювання для одного і того ж угруповання для трьох варіантів її початкового стану. Варіанти ці домовимося розглядати як різні угруповання, присвоївши їм умовні назви «нова», «стара» і «врівноважена» (сенс поняття «врівноважена» пояснимо пізніше). Порівняльний аналіз результатів прогнозів, отриманих для цих угруповань, дозволяє скласти достатнє уявлення про можливість застосування розробленої моделі ПРВР і створеного для її реалізації програмного забезпечення.

### Приклади застосування моделі

Для прикладу візьмемо угруповання, що складається з об'єктів двох типів (умовно їх назвемо **Тип-1** та **Тип-2**). Кількість об'єктів для різних типів об'єктів поставимо наступне:  $N_{\text{тип-1}} = 10$  і  $N_{\text{тип-2}} = 30$ .

Будемо вважати, що заданий тільки один вид ремонту для заповнення ресурсу ( $N_{\text{видр}} = 1$ ). За ра-

хунок цього замість цього (4) параметри  $P_{\text{реци}}^n$  представляються наступним чином:

$$P_{\text{реци}}^n = \left\{ \langle R_i^{n0}, T_i^{n0}, N_i^{n0} \rangle, \langle R_i^{n1}, T_i^{n1} \rangle \right\}, (i = \overline{1, N_{\text{тип}}}), (5)$$

де  $\langle R_i^{n0}, T_i^{n0}, N_i^{n0} \rangle$  – нормативні параметри для нового об'єкта;  $\langle R_i^{n1}, T_i^{n1} \rangle$  – нормативні параметри заповнення ресурсу після проведення ремонту.

Введемо в БД наступні значення цих параметрів:

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

$T_i^{n0} = 10$  років – строк служби нового об'єкта до 1-го ПР чи до списання;

$N_i^{n0} = 2$  – кількість ПР, яке повинно бути виконано на об'єкті до його списання;

$R_i^{n1} = 8000$  год – ресурс, який заповнює після проведення ПР;

$T_i^{n1} = 8$  років – строк служби об'єкта, який заповнює після проведення ПР ( $i = 1, 2$ ).

Всі ці параметри задамо однаковими для обох типів об'єктів.

Моделювання будемо здійснювати в режимі генерування угруповань із заданими параметрами. Задамо три варіанти одного і того ж угруповання, які розрізняються лише вихідним станом ресурсу об'єктів угруповання в початковий момент часу  $t_0$ , тобто угруповання, розрізняються лише параметром  $S_i(t_0)$ .

Назвемо ці три варіанти умовно, як визначалось раніше, «нова», «стара» і «врівноважена».

Для «нового» угруповання початковий ресурс  $R_{ij}^0 = R_{ij}(t_0)$  для всіх об'єктів поставимо однаковим і рівним  $R_{ij}^0 = R_{ij}^{n0} = 10000$  год ( $j = \overline{1, |O_i|}$ ).

Для «старого» угруповання початковий ресурс об'єкта  $R_{ij}^0$  будемо генерувати випадковим чином (рівномірний розподіл) в діапазоні значень  $R_{ij}^0 \in [100 \text{ год}; 1000 \text{ год}]$ .

Для «врівноваженою» угруповання початковий ресурс  $R_{ij}^0$  будемо генерувати також випадковим чином в діапазоні значень  $R_{ij}^0 \in [1000 \text{ год}; 10000 \text{ год}]$ .

Параметри  $T_{ij}^0$  та  $N_{ij}^0$  будемо ставити однаковими для всіх варіантів угруповань і рівними їх нормативним значенням:  $T_{ij}^0 = T_i^{n0} = 10$  років,  $N_{ij}^0 = N_i^{n0} = 2$ .

Річний ліміт витрати ресурсу  $L_{ij}$  (Визначає інтенсивність витрачання ресурсу об'єктів  $\bar{\eta}_{ij}$ :  $\bar{\eta}_{ij} = L_{ij} / (365 \cdot 24 \text{ год})$ ) будемо генерувати в діапазоні значень  $\bar{\eta}_{ij} \in [1000 \text{ год/рік}; 1500 \text{ год/рік}]$ .

Параметри моделювання задамо наступні:

- період експлуатації угруповання (інтервал прогнозування)  $T_c = 20$  років;
- інтервал дискретності зміни модельного часу  $\Delta t = 1$  рік;
- дата початку періоду експлуатації угрупован-

ня  $D0=1.01.2018$ .

На рис. 1 наведені графіки функцій  $R_{\Sigma_i}(t)$  та  $N_i(t)$ , що одержані в результаті моделювання для умов даного прикладу для трьох варіантів угруповань об'єктів **Тип-1**.

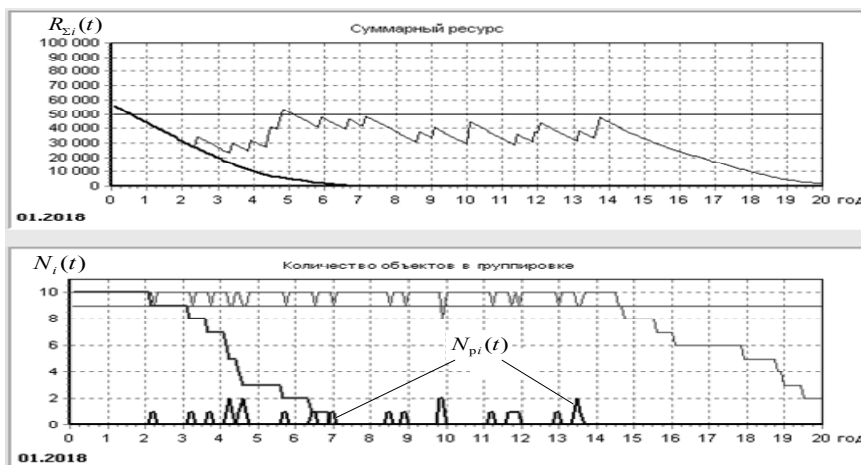
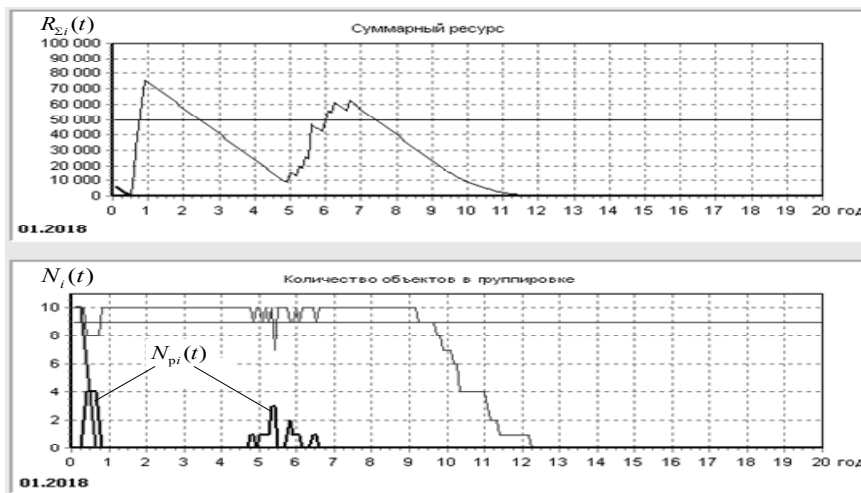
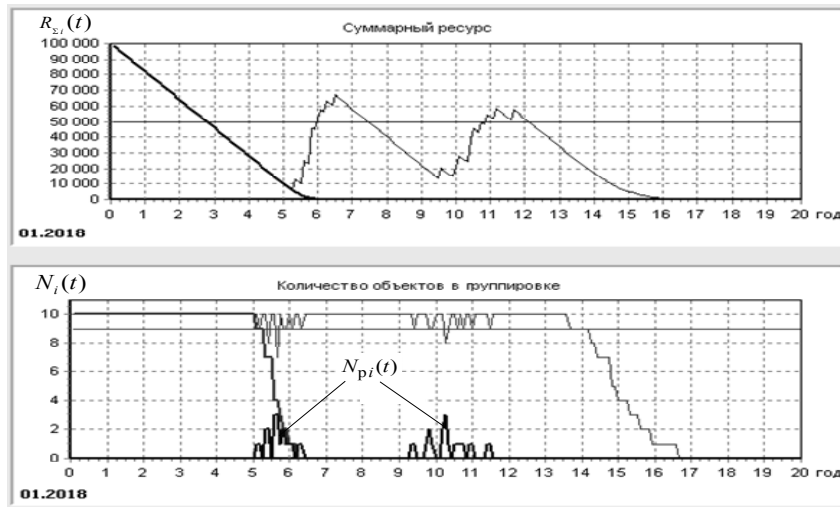


Рис. 1. Результати моделювання для об'єктів **Тип-1**

На графіках  $N_i(t)$  в загальних координатах відображаються також графіки для числа об'єктів, що знаходяться в ремонті,  $N_{pi}(t)$ . Всі наведені графіки отримані в режимі Нормативне планування, при якому відправка в ремонт об'єктів і їх списання здійснюються строго відповідно до встановлених нормативними вимогами. Об'єкт відразу вирушає в ремонт або списується, як тільки вичерпується його ресурс. В цьому режимі плани ремонту, списання та поставок  $\Pi_{pi}$ ,  $\Pi_{ci}$  та  $\Pi_{ni}$  формуються автоматично і доступні користувачеві для практичного використання.

Аналіз отриманих результатів в даному прикладі показує наступне. Стан угруповання, яке визначається трійкою  $\langle R_{ij}(t_0), T_{ij}(t_0), N_{pij}(t_0) \rangle$ , досить суттєво впливає на перебіг ПВПР в майбутньому. У випадках «нового» або «старого» угруповань, коли початковий ресурс об'єктів приблизно однаковий, з великою ймовірністю призводить до виникнення в майбутньому небезпечних періодів, в яких склад угруповання може знизиться нижче критичного за рахунок необхідності одночасного надсилання в ремонт або списання великої кількості об'єктів (якщо строго дотримуватися нормативні вимоги поповнення ресурсу). Тому на практиці при плануванні експлуатації об'єктів в угрупованнях завжди необхідно прагнути до стану, який ми назвали «врівноваженим». В такому стані ймовірність виникнення в майбутньому небезпечних для цілісності угруповання періодів різко скорочується. При цьому більш сприятливими будуть умови функціонування системи ремонтних органів угруповання.

У розглянутому прикладі «врівноваженого» угруповання ми імітували шляхом завдання приблизно рівномірного розподілу початкового ресурсу об'єктів  $R_{ij}(t_0)$  в діапазоні його можливих значень

$R_{ij}(t_0) \in [0, R_i^{n0}]$ ). Перевагу «врівноваженого» стану угруповання наочно ілюструється графіками, наведеними на рис. 1 в.

У разі «врівноваженого» угруповання потреба в одночасній відправці в ремонт складає в середньому 1-2 об'єкти. Якщо угруповання «неврівноважене» (рис. 1 а, б), тоді така потреба в нашому прикладі може зрости до 3-4 об'єктів.

Розглянуті приклади «нового» і «старого» угруповання є граничними на множині всіх можливих станів угруповання (на практиці в чистому вигляді вони рідко зустрічаються). Більшість реальних угруповань ближче до «врівноваженого». В даному прикладі ми їх використовували з метою демонстрації можливостей застосування розробленої моделі.

На ступінь «врівноваженості» угруповання впливають також параметри  $T_{ij}(t_0)$  і  $N_{pij}(t_0)$ , а також розподіл інтенсивностей витрачання ресурсу  $\bar{\eta}_{ij}$ . Ці впливи в прикладі не досліджувалися, однак потребують розв'язання у наступних роботах.

## Висновки

Прогнозування складу і ресурсу угруповання технічних об'єктів забезпечує ефективність функціонування угруповання.

Математична модель процесу витрачання та поповнення ресурсу угруповання є сукупністю моделей, що описують відповідні моделі для кожного з типів об'єктів угруповань. Ця модель може використовуватися також для вирішення інших завдань.

Отримані в розглянутому у статті прикладі результати підтверджують правильність розроблених алгоритмів моделювання та можливість їх застосування при розробці програмних систем підтримки технічної експлуатації об'єктів в угрупованнях.

## Список літератури

1. Lenkov E.S. The option for calculating the indicators of the needlessness of the unbelievable complex object of technique / E.S. Lenkov // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2018. – № 59. – С. 56-61.
2. Моделювання процесів витрачання 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. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.22>.
3. Математична модель процесів витрачання та поповнення ресурсу угруповання складних технічних об'єктів / С.В. Ленков, О.В. Селюков, І.В. Толок, Є.С. Ленков, Т.В. Бондаренко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – № 2(31). – С. 174-181. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.23>.
4. Жиров Г.Б. Обґрунтування алгоритму відшукування значень інтенсивностей відмов і відновлень технічних систем на основі застосування методів імітаційного моделювання / О.В. Боровик, Г.Б. Жиров, І.В. Гашук // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2012. – Том. 2, № 1. – С. 36-45.
5. Жиров Г.Б. Інформаційні технології забезпечення експлуатаційної надійності складних технічних об'єктів / Г.Б. Жиров // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 4(251). – С. 124-128.
6. Проценко Я.Н. Параметричний синтез автоматизованої системи технічного обслуговування складного об'єкта радіоелектронної техніки / Я.Н. Проценко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2017. – № 56. – С. 47-56.
7. Моделі процесів витрат і поповнення ресурсу складних відновлюваних об'єктів і систем радіоелектронної техніки: моногр. / К.Ф. Борзяк, В.О. Браун, С.В. Ленков, О.В. Селюков, В.М. Цицарев. – К.: Знання України, 2008. – 267 с.

8. Procenko Y. Model of adaptive condition based maintenance of radioelectronic technology objects // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2016. – № 54. – С. 92-96.
9. Жиров Г.Б. Аналіз та моніторинг телекомунікаційної мережі на основі інтелектуальних технологій / Г.Б. Жиров, Ю.І. Хлапонін // Інформаційні технології та безпека: мат-лы XVI междунар. научн.-пр. конф. ИТБ-2016. – К.: ИПРИ НАН України, 2017. – С. 104-118.
10. Жиров Г.Б. Методика визначення показників безвідмовності складових частин радіоелектронної техніки на елементній базі різних країн світу / Г.Б. Жиров // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів «Молодіжна військова наука у Київському національному університеті ім. Т. Шевченка». – 2017. – С. 85.
11. Жиров Г.Б. Алгоритм моделювання процесів технічного обслуговування за ресурсом складних радіоелектронних об'єктів // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2017. – № 57. – С. 24-30.
12. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство или наука: пер. с англ. / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
13. Дарахвелідзе П.Г. Программирование в Delphi 7 / П.Г. Дарахвелідзе, Е.П. Марков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 784 с.
14. 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.
15. 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, etc.; under edition S.V. Lenkov. – Odessa: Publishing house «BMB», 2014. – 252 p.

## References

1. Lenkov, E.S. (2018), The option for calculating the indicators of the needlessness of the unbelievable complex object of technique, *Zbirnyk naukovykh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu im. T. Shevchenka*, No. 59, pp. 56-61.
2. Lienkov, S.V., Tolok, I.V., Tsytsariiev, V.M. and Lienkov, Ye.S. (2018), “Modeliuvannia protsesiv vytrachannia ta popovnennia resursu uhrupuvannia 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. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.22>.
3. Lienkov, S.V., Sjeljukov, O.V., Tolok, I.V., Lenkov, Je.S. and Bondarenko, T.V. (2018), “Matematychna model' procesiv vytrachannia ta popovnennia resursu ugrupuvannia skladnykh tekhnichnykh ob'ektiv” [Mathematical model of the processes of spending and replenishing the resource grouping of complex technical objects], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(31), pp. 174-181. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.23>.
4. Zhyrov, G.B., Borovyk, O.V. and Gashuk, I.V. (2012), “Obgruntuvannia alorytmu vidshukannia znachen' intensyvnostry vidmov i vidnovlen' tekhnichnykh system na osnovi zastosuvannia metodiv imitacijnogo modeljuvannia” [Justification of algorithm for finding the values of intensity of failures and restorations of technical systems on the basis of application of methods of simulation modeling], *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*, Vol. 2, No.1, pp. 36-45.
5. Zhyrov, G.B. (2017), “Informacijni tehnologii' zabezpechennja ekspluatacijnoi' nadiynosti skladnykh tekhnichnykh ob'ektiv” [Informatsiyni tekhnologii' zabezpechennja ekspluatatiionoi' nadiynosti folding technical ob'yektiv], *Herald of Khmelnytskyi national university*, No. 4(251), pp. 124-128.
6. Procenko, Ja.N. (2017), “Parametrychnyj syntez avtomatyzovanoi' systemy teznichnogo obslu-govuvannja skladnogo ob'jekta radioelektronnoi' tehniki” [Parametric synthesis of automated system for the service of folding part of radio electronic technology], *Collection of scientific works of the Military Institute of the Kyiv National Taras Shevchenko University*, No. 56, pp. 47-56.
7. Borjak, K.F., Braun, V.O., Ljenkov, S.V., Sjeljukov, O.V. and Cycarjev, V.M. (2008), “Modeli procesiv vytrat i popovnennja resursu skladnykh vidnovlyuvanykh ob'ektiv i system radioelektronnoi' tehniki: monografija” [Model processes vitra and popovnennja resource folding vidnovlyuvani ob'ektiv i systems radioelektronno te-xniki: monograph], Kyiv, Znannja Ukrainy Publ, 267 p.
8. Procenko, Y. (2016), Model of adaptive condition based maintenance of radioelectronic technology objects, *Collection of scientific works of the Military Institute of the Kyiv National Taras Shevchenko University*, No. 54, pp. 92-96.
9. Zhyrov, G.B. and Hlaponin, Ju.I. (2017), “Analiz ta monitoryng telekomunikacijnoi' merezhi na osnovi intelektual'nykh tehnologij” [Analytics and monitoring telekomunikacijnoi' merezhi na osnovi intelektual'nykh tehnologij], *Informacionnye tehnologii i bezopasnost', materialy XVI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii ITB-2016*, IPRI NAN Ukrainy Publ., Kyiv, pp. 104-118.
10. Zhyrov, G.B. (2017), “Metodyka vyznachennja pokaznykiv bezvidmovnosti skladovykh chastyn radioelektronnoi' tehniki na elementnij bazi riznykh kraj'n svitu” [Methods for the demonstration of high-quality warehouse parts of radio electronic technology on the element base of other countries], *Molodizhna vijs'kova nauka u Kyi'vs'komu nacional'nomu universyteti imeni Tarasa Shevchenka, Vseukrai'ns'ka naukovo-praktychna konferencija molodyh vchenykh, ad'junktiv, sluhachiv, kursantiv i studentiv*, Kyiv, p. 85.
11. Zhyrov, G.B. (2017), “Alorytm modeljuvannja procesiv tekhnichnogo obslugovuvannja za resursom skladnykh radioelektronnykh ob'ektiv” [Algorithm for simulation of maintenance processes for the resource of complex radio-electronic objects], *Collection of scientific works of the Military Institute of the Kyiv National Taras Shevchenko University*, No. 57, pp. 24-30.
12. Shennon, R. (1978), “Imitacionnoe modelirovanie sistem – iskusstvo ili nauka: per. s angl.” [Simulation of Systems – Art or Science: Per. from English], Mir Publ., Moscow, 418 p.
13. Darahvelidze, P.G., Markov, E.P. (2004), “Programmirovannje v Delphi 7” [Programming in Delphi 7], SPb.: BHV-Peterburg, 2004, 784 p.

14. Kovjazin, A. and Vostrikov, S. (2002), "Mir InterBase. Arhitektura, administrirovanie i razrabotka prilozhenij baz dannyh v InterBase/Firebird/Yaffil" [Architecture, administration and development of database applications in InterBase / Firebird/Yaffil], KUDIC-OBRAZ, Moscow, 496. p.

15. Lenkov, S., Borjak, K., Banzak, G. and Braun, V. (2014), *Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: monography in English*, Publishing house «ВМБ», Odessa, 252 p.

Надійшла до редколегії 16.05.2018

Схвалена до друку 17.07.2018

#### Відомості про авторів:

##### Ленков Євген Сергійович

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
Центрального науково-дослідного інституту  
Збройних Сил України,  
Київ, Україна  
<http://orcid.org/0000-0001-5819-2656>

##### Толок Ігор Вікторович

кандидат педагогічних наук  
начальник Військового інституту Київського  
національного університету ім. Т. Шевченка,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6309-9608>

#### Information about the authors:

##### Evgen Lenkov

Candidate of Technical Sciences  
Senior Researcher Associate  
of Central Research Institute  
of the Armed Forces of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0001-5819-2656>

##### 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>

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТАВА И РЕСУРСА ГРУППИРОВКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Е.С. Ленков, И.В. Толок

Группировки технических объектов создаются обычно для решения тех или иных масштабных задач в тех случаях, когда отдельный одиночный объект решить такие задачи не может. Способность группировки решать поставленные задачи зависит от ее состава и от ресурса отдельных объектов. Поэтому для обеспечения эффективности функционирования группировки необходимо постоянно поддерживать требуемый состав группировки и ресурс отдельных объектов. Для того, чтобы своевременно принимать необходимые меры по поддержанию состава и ресурса группировки (производить ремонты и поставку новых объектов), требуется решать задачу их прогнозирования. Такое прогнозирование возможно только на основе применения математической модели процессов расходования и восполнения ресурса (ПРВР) объектов группировки. В статье приводится краткое описание модели ПРВР и примеры результатов ее применения. При построении модели использовался метод имитационного моделирования. Программное обеспечение модели ПРВР разработано средствами системы программирования Delphi. База данных модели построена на основе СУБД InterBase. Программная реализация модели позволяет моделировать ПРВР для самых разных группировок, исследовать закономерности этих процессов. Наличие встроенной базы данных модели позволяет применять ее для реальных конкретных группировок, решать практические задачи планирования ПРВР.

**Ключевые слова:** группировка технических объектов, ресурс технического объекта, срок службы технического объекта, состав и ресурс группировки, процесс расходования и восполнения ресурса.

## FORECASTING THE COMPOSITION AND RESOURCE OF GROUPING OF TECHNICAL OBJECTS

E. Lenkov, I. Tolok

Groups of technical objects are usually created to solve certain large-scale tasks in those cases when a single object can not solve such problems. The ability of grouping to solve the tasks posed depends on its composition and on the resource of individual objects. Therefore, to ensure the efficiency of the grouping, it is necessary to constantly maintain the required composition of the grouping and the resource of individual objects. In order to timely take the necessary measures to maintain the composition and resource of the grouping (to repair and supply new facilities), it is required to solve the task of predicting them. Such forecasting is possible only on the basis of application of mathematical model of processes of expenditure and replenishment of a resource (PRVR) of grouping objects. The article gives a brief description of the PRDP model and examples of the results of its application. When building the model, the method of simulation modeling was used.

**Keywords:** grouping of technical objects, resource of a technical object, service life of a technical object, composition and resource of a grouping, process of expenditure and replenishment of a resource.