

УДК 519.248:623.1/.7

В.В. Чепкій, к.т.н., доц.

В.В. Скачков, д.т.н., проф.

О.М. Єфимчиков, к.т.н., доц.

Військова академія (м. Одеса), Україна

СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗА РОЗШИРЕНОЇ МОДЕЛІ ЕВАЛЬВАЦІЇ

У статті реалізується ідея розширеної евальвації (оцінювання) технічного стану однотипного парку озброєння та військової техніки (ОВТ) шляхом організації системного моделювання процесу моніторингу. Визначається концепція системного моделювання процесу моніторингу парку ОВТ та окреслюється предметна область досліджень. На їх основі формується полімодельний комплекс, до складу якого входять модель динаміки технічного стану ОВТ, динамічна модель технічного забезпечення військ та модель управління їм. Наводяться варіанти побудови зазначених моделей.

Ключові слова: *концептуальна модель, полімодельний комплекс, евальвація, моніторинг технічного стану, якість озброєння та військової техніки, граф стану, термін служби, технічний ресурс, коефіцієнт боєготовності, коефіцієнт оновлення парку.*

Постановка проблеми. Аналіз останніх досягнень і публікацій

Боєготовність, боєздатність і бойовий потенціал Сухопутних військ значною мірою визначаються їх рівнем технічного забезпечення та станом парку озброєння і військової техніки (ОВТ). На їх підтримку і розвиток спрямований комплекс заходів, всебічно скоординованих за цілями, ресурсами і термінами, щодо вирішення проблеми своєчасного та повноцінного забезпечення військ сучасними зразками ОВТ, а також на підтримку парку ОВТ в справному стані. Політика тривалого недофінансування Збройних Сил держави привела до відчутного обмеження різнопланових видів ресурсу, що породило наступні негативи:

– по-перше, ускладнилися механізми оснащення військ необхідною номенклатурою озброєння, військової і спеціальної техніки, підтримки зразків ОВТ на заданих рівнях технічної й бойової готовності, забезпечення технічного обслуговування і ремонту, списання та утилізації;

– по-друге, знизилася передбачуваність та керованість процесами зміни технічного стану (ТС) існуючого парку ОВТ. Зниження ймовірності перебування зразків озброєння та військової техніки у справному стані поширилось як на нові вироби, так і на ті, що пройшли капітальний ремонт;

– по-третє, з'явилися складнощі управління технічним станом озброєння та військової техніки, що обумовлено високою динамікою зміни цього стану в умовах загального зниження надійності техніки, виробленням ресурсу і гарантійних термінів, низькою достовірністю і оперативністю інформації про її стан, трудностю оцінки наслідків прийнятих рішень.

Окреслена тенденція та фактори морального і фізичного старіння парку озброєння і військової техніки зробили вкрай актуальною проблему моніторингу технічного стану парку однотипних зразків ОВТ та довгострокового прогнозу наслідків прийнятих рішень. Надаючи особливого значення прагматичним аспектам процесу моніторингу технічного стану озброєння та військової техніки, природно проаналізувати існуючі точки зору на розуміння сутності та змісту функцій моніторингу, а також можливі підходи та концепції щодо вирішення позначеної в заголовку проблеми.

Теоретичним і практичним питанням моніторингу технічного стану зразків ОВТ присвячена значна кількість публікацій, в яких закладено фундамент вирішення даної проблеми. Зокрема:

в нормативно-термінологічній літературі [1, 2], в найбільш загальному розумінні моніторинг визначається як процес спостереження за об'єктом (системою) шляхом збору, систематизації, оброблення та накопичення інформаційних даних, які представляють собою сукупність базових показників. В предметному сенсі моніторинг ТС представляється процесом спостереження за станом об'єкта для визначення і передбачення моменту переходу його в граничний стан. При цьому технічний стан трактується як стан об'єкта діагностування, котрий характеризується в певний момент часу, за певних умов зовнішнього середовища значеннями параметрів, установлених технічною документацією на об'єкт. Результат моніторингу стану об'єкта складається із сукупності діагнозів його компонентів, одержуваних на інтервалах часу, що примикають один до одного [3, 10];

в різнобічних дослідженнях [3, 4, 8, 11] моніторинг трактується, з одного боку, як оцінювання та прогнозування стану ситуації або процесу з метою попередження небажаних змін, безперервний контроль, діагностика стану та тенденцій розвитку об'єкта, а з іншого боку, як система заходів, що дозволяє постійно стежити за станом певного об'єкта, реєструвати найважливіші характеристики, аналізувати їх, оперативно виявляти результати впливу на об'єкт різних процесів та факторів;

в окремих публікаціях [4, 8-10] автори, аналізуючи причини зниження якості розробки, виробництва та капітального ремонту ОВТ, пов'язують їх з відсутністю у виробника і замовника достовірної та повної інформації про динаміку технічного стану їхньої продукції в процесі військової експлуатації. Висловлюється думка щодо розширення змісту дефініції «технічний стан» і формування на новій змістовній основі інформаційно-аналітичної бази даних [4];

в роботах [5-7] представлено дві математичні моделі: перша – модель процесу технічного забезпечення військ, яка дозволяє отримувати кількісні оцінки потрібної чисельності ОВТ для підтримки заданого рівня боєготовності та бойового потенціалу, а також оцінки витрат, необхідних для реалізації програмних заходів на певний період планування; друга – модель динаміки процесу управління технічним забезпеченням угруповання військ протягом заданого програмного періоду по критерію мінімуму витрат за умови локальних і термінальних обмежень;

в статтях [7, 9] розглядається задача оцінки технічного рівня парку ОВТ в ході реалізації програмних заходів з моменту її закупівлі та ремонту, а також пропонуються методики їх рішення. Побудовані на базі моделі масового обслуговування такі методики дозволяють розрахувати чисельність ОВТ, рівень справності та оновлення парку озброєння та військової техніки протягом програмного періоду. Практично в усіх проаналізованих публікаціях автори сходяться на тому, що моніторинг технічного стану пов'язаний із системою повторювальних спостережень у просторі та часі з певними цілями і у відповідності до заздалегідь розробленої програми. Змістовну основу такої системи складає модель евальвації, за якої оцінка технічного стану трактується як ступінь відповідності ОВТ вимогам конструкторської та іншої нормативно-технічної документації. За межами цієї моделі залишаються дані про моральне старіння техніки, про порівняльну ефективність зразків ОВТ, про оптимізацію базових параметрів систем підтримки ОВТ та інша інформація вкрай важлива для прийняття оперативних рішень з модернізації системи озброєння.

Необхідність врахування зазначених факторів потребує розширення конфігурації моделі евальвації. Включення до її предметної області оцінки рівня задоволення потреб військ в сучасному ОВТ, оцінки ресурсу сил і засобів технічного забезпечення військ та інших оціночних даних наближують дефініцію технічного стану ОВТ до категорії «якість озброєння». Концепт «розширена модель евальвації» викликає практичний інтерес з точки зору представлення технічного стану ОВТ множиною властивостей (параметрів), котрі, змінюючись в процесі виробництва, випробувань і експлуатації зразка ОВТ, характеризують його функціональну придатність в заданих умовах експлуатації [12]. Активна проекція предметних уявлень такого розширеного підходу на площину моделювання процесу моніторингу суттєво ускладнює (практично робить неможливою) задачу опису технічного стану зразків ОВТ однією моделлю. За таких обставин актуального значення набуває

задача формування полімодельного комплексу, до складу якого можуть входити різнорідні та комбіновані моделі. Кожна з таких моделей оцінюється своєю системою показників.

Постановка задачі

Мета даної статті полягає в дослідженні проблеми системного (комплексного) моделювання процесу моніторингу технічного стану зразків однотипного парку озброєння та військової техніки за умови розширення моделі евальвації.

Прийняття рішення на досягнення зазначеної мети передбачає побудову полімодельного комплексу (системи моделей) процесу моніторингу технічного стану ОВТ. На алгоритмічному рівні формування такого полімодельного комплексу зводиться до аналізу, вибору та впорядкування різних класів моделей, знаходження серед існуючих моделей, найбільш придатних для розв'язання конкретної проблеми. Конструктивному рішенню задачі системного моделювання повинно передувати чітке цілеполагання та узагальнений опис різних класів моделей, що дозволяє, по-перше, встановлювати взаємозв'язки та відповідності між видами і типами моделей, а, по-друге, порівнювати та упорядковувати їх, використовуючи різні метрики. Стосовно об'єкту моніторинг пропонується розглядати за трьома концептуальними аспектами:

- моніторинг ситуації, що покликаний визначити номенклатуру парку ОВТ, утримання його на заданих рівнях технічної й бойової готовності та оцінити показники технічного забезпечення військ;
- моніторинг процесу, що передбачає відстеження за динамікою технічного стану парку ОВТ на різних етапах життєвого циклу;
- моніторинг якості, як інтегральної властивості, що характеризує здатність ОВТ задовольняти потреби військ у високоефективних засобах ведення бойових дій.

Системне моделювання процесу моніторингу ТС однотипного парку ОВТ організується за наступних вихідних даних: відомий склад, допустимі варіанти модульної структури системи ТС, варіанти сценаріїв зміни вхідних впливів на елементи і підсистеми ТС, відомі просторово-часові та технічні обмеження, результати розрахунку та вимірювань параметрів системи ТС на заданому інтервалі часу, а також кількісні показники і критерії оцінювання якості вирішення задачі [10, 11].

Виклад основного матеріалу дослідження

Прийняття рішення на організацію системного моделювання зумовлює дві особливості, яким повинен задовольняти моніторинг технічного стану ОВТ [10]:

- цільова спрямованість інформаційних процесів моніторингу, що припускає знаходження такої множини параметрів технічного стану ОВТ $X_s(t)$, котрі дозволяють визначити його передбачуваний стан $S(t)$. Для цього з простору параметрів технічного стану ОВТ $X_s(t)$ потрібно виділити множину параметрів $X(t)$, доступних для контролю та достатніх для надійного визначення технічного стану відповідних зразків парку ОВТ. Множину параметрів $X(t) = X_m(t) \cup X_c(t)$ утворюють підмножина первинних параметрів $X_m(t)$, значення яких отримують за результатами вимірювання параметрів на заданому часовому інтервалі, та підмножина формованих параметрів $X_c(t)$, значення яких визначають шляхом обчислення первинних параметрів системи моніторингу;

- максимальна об'єктивність результатів моніторингу технічного стану парку ОВТ, яка забезпечується системою збору (прийому), обробки і аналізу інформаційних даних для отримання узагальнених оцінок сукупностей первинних $X_m(t)$ і обчислювальних $X_c(t)$ параметрів, вибраним апаратом формалізації та моделювання процесів, а також введенням часових обмежень $\tau \leq \Phi$ для швидкозмінних параметрів $X_\tau(t)$. Якщо значення часу τ між виміром параметра та надходженням його значення в базу даних системи моніторингу перевищить максимально допустимий час Φ

формування моніторингових даних, то значення параметрів $X_c(t)$ втрачають адекватність, оскільки не відображують поточний технічний стан зразка.

З формальної точки зору до основних задач системи моніторингу технічного стану відносяться:

- збір значень первинних параметрів контрольованої сукупності $X_m(t)$;
- розрахунок значень сукупності параметрів $X_c(t)$ на основі первинних даних;
- відображення результуючої інформації та генерація звітів;
- передача інтеграційних даних в підсистеми прогнозування, прийняття рішень, оповіщення, для формування множини стану $S(t)$;

– зберігання отриманих інформаційних параметрів і характеристик технічного стану існуючого парку ОВТ в базах даних, забезпечення синхронізації та циклічності оновлення інформаційних даних.

Особливість моніторингу технічного стану ОВТ полягає в його багатофункціональності. Вибраний підхід формалізації процесів дозволяє різноманітну інтерпретацію моніторингу стану:

- як спосіб контролю над усіма етапами життєвого циклу зразку ОВТ, в ході якого враховується рівень показників технічного стану (якості) ОВТ, що був закладений на етапах розробки і виробництва відповідних зразків та лише підтримується в установлених межах на етапі експлуатації;
- як засіб інформаційно-методичного забезпечення вирішення першочергових задач та специфічний інструмент зворотного зв'язку, що забезпечує сталість розвитку системи ОВТ;
- як складову технології управління життєвим циклом зразків ОВТ в частині виробки та обґрунтування довгострокового прогнозу, а також оцінювання наслідків прийнятих рішень;
- як фактор зниження ризиків за рахунок інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень щодо забезпечення рівноважного стану парку озброєння та військової техніки.

Методологічна спадкоємність, уніфікованість інструментарію, ітераційність процедур, що властиво представленим концептам моніторингу, створюють можливість для концептуального моделювання процесу моніторингу ТС зразку ОВТ за наступним алгоритмом:

$$\min |S(t) - \hat{S}|, \forall t, \quad (1)$$

де \hat{S} – множина, що визначає поточний (реальний) технічний стан зразку парку ОВТ;

$S(t)$ – множина, яка відображає передбачувані (ідеальні, визначені нормативно-технічною документацією) значення технічного стану зразку парку ОВТ, що представлені в системі моніторингу.

За такої концепції організація процесу моніторингу полягає у визначенні такої сукупності параметрів $X(t) = X_m(t) \cup X_c(t)$, за якої виконуються умови алгоритму (1). Змістовна модель процесу моніторингу ТС зразка парку ОВТ може бути представлена наступною послідовністю дій:

- вимір значень підмножини первинних параметрів $X_m(t)$;
- розрахунок значень підмножини параметрів $X_c(t)$ за різними алгоритмами на основі значень вимірюваних параметрів $X_m(t)$;
- виділення підмножини швидкодіючих параметрів $X_c(t)$ та перевірка їх на відповідність умов обмеження: $\tau \leq T$;
- формування оцінки параметрів та ідентифікація співвідношення: $\bar{X} \rightarrow \hat{S}$;
- прогнозування множини ТС $S(t)$ та перевірка на відповідність умовам (1);
- висновок про поточний технічний стан \hat{S} об'єкту моніторингу (зразка ОВТ).

Схематично концептуальна модель процесу отримання судження (оцінки) про технічний стан узагальненого зразка ОВТ, як об'єкту моніторингу, представлена на рис. 1. За логікою схемного рішення в кожен момент часу зразок однотипного парку ОВТ знаходиться в одному з технічних станів

$s(t) \in S(t)$. В процесі спостереження за об'єктом моніторингу на ньому проводяться виміри параметрів $X_m(t)$, результати яких у вигляді первинних інформаційних даних передаються в підсистеми прогнозування та оцінювання поточного ТС зразків ОВТ. Кінцевою метою функціонування цих підсистем вважається отримання узагальнених оцінок сукупності параметрів технічного стану \bar{X} , значення яких в явному вигляді можуть вказувати на ступінь працездатності розглянутого зразка ОВТ, вид несправності та місце її виникнення на цьому зразку. Значення величин \bar{X} є оцінками прогнозованих ситуацій і процесів, котрі із заданою точністю та інтервалом прогнозу враховують специфіку конкретної задачі та умови експлуатації відповідного зразку однотипного парку ОВТ на різних етапах його функціонування.

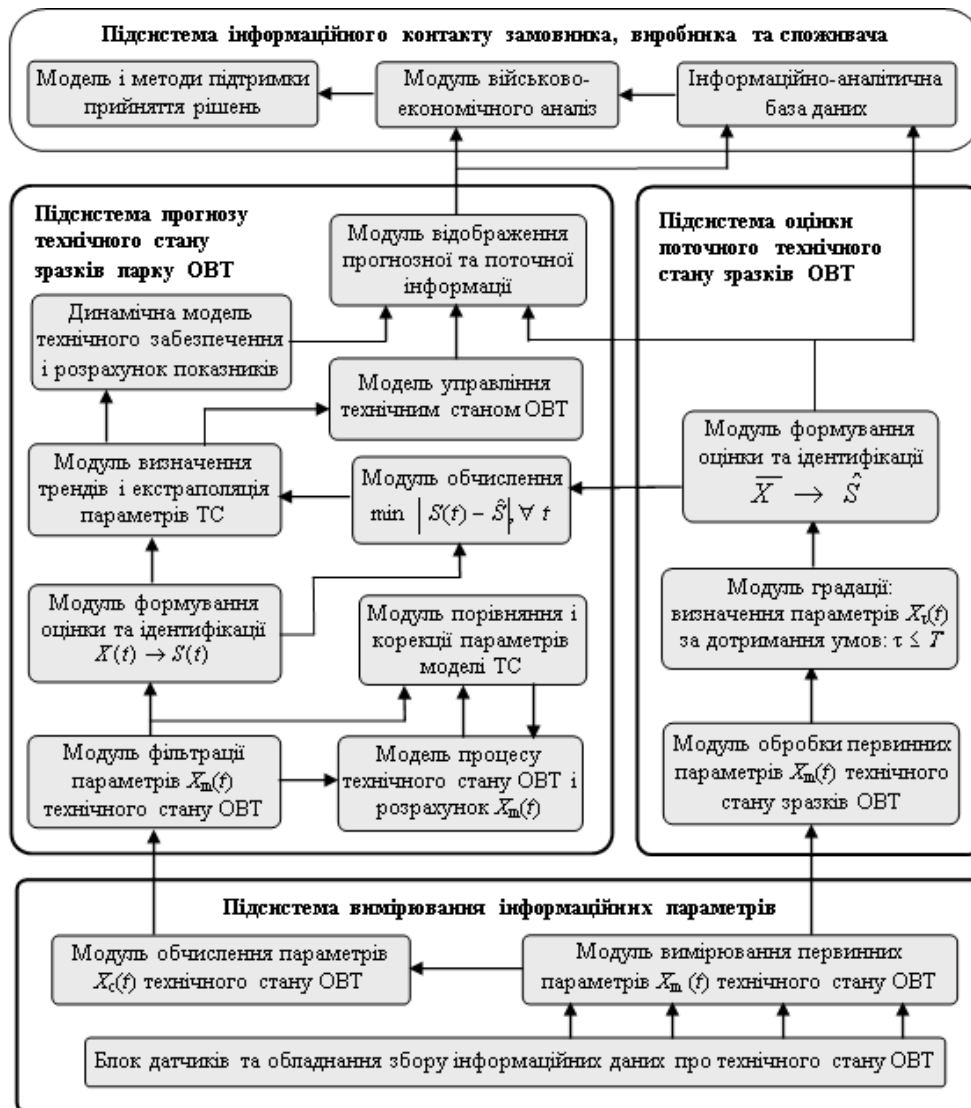


Рис. 1 – Концептуальна модель процесу моніторингу технічного стану зразків парку ОВТ

Визначення концептуальної моделі (рис. 1) є першим етапом процесу системного моделювання. Структура цієї моделі, відображаючи в змістовному аспекті предметну область процесу моніторингу технічного стану ОВТ, представляє один із можливих варіантів (сценаріїв) організації та проведення системного моделювання. Виходячи із інтерпретації основних елементів, що входять до складу запропонованої структури, під системним (комплексним) моделюванням в подальшому будемо розуміти полімодельний багатокритеріальний опис і дослідження предметної області процесу моніторингу технічного стану парку ОВТ з використанням комбінованих методів, алгоритмів і

методик, які дозволяють на конструктивній основі забезпечити ефект взаємного посилення достоїнств кожної моделі.

Предметна область моделі процесу моніторингу технічного стану однотипного парку ОВТ об'єднує наступні сукупності процесів життєвого циклу зразка та зв'язки між ними:

- сукупність процесів, характерних для етапу зберігання закуплених, модернізованих і відремонтованих зразків ОВТ. Інтенсивність надходження нових зразків ОВТ позначається v ;
- сукупність процесів, що відображують справний та несправний технічний стан зразків ОВТ, а інтенсивність цих процесів визначається значенням параметру $\lambda_i \in \lambda, i=0,1,\dots,L$;
- сукупність процесів технічного обслуговування і капітального ремонту зразків ОВТ, типових для етапу технічної підтримки. Інтенсивність надходження відремонтованих зразків ОВТ визначається значенням параметру $\mu_i \in \mu, i=0,1,\dots,L$;
- сукупність процесів, типових для етапу списання та утилізації відповідних зразків ОВТ.

В узагальненому вигляді структура моделі предметної області зазначених процесів приведена на рис. 2. Модель складається з чотирьох підсистем (модулів), яким поставлені у відповідність чотири сукупності процесів (види функціонування зразків парку ОВТ): процеси поповнення ресурсів, процеси взаємодії, процеси функціонування та руху, процеси витрат.



Рис. 2 – Модель предметної області процесу моніторингу технічного стану парку ОВТ

Моделювання предметної області процесу моніторингу технічного стану здійснюється у відповідності до заданих умов. Зокрема:

- розглядається однотипний парк ОВТ чисельністю N_0 , котра на початковий момент часу $t_0=0$ поєднує N_1 і N_2 одиниць застарілих і сучасних зразків ОВТ, відповідно;
- якісний стан парку ОВТ характеризується рівнями довговічності та безвідмовності кожного зразку. Довговічність зразку визначається величиною технічного $\tau_{ТР}$ і міжремонтного $\tau_{МР}$ ресурсів та календарним терміном служби $t_{ТС}$, а безвідмовність – інтенсивністю відмов техніки. Показники ресурсу $\tau_{ТР}$ і $\tau_{МР}$ відображають обсяг роботи, яку гарантовано повинен виконувати зразок ОВТ до появи відмови, а параметр $t_{ТС}$ встановлює час, після якого зразок ОВТ виводиться з бойового складу незалежно від величини напрацювання. Між цими показниками існує залежність, що визначає математичну модель надійності виробу;
- згідно практики експлуатації, вироблення ресурсу зразка ОВТ здійснюється рівномірно в межах заданого терміну служби $t_{ТС}$ (рис. 3). В цьому випадку величина напрацювання зразка τ в межах встановленого

Алгоритм підтримки прийняття рішення по результатам моніторингу технічного стану зразка парку ОВТ організується за класичною схемою. На основі вимірювань і розрахунку параметрів $X(t) = X_m(t) \cup X_c(t)$ оцінюється запас технічного ресурсу зразка ОВТ і знаходження його параметрів у межах допуску. За умови виробітку технічного ресурсу зразок ОВТ вважається несправним, він піддається технічному огляду, по завершенню якого приймається рішення: якщо $t > t_{TC}$, то списання і утилізація зразка; якщо $t \leq t_{TC}$, то ремонт для відновлення технічного ресурсу зразка ОВТ (рис. 3).

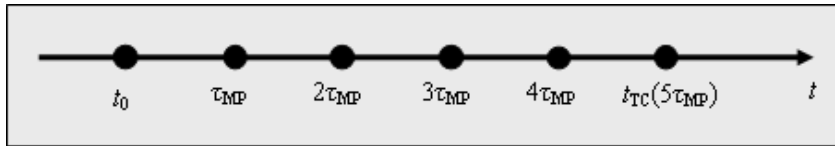


Рис. 3 – Допущення про рівномірне вироблення ресурсу зразка ОВТ

Функціональна особливість системного моделювання полягає в тому, щоб, орієнтуючись на вибрану модель предметної області процесу моніторингу ТС парку ОВТ, а також окреслені зовнішні та внутрішні умови її формування, постійно здійснювати узгодження різнорідних моделей. При цьому, поряд із власним модельним узгодженням, важливо проводити міжмодельне і/або внутрішньомодельне узгодження критеріальних функцій, за допомогою яких проводиться порівняння існуючих альтернатив. Така тенденція не виключає можливості використовувати стандартні, уніфіковані архітектури для побудови полімодельного комплексу процесу моніторингу ТС.

Процедура узгодження різних типів і видів моделей комплексу набуває спрощеного значення за умови моделювання їх в єдиному метричному просторі або переходу від різних метрик до їх узагальнення – топологічного простору [12]. В задачі моніторингу технічного стану таким топологічним простором може служити граф стану зразка однотипного парку ОВТ (рис. 4).

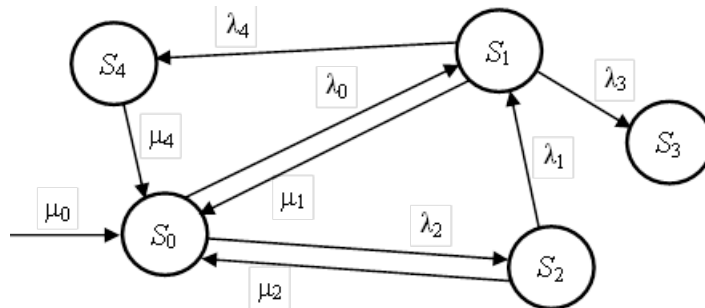


Рис. 4 – Граф стану зразка озброєння та військової техніки

Графова інтерпретація технічного стану парку озброєння та військової техніки в поєднанні з формально-математичним апаратом опису його представляють системоутворюючу функцію, за допомогою якої можна об'єднати модельні структури предметної області в єдине ціле та зв'язати їх з цільовим призначенням системи моніторингу.

За логікою моделі предметної області (рис. 2) будь-який зразок однотипного парку ОВТ на різних етапах свого життєвого циклу може знаходитися в наступних несумісних станах [13-16]: S_0 – справний (працездатний) стан за умови перебування його в режимі зберігання; S_1 – несправний (непрацездатний) стан, що потребує ремонту відповідного зразка; S_2 – справний (працездатний) стан при знаходженні зразка ОВТ в режимі застосування за призначенням; S_3 – несправний (непрацездатний) стан, який потребує списання та подальшої утилізації ОВТ; S_4 – справний (працездатний) стан, який вимагає модернізації зразка ОВТ для підвищення бойового потенціалу. Перехід з одного стану в інший описується наступними параметрами: λ_0 – інтенсивність відмови

зразка ОБТ, що знаходиться в режимі зберігання; λ_1 – інтенсивність відмови зразка ОБТ, який знаходиться в режимі експлуатації; λ_2 – інтенсивність переводу зразка ОБТ із режиму зберігання в стан бойової готовності; λ_3 – інтенсивність відправки зразків даного типу ОБТ в утилізацію; λ_4 – інтенсивність відправки зразків даного типу ОБТ на допрацювання; $\mu_0 = \nu$ – інтенсивність надходження нових зразків ОБТ; μ_1 – інтенсивність відновлення ОБТ засобами ремонту; μ_2 – інтенсивність переходу ОБТ стан постійної готовності до застосування його за призначенням; μ_4 – інтенсивність надходження модернізованих зразків ОБТ. Зазначені інтенсивності переходів залежать від впливу зовнішнього середовища та керуючих впливів з боку системи управління.

Формалізацію зазначених процесів пропонується провести на основі аналітичного апарату теорії масового обслуговування, котрий, по-перше, адекватно описує реальний процес експлуатації ОБТ, а, по-друге, дозволяє досить просто визначити параметри математичної моделі по статистичним даним, що надходять з військ. За такого підходу з'являється можливість з єдиних позицій підійти до рішення задачі математичного моделювання технічного стану парку ОБТ, динаміки та процесу управління ним. Підтвердженням успішного вирішення задач даного класу можуть служити результати моделювання ситуацій, типових для концептуальної схеми (рис. 1).

Перша ситуація типова для динаміки процесу технічного забезпечення угруповання військ. У відповідності з графом станів (рис. 4), дана ситуація описується системою із п'яти диференціальних рівнянь для середньої чисельності зразків ОБТ відповідного типу [6]:

$$\begin{aligned} \frac{dn_0(t)}{dt} &= -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4)n_0(t) + \mu_1 n_1(t) + \mu_2 n_2(t) + \mu_4 n_4(t) + \mu_0(t), \quad n_0(0) = N_0; \\ \frac{dn_1(t)}{dt} &= -(\mu_1 + \lambda_3)n_1(t) + \lambda_1 n_0(t) + \mu_1 n_2(t), \quad n_1(0) = N_1; \\ \frac{dn_2(t)}{dt} &= -(\mu_1 + \mu_2)n_2(t) + \lambda_2 n_0(t), \quad n_2(0) = N_2 \\ \frac{dn_3(t)}{dt} &= \lambda_3 n_1(t), \quad n_3(0) = N_3; \\ \frac{dn_4(t)}{dt} &= -\mu_4 n_4(t) + \lambda_4 n_1(t), \quad n_4(0) = N_4 \\ n_0(t) + n_1(t) + n_2(t) + n_3(t) + n_4(t) &= N(t). \end{aligned} \tag{3}$$

Наявність в системі рівнянь (3) поглинаючого стану S_3 і вхідного потоку інтенсивності μ_0 від зовнішнього джерела, визначають змінний характер сумарної чисельності парку ОБТ $N(t)$. Дана величина може зростати, якщо інтенсивність закупівлі та модернізації ОБТ буде вище, ніж інтенсивності відправки на утилізацію, і спадати в протилежному випадку. Для практичних розрахунків система диференціальних рівнянь представляється дискретним процесом з інтервалом дискретизації Δt та ймовірностями переходу зразка ОБТ $\bar{\lambda} = \lambda \Delta t$, $\bar{\mu} = \mu \Delta t$ в різний стан. В кінцевому результаті формується динамічна модель, яка дозволяє спрогнозувати вплив основних параметрів системи технічного забезпечення на показники боєготовності й бойовий потенціал (БП) військ. Зокрема аналітично визначити [6, 7]:

– коефіцієнт справності зразків ОБТ: $K_C(t) = [n_0(t) + n_2(t)]/N'(t)$. Фактична чисельність, яка включає зразки ОБТ, що знаходяться боєздатному стані, на зберіганні та ремонті $N'(t) = n_0(t) + n_1(t) + n_2(t)$;

– коефіцієнт боєготовності: $K_{БГ}(t) = n_2(t)/[n_0(t) + n_2(t)]$;

– середнє значення коефіцієнта бойового потенціал парку ОБТ військового угруповання $K_{БП}(t) = K_{БП}^0(t)[N'(t) - n_4^*(t) - \bar{\mu}_0^*(t)]/N'(t) + K_{БП}^1(t)n_4^*(t)/N'(t) + K_{БП}^2(t)\bar{\mu}_0^*/N'(t)$, яке складається з коефіцієнтів БП: $K_{БП}^0$ – штатних; $K_{БП}^1$ – модернізованих та $K_{БП}^2$ – нових зразків ОБТ [5-7].

Друга ситуація характерна для задачі оцінки чисельності відновлення парку ОБТ [6, 7]. Динаміку чисельності, технічний стан зразків парку ОБТ можна змоделювати системою рівнянь:

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= 1/\tau_{MP} + \alpha t, \quad 0 \leq t \leq t_{TC}; \\ \frac{dp(t)}{dt} &= \begin{cases} -\lambda p + \mu(1-p), & \text{якщо } t \leq t_{TC}; \\ 0, & \text{якщо } t > t_{TC}; \end{cases} \\ p(0) &= 1. \\ m(t) &= N(t) \cdot p(t); \\ \bar{N}_1(t) &= \begin{cases} N_1(1-t/\bar{t}_{TC1}), & \text{якщо } t \leq \bar{t}_{TC1}; \\ 0, & \text{якщо } t > \bar{t}_{TC1}; \end{cases} \quad \bar{t}_{TC1} = \sum_{j=1}^{N_1} t_{TC1}^j / N_1. \\ \frac{d\bar{N}_2(t)}{dt} &= v [\beta N_{TP} - \bar{N}_1(t_0) - \bar{N}_2(t_0)], \quad \beta > 1. \end{aligned} \tag{4}$$

Отримана математична модель, описана системою рівнянь (4) дозволяє спрогнозувати:

- інтенсивність вибуття зразка з парку ОБТ $\lambda(t)$, яка має лінійну залежність від α ;
- зміна ймовірності справного стану зразка ОБТ $dp(t)/dt$ в межах заданої величини τ_{MP} ;
- середню чисельність зразків в парку озброєння та військової техніки $m(t)$;
- динаміку середньої чисельності застарілих $\bar{N}_1(t)$ та нових $\bar{N}_2(t)$ зразків парку ОБТ;

Розраховані параметри дозволяють оцінити технічний рівень парку ОБТ шляхом обчислення коефіцієнта оновлення парку сучасними зразками ОБТ: $K_{онов}(t) = \bar{N}_2(t)/N(t)$ та коефіцієнта справності $K_{сп}(t) = m(t)/\bar{N}(t)$. Поряд з розглянутими можливостями дана модель дозволяє оцінити динаміку витрат на технічне забезпечення парку ОБТ протягом заданого періоду експлуатації.

Стосовно побудови інших концептуальних структур полімодельного комплексу (рис. 1) можливі варіанти як аналітичного, так й імітаційного моделювання. Для проведення імітаційного моделювання процесів моніторингу технічного стану парку ОБТ доцільно використовувати, наприклад, програмні продукти типу *Any Logic*, *Arena*, *Net Logo*, які описують з необхідним ступенем деталізації різні аспекти зазначених задач. В цьому випадку узгодження імітаційної та аналітичних моделей здійснюється на основі принципу Парето в ході відповідного ітераційного обміну інформацією [11, 12, 16].

Висновки

Моделювання системи моніторингу технічного стану однотипного парку ОБТ угруповання військ шляхом полімодельного та багатокритеріального опису різних аспектів цього процесу дає можливість реалізувати концептуальний перехід від стандартної моделі евальвації до розширеної. Сутність зазначеного переходу полягає в побудові полімодельного комплексу процесу моніторингу та отримання прогнозованих оцінок рівня справного стану парку ОБТ, ступеню його оновлення сучасними зразками, а також розрахунку потрібних витрат на технічне забезпечення зразків ОБТ на усіх етапах життєвого циклу та оптимізації процесу управління технічним забезпеченням.

Проведені дослідження показали, що розглянуті проблеми серед зазначених моделей, в першу чергу слід виділяти: моделі цільового застосування системи технічного обслуговування; моделі управління технологічними операціями процесу моніторингу; моделі управління інформаційними потоками; моделі управління матеріально-технічними ресурсами; моделі підсистем прогнозу та оцінки технічного стану зразків ОБТ; моделі динаміки та управління технічним забезпеченням військ; допоміжні моделі для урахування технічних і технологічних обмежень, пов'язаних з функціонуванням системи технічного стану.

Аналіз можливих шляхів вирішення задачі системного моделювання процесу моніторингу технічного стану ОБТ пропонує акцентувати увагу на змісті двох найбільш характерних підходів:

– за логікою першого підходу, формалізація процесу моніторингу, як задача динамічної складової технічної системи однокритеріальної оптимізації, здійснюється на імітаційній моделі великої розмірності, що описує процеси функціонування системи технічного стану в різних умовах обстановки. Далі відбувається неформальна декомпозиція загальної задачі синтезу, побудова часткових аналітичних моделей, котрі відображають різні сторони створення, функціонування та розвитку процесу моніторингу ТС парку ОВТ, що мають прийнятну розмірність;

– згідно іншого підходу, здійснюється постановка задачі багатокритеріальної оптимізації на комплексі різнотипних моделей. При цьому формування і звуження безлічі невідоміючих альтернатив відбувається в інтерактивному режимі. В якості базових моделей в цьому випадку пропонується використовувати дискретні моделі математичного програмування, моделі масового обслуговування, імітаційні моделі, моделі управління розвитком.

Список використаних джерел

1. *Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94.* – [Чинний від 1995-07-01]. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 26 с.
2. *Надійійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94.* – [Чинний від 1996-01-01]. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 98 с.
3. *Сербиновский Б. Ю. Мониторинг производительности труда на предприятии и в вертикально-интегрированной структуре / Б. Ю. Сербиновский, Е. В. Рудик // Научный журнал КубГАУ. – 2010. – № 60(06). – С. 1–25. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/06/pdf/22.pdf>.*
4. *Буренок В. М. Мониторинг технического состояния вооружения и военной техники / В. М. Буренок, Г. С. Толстов // Военная мысль. – 2001. – № 6. – С. 11–12.*
5. *Буравлев А. И. Модель технического обеспечения войск / А. И. Буравлев, А. А. Пьянков // Электронный научный журнал «Вооружение и экономика». – 2010. – № 2 (10). – С. 4–11. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.viek.ru/viek_10_2.pdf.*
6. *Буравлев А. И. Модель управления техническим обеспечением войск / А. И. Буравлев, А. А. Пьянков // Электронный научный журнал «Вооружение и экономика». – 2011. – № 4 (16). – С. 29–34. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.viek.ru/viek_11_4.pdf.*
7. *Буравлев А. И. Методика оценки технического уровня парка вооружения и военной техники в ходе реализации программных мероприятий по ее закупке и ремонту / А. И. Буравлев, С. А. Монин // Электронный научный журнал «Вооружение и экономика». – 2012. – № 1(17). – С. 8–14. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.viek.ru/viek_12_1.pdf.*
8. *Буренок В. М. Технологические и технические основы развития вооружения и военной техники / В. М. Буренок. – М.: Издательский дом «Граница», 2011. – 210 с.*
9. *Чепкій В. В. Математична модель моніторингу динаміки технічного стану озброєння та військової техніки / В. В. Чепкій, В. В. Скачков, О. М. Єфимчиков // Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 10-11 вересня 2014 р. – Одеса: ВА, 2014. – С. 142–144.*
10. *Галіцин В. К. Концептуальні засади моніторингу / В. К. Галіцин, О. П. Суслов, Н. К. Самченко // Бізнес Інформ. – 2013. – № 9. – С. 330–335.*
11. *Охтилев М. Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.*
12. *Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен / пер. с немец. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.*

13. Дедков В. К. Основные вопросы эксплуатации сложных систем / В. К. Дедков, Н. А. Северцев – М. : Высшая школа, 1976. – 406 с.
14. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – 2-е изд, перераб. и доп. – М. : Наука, 1987. – 336 с.
15. Тараканов К. В. Аналитические методы исследования систем / К. В. Тараканов, Л. А. Овчаров, А. Н. Тырышкин. – М. : Сов. Радио, 1974. – 240 с.
16. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учебное пособие / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 5-е изд., стер. – М. : КНОРУС, 2013. – 448 с.

Рецензент: Дем'янчук: Б.О., д.т.н., доц., Військова академія (м.Одеса)

**СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ
ПРИ РАСШИРЕННОЙ МОДЕЛИ ЭВАЛЬВАЦИИ**

В.В. Чепкий, В.В. Скачков, А.Н. Ефимчиков

В статье реализуется идея расширенной эвальвации (оценивания) технического состояния однотипного парка вооружения и военной техники (ВВТ) путём организации системного моделирования процесса мониторинга. Определяется концепция системного моделирования процесса мониторинга парка ВВТ и очерчивается предметная область исследований. На их основе формируется полимодельный комплекс, в состав которого входят модель динамики технического состояния ВВТ, динамическая модель технического обеспечения войск и модель управления им. Приводятся варианты построения указанных моделей.

Ключевые слова: концептуальная модель, полимодельный комплекс, эвальвация, мониторинг технического состояния, качество вооружения и военной техники, граф состояния, срок службы, технический ресурс, коэффициент боеготовности, коэффициент обновления парка.

**SYSTEM MODELLING OF PROCESS OF MONITORING TECHNICAL CONDITION
OF ARMS AND MILITARY EQUIPMENT AT THE EVALVATION EXPANDED MODEL**

V. Chepkii, V. Skachkov, O. Yefymchikov

In article the idea of an expanded evaluation (estimation) of technical condition of the same park of arms and military equipment (AME) by the organization of system modeling of process of monitoring is realized. The concept of system modeling of process of monitoring of AME's park is defined and the subject domain of researches is outlined. On their basis the polymodel complex which part are is formed: model of dynamics of technical condition of AME, dynamic model of technical providing troops and the model of management of it. Options of creation of the specified models are given.

Keywords: conceptual model, polymodel complex, evaluation, monitoring of technical condition, quality of arms and military equipment, state graph, service life, technical resource, fighting capacity coefficient, updating park coefficient