

УДК 621.317

О. О. Морозов, Л. В. Морозова

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА СТАН ПАРКУ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті наведена аналітична модель впливу заходів технічного забезпечення на стан парку озброєння і військової техніки, яка побудована із застосуванням метода динаміки середніх. Як показники стану парку запропоновані коефіцієнти справності і боєготовності та встановлений їх зв'язок з вихідними параметрами моделі.

К л ю ч о в і с л о в а: технічне забезпечення, метод динаміки середніх, якість показників.

Постановка проблеми. Одним з головних чинників успішного виконання військовими формуваннями (ВФ) Національної гвардії України (НГУ) службово-бойових завдань є справність та готовність до застосування озброєння та військової техніки (ОВТ).

Підтримання ОВТ ВФ у боєздатному та боєготовому станах потребує організації та безперервного виконання комплексу заходів її технічного забезпечення (ТхЗ), спрямованих на організацію належної експлуатації, технічне обслуговування та ремонт ОВТ, своєчасне постачання військово-технічного майна, ремкомплектів та ЗПів, списання і введення у стрій нової (відремонтованої) ОВТ [1]. Ефективний вплив заходів ТхЗ на ОВТ вимагає їх узгодженості за часом, визначення необхідних сил та засобів ТхЗ, обсягів та номенклатури матеріально-технічних засобів тощо.

Очевидно, що для того, щоб аналізувати або оцінювати вплив ТхЗ на ОВТ, приймати обґрунтовані рішення щодо організації та виконання заходів ТхЗ, необхідно мати відповідний інструментарій, який би дозволяв розв'язувати пряму та (або) обернену задачі оцінювання: визначити заходи ТхЗ, які забезпечать задані рівні боєздатності та боєготовності ОВТ або який рівень боєздатності та боєготовності забезпечить наявний склад сил та засобів ТхЗ.

Ефективним інструментарієм розв'язування таких задач є математичні моделі, що встановлюють взаємозв'язок між боєздатністю і боєготовністю ОВТ та повнотою і якістю виконання заходів ТхЗ. При цьому слід враховувати, що, говорячи про ОВТ військового формування, мова повинна йти про вплив ТхЗ на сукупність зразків ОВТ (далі – парк ОВТ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розв'язуванню задач оцінювання впливу повноти та якості виконання заходів ТхЗ на стан ОВТ присвячена достатня кількість публікацій [2–6]. Аналіз цих праць показує, що при оцінюванні впливу заходів ТхЗ на стан озброєння і військової техніки, як правило, математичні моделі створюють для окремих конкретних зразків ОВТ [4, 7]. Це невиправдано спрощує розуміння процесів впливу ТхЗ, що моделюють, бо конкретний зразок ОВТ може бути в певний момент часу лише в одному з можливих станів. Якщо ж розглядати парк ОВТ, то різні групи ОВТ одночасно можуть бути у будь-якому стані [8, 9].

У працях, де розглядається вплив ТхЗ на стан парку ОВТ, переважно аналізують стани, які характеризують технічний стан (“справний-несправний”, “працездатний-непрацездатний”), стан ремонту не враховує прийняті види ремонтів, не враховуються процеси списання та надходження нових ОВТ [3, 7]. Деякі науковці штучно обмежують кількість можливих станів ОВТ, мотивуючи це складністю отримання розв'язків систем рівнянь великої розмірності [4, 7].

Очевидно, що для ґрунтовного дослідження впливу повноти і якості виконання заходів ТхЗ на стан парку ОВТ необхідно розглядати всі можливі стани цієї техніки, всі основні заходи технічного забезпечення, спрямовані на підтримання парку у боєздатному та боєготовому станах.

Мета статті – розроблення математичної моделі впливу ТхЗ на стан парку ОВТ ВФ і встановлення аналітичних залежностей коефіцієнтів справності та боєготовності від вихідних параметрів моделі.

Виклад основного матеріалу. ВФ НГУ (наприклад, з'єднання, тимчасове угруповання, оперативно-територіальне об'єднання) має парк ОВТ, необхідний для виконання певних обсягів службово-бойових завдань, що представлений N зразками.

Кожний зразок ОВТ під впливом зовнішніх та внутрішніх чинників може випадковим чином переходити в інший стан: “справний-несправний”, “працездатний-непрацездатний”, “пошкоджений”,

“обслуговується”, “ремонується” тощо [8]. Дослідження показують, що потоки подій, які переводять парк ОБТ (і кожний зразок) із стану в стан, можна вважати пуассонівськими, а процес у парку – марківським [9, 10].

Очевидно, що кожний зразок ОБТ може перебувати у будь-якому з n можливих станів: s_1, s_2, \dots, s_n , а стан парку S характеризуватиметься кількістю зразків, що знаходяться у кожному із станів. Для оцінювання кількості зразків ОБТ, що перебувають в тому чи іншому стані, можна використати метод динаміки середніх [11]. Він дозволить отримати для кожного моменту часу t середні чисельності $v_i(t)$, $i = \overline{1, m}$, станів ОБТ. Для того, щоб розраховувати $v_i(t)$, необхідно знати інтенсивності $\lambda_j(t)$, $j = \overline{1, k}$, всіх потоків подій, що переводять зразки ОБТ із стану в стан.

Слід розрізняти дві групи подій – ті, що не залежать безпосередньо від впливу заходів ТхЗ (відмови, бойові пошкодження), та ті, що є причиною впливу заходів ТхЗ (технічне обслуговування та (або) ремонт ОБТ, списання, надходження нових або відремонтованих зразків тощо).

Заходи ТхЗ безпосередньо спрямовані на забезпечення керованості переходів зразків ОБТ із стану в стан і ґрунтуються на прийнятих регламентах їх експлуатації та застосування. Як для окремого зразка ОБТ, так і для парку керованість переходів передбачає досягнення найвищих рівнів боєздатності та боєготовності парку ОБТ ВФ за рахунок необхідної повноти і якості виконання заходів ТхЗ.

Аналіз можливих станів зразків ОБТ, чинників впливу ТхЗ на перебування зразків у тому чи іншому стані, взаємозв'язок станів та відповідних їм переходів [8, 9] дозволяють представити граф станів S_i , $i = \overline{1, n}$ зразків ОБТ у такому вигляді (рис. 1).

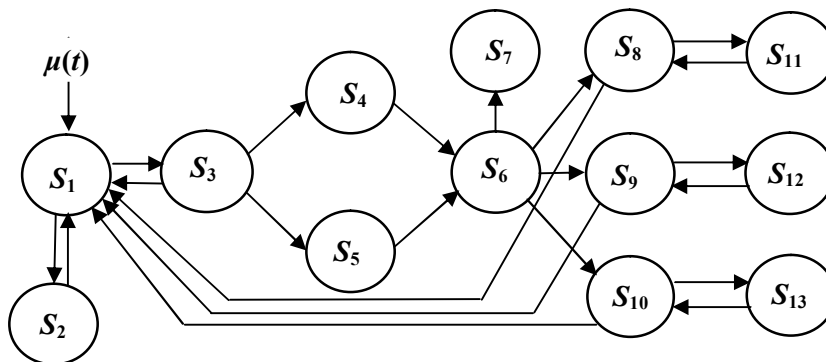


Рис. 1. Граф станів зразка ОБТ: S_1 – справний, знаходиться у готовності до застосування;

S_2 – знаходиться на ТО; S_3 – справний, застосовується; S_4 – відмова, несправний;

S_5 – пошкоджений, несправний; S_6 – дефектація; S_7 – списання; $S_{8,9,10}$ – поточний, середній

та капітальний ремонт відповідно; $S_{11,12,13}$ – очікування ремонтів за відсутності ремкомплектів, ЗІП

З урахуванням визначених станів ОБТ, переходів, що здійснюють зразки під впливом тих чи інших подій, система рівнянь середніх чисельностей станів зразків ОБТ набирає вигляду:

$$\begin{aligned}
 dv_1/dt &= -(\lambda_{1,2} + \lambda_{1,3}) \cdot v_1 + \lambda_{2,1} \cdot v_2 + \lambda_{3,1} \cdot v_3 + \lambda_{8,1} \cdot v_8 + \lambda_{9,1} \cdot v_9 + \lambda_{10,1} \cdot v_{10} + \mu; \\
 dv_2/dt &= -\lambda_{2,1} \cdot v_2 + \lambda_{1,2} \cdot v_1; \\
 dv_3/dt &= -(\lambda_{3,1} + \lambda_{3,4} + \lambda_{3,5}) \cdot v_3 + \lambda_{1,3} \cdot v_1; \\
 dv_4/dt &= -\lambda_{4,6} \cdot v_4 + \lambda_{3,4} \cdot v_3; \\
 dv_5/dt &= -\lambda_{5,6} \cdot v_5 + \lambda_{3,5} \cdot v_3; \\
 dv_6/dt &= -(\lambda_{6,7} + \lambda_{6,8} + \lambda_{6,9} + \lambda_{6,10}) \cdot v_6 + \lambda_{4,6} \cdot v_4 + \lambda_{5,6} \cdot v_5; \\
 dv_7/dt &= \lambda_{6,7} \cdot v_6; \\
 dv_8/dt &= -(\lambda_{8,1} + \lambda_{8,11}) \cdot v_8 + \lambda_{6,8} \cdot v_6 + \lambda_{11,8} \cdot v_{11}; \\
 dv_9/dt &= -(\lambda_{9,1} + \lambda_{9,12}) \cdot v_9 + \lambda_{6,9} \cdot v_6 + \lambda_{12,9} \cdot v_{12};
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$dv_{10}/dt = -(\lambda_{10,1} + \lambda_{10,13}) \cdot v_8 + \lambda_{6,10} \cdot v_6 + \lambda_{13,10} \cdot v_{13};$$

$$dv_{11}/dt = -\lambda_{11,8} \cdot v_{11} + \lambda_{8,11} \cdot v_8;$$

$$dv_{12}/dt = -\lambda_{12,9} \cdot v_{12} + \lambda_{9,12} \cdot v_9;$$

$$dv_{13}/dt = -\lambda_{13,10} \cdot v_{13} + \lambda_{10,13} \cdot v_{10},$$

де $v_{1..13}$ – середні чисельності ОБТ з 1 по 13 стани відповідно; $\lambda_{1,2}(t)$ – інтенсивність проведення певного виду ТО зразка ОБТ; $\lambda_{2,1}(t)$ – інтенсивність виходу зразка ОБТ з ТО; $\lambda_{1,3}(t)$ – інтенсивність потоку включень зразка ОБТ до застосування; $\lambda_{3,1}(t)$ – інтенсивність переходу зразка ОБТ у стан готовності до застосування; $\lambda_{3,4}(t)$ – інтенсивність відмови зразка ОБТ у процесі застосування; $\lambda_{3,5}(t)$ – інтенсивність пошкодження зразка ОБТ під час застосування; $\lambda_{4,6;5,6}(t)$ – інтенсивність дефектації зразка ОБТ (визначення виду ремонту); $\lambda_{6,7}(t)$ – інтенсивність списання зразка ОБТ; $\lambda_{6,8;6,9;6,10}(t)$ – інтенсивність виходу зразка ОБТ до поточного, середнього та капітального ремонтів відповідно; $\lambda_{8,1;9,1;10,1}(t)$ – інтенсивність виходу зразка ОБТ з поточного, середнього та капітального ремонтів відповідно; $\lambda_{8,11;9,12;10,13}(t)$ – інтенсивність переходу зразка ОБТ у стан очікування ремонту за відсутності ремкомплектів, ЗІП; $\lambda_{11,8;12,9;13,10}(t)$ – інтенсивність переходу зразка ОБТ у стан ремонту при постачанні ремкомплектів, ЗІП; $\mu(t)$ – інтенсивність потоку надходжень (надолуження) ОБТ до парку.

Система рівнянь (1) – це математична модель, що зв’язує середні чисельності станів парку ОБТ $v_i(t)$ та інтенсивності потоків подій $\lambda_{i,j}(t)$, $i, j = \overline{1, m}$, $i \neq j$, значення яких визначаються якістю та повнотою заходів ТхЗ: ТО та ремонтом ОБТ, що переводять зразок з одного стану у інший; очікуванням ТО та ремонту через відсутність необхідних ремкомплектів та ЗІП; своєчасністю надходження ОБТ замість списаного тощо.

Систему рівнянь (1) можна було б розв’язувати відомими методами, зокрема методом чисельного інтегрування, за деяких умов та обмежень, а саме:

а) для кожного моменту часу t середні чисельності станів ОБТ задовольняють умову:

$$\sum_{i=1}^{13} v_i(t) = N(t); \quad (2)$$

б) мають місце початкові умови:

$$t = 0, \quad v_1 = N, \quad v_2 = v_3 = \dots = v_{13} = 0;$$

в) математична модель ідентифікується тільки для однотипних зразків.

Аналіз системи рівнянь (1) показує, що вона має поглинаючий стан S_7 , пов’язаний із списанням зразків ОБТ, і вхідний потік інтенсивності μ , що відповідає процесу постачання ОБТ для підтримання необхідної (штатної) чисельності $N(t)$ парку ОБТ. Тобто чисельність парку ОБТ залежить від часу – процес не має стаціонарного розподілу чисельності ОБТ у різних станах. Це може призвести до того, що при неузгодженості інтенсивностей $\lambda_{6,7}$ і μ модельований процес може набирати вироджений характер, у результаті чого у стані S_7 буде зосереджена вся чисельність парку ОБТ.

Для отримання прийнятних для практичного використання розв’язків системи рівнянь (1) процес переходу ОБТ із стану в стан доцільно представити як дискретний процес з інтервалом дискретизації Δt . Інтервал можна прийняти рівним добі, тижню, місяцю і т. д.

Приймаючи $t = 1, 2, \dots, T$, $dv/dt \cong v(t) - v(t-1)$, отримаємо систему алгебраїчних рівнянь:

$$v_1 = (1 - \bar{\lambda}_{1,2} - \bar{\lambda}_{1,3}) \cdot v_1(t-1) + \bar{\lambda}_{2,1} \cdot v_2(t-1) + \bar{\lambda}_{3,1} \cdot v_3(t-1) + \bar{\lambda}_{8,1} \cdot v_8(t-1) +$$

$$+ \bar{\lambda}_{9,1} \cdot v_9(t-1) + \bar{\lambda}_{10,1} \cdot v_{10}(t-1) + \bar{\mu};$$

$$v_2 = (1 - \bar{\lambda}_{2,1}) \cdot v_2(t-1) + \bar{\lambda}_{1,2} \cdot v_1(t-1);$$

$$\begin{aligned}
 v_3 &= (1 - \bar{\lambda}_{3,1} - \bar{\lambda}_{3,4} - \bar{\lambda}_{3,5}) \cdot v_3(t-1) + \bar{\lambda}_{1,3} \cdot v_1(t-1); \\
 v_4 &= (1 - \bar{\lambda}_{4,6}) \cdot v_4(t-1) + \bar{\lambda}_{3,4} \cdot v_3(t-1); \\
 v_5 &= (1 - \bar{\lambda}_{5,6}) \cdot v_5(t-1) + \bar{\lambda}_{3,5} \cdot v_3(t-1); \\
 v_6 &= (1 - \bar{\lambda}_{6,7} - \bar{\lambda}_{6,8} - \bar{\lambda}_{6,9} - \bar{\lambda}_{6,10}) \cdot v_6(t-1) + \bar{\lambda}_{4,6} \cdot v_4(t-1) + \bar{\lambda}_{5,6} \cdot v_5(t-1); \\
 v_7 &= \lambda_{6,7} \cdot v_6(t-1); \\
 v_8 &= (1 - \bar{\lambda}_{8,1} - \bar{\lambda}_{8,11}) \cdot v_8(t-1) + \bar{\lambda}_{6,8} \cdot v_6(t-1) + \bar{\lambda}_{11,8} \cdot v_{11}(t-1); \\
 v_9 &= (1 - \bar{\lambda}_{9,1} - \bar{\lambda}_{9,12}) \cdot v_9(t-1) + \bar{\lambda}_{6,9} \cdot v_6(t-1) + \bar{\lambda}_{12,9} \cdot v_{12}(t-1); \\
 v_{10} &= (1 - \bar{\lambda}_{10,1} - \bar{\lambda}_{10,13}) \cdot v_{10}(t-1) + \bar{\lambda}_{6,10} \cdot v_6(t-1) + \bar{\lambda}_{13,10} \cdot v_{13}(t-1); \\
 v_{11} &= (1 - \bar{\lambda}_{11,8}) \cdot v_{11}(t-1) + \bar{\lambda}_{8,11} \cdot v_8(t-1); \\
 v_{12} &= (1 - \bar{\lambda}_{12,9}) \cdot v_{12}(t-1) + \bar{\lambda}_{9,12} \cdot v_9(t-1); \\
 v_{13} &= (1 - \bar{\lambda}_{13,10}) \cdot v_{13}(t-1) + \bar{\lambda}_{10,13} \cdot v_{10}(t-1),
 \end{aligned} \tag{3}$$

де $\bar{\lambda} = \lambda \Delta t$ – ймовірність переходу зразка ОБТ у різні стани за проміжок часу Δt .

Зразки ОБТ, що списують (стан S_7 , див. рис. 1), виключають зі штатної чисельності ВФ, але вона підтримується надходженням справної (нової) ОБТ (стан S_1 , див. рис. 1). Крім того, зразки ОБТ, що підлягають капітальному ремонту, тимчасово теж виключають зі штатної чисельності ВФ. Отже, фактична чисельність парку ОБТ $N_\phi(t)$ включає чисельності, що знаходяться у решті станів:

$$N_\phi(t) = v_1(t) + v_2(t) + v_3(t) + v_4(t) + v_5(t) + v_6(t) + v_8(t) + v_9(t) + v_{11}(t) + v_{12}(t). \tag{4}$$

Параметри моделі (3) $\bar{\lambda}$ можна визначати на підставі статистичних даних за такою формулою:

$$\bar{\lambda} = \frac{v(t) - v(t-1)}{N - v(t-1)}. \tag{5}$$

Боездатність парку ОБТ можна характеризувати коефіцієнтом справності парку ОБТ $K_{СП}$. З урахуванням формули (4) коефіцієнт можна розрахувати за формулою:

$$K_{СП} = \frac{v_1(t) + v_2(t) + v_3(t)}{N_\phi(t)}. \tag{6}$$

Боеготовність парку ОБТ можна характеризувати коефіцієнтом боеготовності:

$$K_{БГ} = \frac{v_3(t)}{v_1(t) + v_2(t) + v_3(t)}. \tag{7}$$

Зрозуміло, що значення чисельностей станів ОБТ, які входять до виразів (6) та (7) в момент часу t , будуть визначатися ефективністю прийнятих рішень щодо ТхЗ. Це достатність сил та засобів ТхЗ, відповідність їх операційних можливостей потребам ТО та ремонту техніки, оперативність та якість виконання заходів ТО і ремонту, своєчасність та повнота постачання необхідних матеріально-технічних засобів, інших заходів, спрямованих на забезпечення заданих рівнів боездатності $K_{СП}^3$ та боеготовності $K_{БГ}^3$ парку ОБТ ВФ.

Таким чином, маючи модель впливу ТхЗ на стан парку ОБТ ВФ і задані значення коефіцієнтів $K_{СП}^3$ та $K_{БГ}^3$, можна розв'язувати пряму та обернену задачі дослідження.

Висновки

1. Розроблена модель, що встановлює залежність середніх чисельностей станів зразків з парку ОБТ від параметрів, які відображають якість та повноту заходів ТхЗ.

2. Для оцінювання стану парку ОБТ запропоновані коефіцієнти справності та боєготовності, встановлена їх залежність від чисельностей станів зразків техніки.

3. Отримана модель може використовуватися як для аналізу ефективності впливу заходів ТхЗ на стан парку ОБТ, так і для визначення вимог до ТхЗ, які забезпечать задані рівні боєздатності і боєготовності цього парку.

Список використаних джерел

1. Технічне забезпечення військ (сил) у операції (бою) [Текст] : підручник / В. О. Шуєнкін, І. С. Ішутін, О. І. Хазанович та ін.; за ред. М. І. Шапталенка. – К. : НАОУ, 2001. – 616 с.
2. Буравлев, А. И. Методика оценки технического уровня парка вооружения и военной техники в ходе реализации программных мероприятий по ее закупке и ремонту [Текст] / А. И. Буравлев, С. А. Монин // Вооружение и экономика. – 2012. – № 1 (17). – С. 8–13.
3. Буравлев, А. И. Модель технического обеспечения войск [Текст] / А. И. Буравлев, А. А. Пьянков // Вооружение и экономика. – 2010. – № 2 (10). – С. 4–10.
4. Пискуненко, Д. С. Использование метода математического моделирования при организации процесса восстановления бронетанкового вооружения и техники [Текст] / Д. С. Пискуненко // Военная мысль. – 2012. – № 5. – С. 26–39.
5. Буроменский, Н. Г. Методологические вопросы оценки эффективности мероприятий технического обеспечения войск [Текст] / Н. Г. Буроменский, В. М. Минцкер // Военная мысль. – 1993. – № 8. – С. 49–54.
6. Андрієвський, А. П. Методика обґрунтування вимог до сил і засобів системи відновлення автомобільної техніки [Текст] / А. П. Андрієвський // Збірник наукових праць. – № 2 (40). – К. : ЦНДІ ЗС України, 2007. – С. 115–125.
7. Буравлев, А. И. Марковская модель восстановления вооружения и военной техники в новой системе технического обслуживания и ремонта [Текст] / А. И. Буравлев // Вооружение и экономика. – 2014. – № 1(26). – С. 39–52.
8. Барзилович, Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем [Текст] : учеб. пособие / Е. Ю. Барзилович. – М. : Высш. шк., 1982. – 231 с.
9. Надёжность и эффективность в технике [Текст] : справочник в 10 т. / ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. Т. 8 : Эксплуатация и ремонт / под ред. В. И. Кузнецова и Е. Ю. Барзиловича. – М. : Машиностроение, 1990. – 320 с.
10. Надёжность технических систем [Текст] : справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; под ред. И. А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.
11. Венцель, Е. С. Исследование операций [Текст] / Е. С. Венцель. – М. : Сов. радио, 1972. – 552 с.

Стаття надійшла до редакції 12.11.2014 р.