

DOI 10.33099/2618-1614-2023-21-1-52-59

УДК 623:681.2-7

М. В. Швець,

ад'юнкт науково-методичного центру організації наукової та науково-технічної діяльності, Національний університет оборони України, полковник

Удосконалення комплексної моделі метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки в умовах невизначеності із застосуванням пересувних об'єктів метрологічного обслуговування

Запропоновано підхід до удосконалення комплексної моделі метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки в умовах невизначеності із застосуванням пересувних об'єктів метрологічного обслуговування, який урахує коефіцієнт простою певного варіанта технічного складу пересувного об'єкта метрологічного обслуговування, можливість його реконфігурації, базується на методах теорії ігор, теорії системи масового обслуговування та дає змогу врахувати інтенсивність надходження зразків озброєння і військової техніки та засобів вимірювальної техніки військового призначення на метрологічне обслуговування.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, озброєння та військова техніка, модель, технічний склад, пересувна лабораторія вимірювальної техніки, статистичні випробування, система масового обслуговування.

© М. В. Швець, 2023

Постановка проблеми. Основною метою системи метрологічного забезпечення (СМЛЗ) є підтримання озброєння та військової техніки (ОВТ) військ (сил) у боєздатному стані, тому її вдосконалення є важливим науково-технічним завданням, виконання якого дасть змогу ефективно та оперативно вирішувати питання з метрологічного обслуговування (МЛО) ОВТ Збройних Сил України загалом.

Одним з пріоритетних напрямів розвитку СМЛЗ Збройних Сил України є широке застосування пересувних лабораторій вимірювальної техніки (ПЛВТ), призначених для МЛО ОВТ і засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП) безпосередньо в місцях їхньої експлуатації.

ПЛВТ являє собою складну військово-технічну систему, що складається з підсистем (рис. 1), серед яких найважливішою є підсистема вимірювань, призначена для виконання основних завдань, покладених на ПЛВТ загалом.

Однією з основних тенденцій розвитку й модернізації ПЛВТ є створення універсальних високонадійних мобільних комплексів з можливістю їх переобладнання залежно від вимірювальних завдань [1].

Ефективність МЛО ОВТ, ЗВТВП значною мірою залежить від технічного складу ПЛВТ, який визначається робочими місцями (РМ), що застосовуються для МЛО ОВТ і ЗВТВП у місцях їхньої експлуатації. Технічний склад ПЛВТ – сукупність структурних і параметричних даних, які характеризують їхні суттєві технічні рішення й особливості, конфігурації та способи поєднання функціонально пов'язаних елементів між собою за умови повної реалізації заданих функцій. Конфігурацією ПЛВТ є функціонально пов'язані РМ, обладнані робочими еталопами, робочими засобами вимірювань, засобами обчислювальної техніки, допоміжними пристроями, обладнанням, а варіантів такої конфігурації може бути велика кількість.

Для забезпечення визначення оптимального варіанта конфігурації ПЛВТ, проведення спрощення аналізу такої конфігурації та визначення необхідності оптимізації конфігурації ПЛВТ найдоцільнішим буде представлення процесу у вигляді математичної моделі з подальшим моделюванням процесу метрологічного забезпечення (МЛЗ) ОВТ і ЗВТВП.

Таким чином, моделювання процесу МЛЗ ОВТ і ЗВТВП у місцях їхньої експлуатації з урахуванням раціонального технічного складу ПЛВТ є важливим практичним і науковим завданням

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню питань, пов'язаних з організацією МЛО ОВТ і ЗВТВП із застосуванням ПЛВТ присвячено багато робіт. Так, основні вимоги до порядку застосування виїзних метрологічних груп (ВМГ) у складі ПЛВТ викладені в посібниках [2, 3]. У статті [4] запропоновано математичну модель визначення оптимального плану та оптимальних



Рис. 1. Структурна схема пересувної лабораторії виміральної техніки

маршрутів руху за критерієм мінімуму загального часу розподілу ВМГ з МЛО зразків ОВТ військ (сил). У статті [5] розглянутий метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху ВМГ за критерієм мінімуму загального часу МЛО зразків ОВТ, описана процедура розв'язання поставленої задачі та наведений приклад її розв'язання в умовах обмеження сумарних коштів на МЛО військових частин (підрозділів) і транспортних витрат. У роботі [6] представлений метод розв'язання задачі планування роботи універсальних ВМГ і відповідних маршрутів їхнього руху за критерієм мінімуму загального часу МЛО в умовах недостатньої кількості фінансових і часових ресурсів згідно з розподілом номерів обслуговування за видами вимірювань.

Однак запропонований науково-методичний апарат забезпечує вирішення лише часткових завдань з організації МЛО, відсутня комплексність і системність у розв'язанні задач, а прийняті умови і припущення під час їх розв'язання істотно знижують адекватність подання задач і, як наслідок, вірогідність прийнятих рішень з МЛЗ ОВТ і ЗВТВП. З аналізу розглянутих праць випливає, що під час організації МЛЗ ОВТ і ЗВТВП не вирішуються питання, пов'язані з урахуванням коефіцієнта простою певних варіантів технічного складу ПЛВТ, можливості їхньої реконфігурації, невизначеності інформації про час та інтенсивності надходження зразків ОВТ і ЗВТВП на МЛО.

Мета статті – вдосконалення підходів до моделювання метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки в умовах невизначеності із застосуванням пересувних об'єктів метрологічного обслуговування.

Виклад основного матеріалу. МЛЗ закріплених за регіональним принципом військових частин (підрозділів) військовими вимірвальними лабораторіями (ВМЛ) здійснюється планово з визначенням термінів проведення МЛО по кожній військовій частині (підрозділу) на підставі заявок (звітних документів), зокрема за формою 6/МС, визначених [7]. На підставі Плану МЛО військових частин (підрозділів) відповідно до номенклатури ОВТ і ЗВТВП, що підлягають обслуговуванню, формується склад ВМГ; ПЛВТ укомплектовується необхідними робочими еталонами, допоміжним повірочним (калібрувальним) обладнанням, інструментами та приладами, необхідними для проведення МЛО; у визначені терміни

ВМГ висувається в місце дислокації відповідної військової частини та розпочинає свою роботу. Реалізація заходів плану МЛО можлива лише в умовах мирного часу. Під час ведення бойових дій терміни та черговість МЛО військових частин (підрозділів) залежатимуть від інтенсивності надходження зразків ОВТ і ЗВТВП на МЛО, їхньої важливості і пріоритетності, а зазначена інформація матиме характер невизначеності.

Отже, для вирішення поставленого завдання з удосконалення підходів до моделювання метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки в умовах невизначеності із застосуванням пересувних об'єктів метрологічного обслуговування необхідно знайти такий варіант технічного складу ПЛВТ x , який забезпечить максимальну ймовірність $P_{МЛО}(x)$ МЛО вхідного потоку ОВТ і ЗВТВП.

У формалізованому вигляді дане завдання виглядає таким чином:

$$x = \arg \max P_{МЛО}(x), \quad (1)$$

при $K_n(x) \leq K_n^{\partial}$, $\Pi(x) \leq \Pi^{\partial}$, де:

x – варіант технічного складу ПЛВТ;

$P_{МЛО}(x)$ – ймовірність МЛО вхідного потоку ОВТ і ЗВТВП;

$K_n(x)$ – коефіцієнт простою ПЛВТ;

K_n^{∂} – допустиме значення коефіцієнта простою ПЛВТ;

$\Pi(x)$ – продуктивність ПЛВТ;

Π^{∂} – допустиме значення продуктивності ПЛВТ.

Удосконалення комплексної моделі МЛЗ експлуатації ОВТ і ЗВТВП в умовах невизначеності необхідне для розрахунку показників результативності, якими є:

$P_{МЛО}(x)$ – ймовірність метрологічного обслуговування вхідного потоку ОВТ і ЗВТВП;

$K_n(x)$ – коефіцієнт простою для кожного варіанта технічного складу ПЛВТ.

Складність розв'язання задачі з розрахунку перелічених показників результативності зумовлена низкою причин. По-перше, $P_{МЛО}(x)$ та $K_n(x)$ повинні розраховуватися для всіх варіантів технічного складу ПЛВТ, кількість яких може досягати декількох сотень. Більше того, в деяких варіантах потрібно враховувати можливість реконфігурації ПЛВТ шляхом заміни одних РМ іншими. По-друге, під час розрахунків $P_{МЛО}(x)$ та $K_n(x)$ має

враховуватися невизначеність інформації про моменти надходження ОВТ і ЗВТВП на МЛО. Така невизначеність зумовлена територіальним розподілом військових частин (підрозділів), що експлуатують ці ОВТ і ЗВТВП та відсутністю інформації про час подання ОВТ і ЗВТВП на МЛО.

Перелічені фактори не дають змоги одержати остаточні рішення на базі аналітичних методів, тому виникає потреба в застосуванні імітаційної моделі функціонування ПЛБТ в умовах невизначеності інформації про моменти надходження ОВТ і ЗВТВП на МЛО.

У цій моделі невизначеність інформації про моменти надходження ОВТ і ЗВТВП на МЛО вирішується шляхом застосування генераторів випадкових чисел під час моделювання неоднорідного потоку замовлень. Ці генератори випадкових чисел формують псевдовипадкові значення для моментів надходження ОВТ і ЗВТВП на МЛО.

Крім того, алгоритм, який реалізує імітаційну модель для кожної конфігурації кожного варіанта технічного складу ПЛБТ, відтворює процес його функціонування в часі та просторі, й імітуються складові процесу функціонування:

- надходження чергового ОВТ і ЗВТВП певного виду вимірювань на МЛО;
- перевірка наявності не задіяних РМ;
- безпосередньо МЛО ОВТ і ЗВТВП.

Результати кожного кроку імітаційного моделювання інтерпретуються як стан ПЛБТ у певний момент часу [8].

У процесі імітаційного моделювання кожна конфігурація кожного варіанта технічного складу ПЛБТ представляється, як розімкнена однофазна багатоканальна система масового обслуговування з відмовами $GI/G/n/0/m$, що функціонує за принципом FIFO: заявки обслуговуються в порядку надходження.

Час розподілу інтервалів між заявками та час розподілу інтервалів обслуговування замовлень довільні. Кількість каналів обслуговування n для кожної конфігурації кожного варіанта технічного складу ПЛБТ різна. Вона відповідає кількості видів вимірювань, для МЛО яких призначені РМ зі складу ПЛБТ. Тому допускається, що в разі наявності в конфігурації декількох РМ, призначених для МЛО ОВТ і ЗВТВП певного виду вимірювань, вони об'єднуються в один канал обслуговування із сумарною продуктивністю.

Черга в системі масового обслуговування не передбачена – 0, що пояснюється територіальним розподілом замовлень.

Кількість потоків m відповідає загальній кількості видів вимірювань, тобто $m = 18$.

Імітаційне моделювання реалізується на основі методу статистичних випробувань Монте-Карло. Відповідно до цього методу імітація здійснюється шляхом багаторазового відображення одиничної дії ПЛБТ через заданий дискретний крок часу, що дає змогу відображати на основі статистичних вихідних даних імовірнісний характер процесу функціонування ПЛБТ [9,10].

Для отримання результатів для кожної k -ї конфігурації кожного x -го варіанта технічного складу ПЛБТ проводиться I незалежних випробувань. Проведення незалежних випробувань здійснюється за алгоритмом, схема якого наведена на (рис. 2).

Крок 1. Формування неоднорідного потоку ОВТ і ЗВТВП, які надходять на МЛО.

Крок 2. Установлення початкового значення номера варіанта технічного складу ПЛБТ:

$$x = 1.$$

Крок 3. Перевірка закінчення перебору варіантів технічного складу ПЛБТ, виходячи з умови:

$$x > X,$$

де X – загальна кількість варіантів технічного складу ПЛБТ. Якщо номер варіанта технічного складу ПЛБТ більший за загальну кількість варіантів, то виконання алгоритму завершується, в іншому разі виконується крок 4.

Крок 4. Установлення початкового значення номера конфігурації варіанта пересувного об'єкта метрологічного обслуговування:

$$k = 1.$$

Крок 5. Перевірка закінчення перебору конфігурацій варіанта технічного складу пересувного об'єкта метрологічного обслуговування, виходячи з умови:

$$k > K_x,$$

де K_x – загальна кількість варіантів x -го технічного складу ПЛБТ. Якщо номер конфігурації варіанта технічного складу ПЛБТ більший за загальну кількість конфігурацій, то здійснюється перехід на крок 6, в іншому разі виконується крок 9.

Крок 6. Обчислення ймовірності метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки x -м варіантом технічного складу ПЛБТ:

$$P_{MLO}(x) = \frac{\sum_{k=1}^K P_{MLOk}(x)}{K},$$

де $P_{MLOk}(x)$ – імовірність метрологічного обслуговування вхідного потоку ОВТ і ЗВТВП k -ю конфігурацією x -го варіанта технічного складу ПЛБТ;

K – конфігурація технічного складу ПЛБТ.

Крок 7. Обчислення коефіцієнта простою x -го варіанта технічного складу ПЛБТ:

$$K_n(x) = \frac{\sum_{k=1}^K K_{nk}(x)}{K},$$

де $K_{nk}(x)$ – коефіцієнт простою k -ї конфігурації x -го варіанта технічного складу ПЛБТ.

Крок 8. Перехід до чергового варіанта технічного складу ПЛБТ:

$$x = x + 1.$$

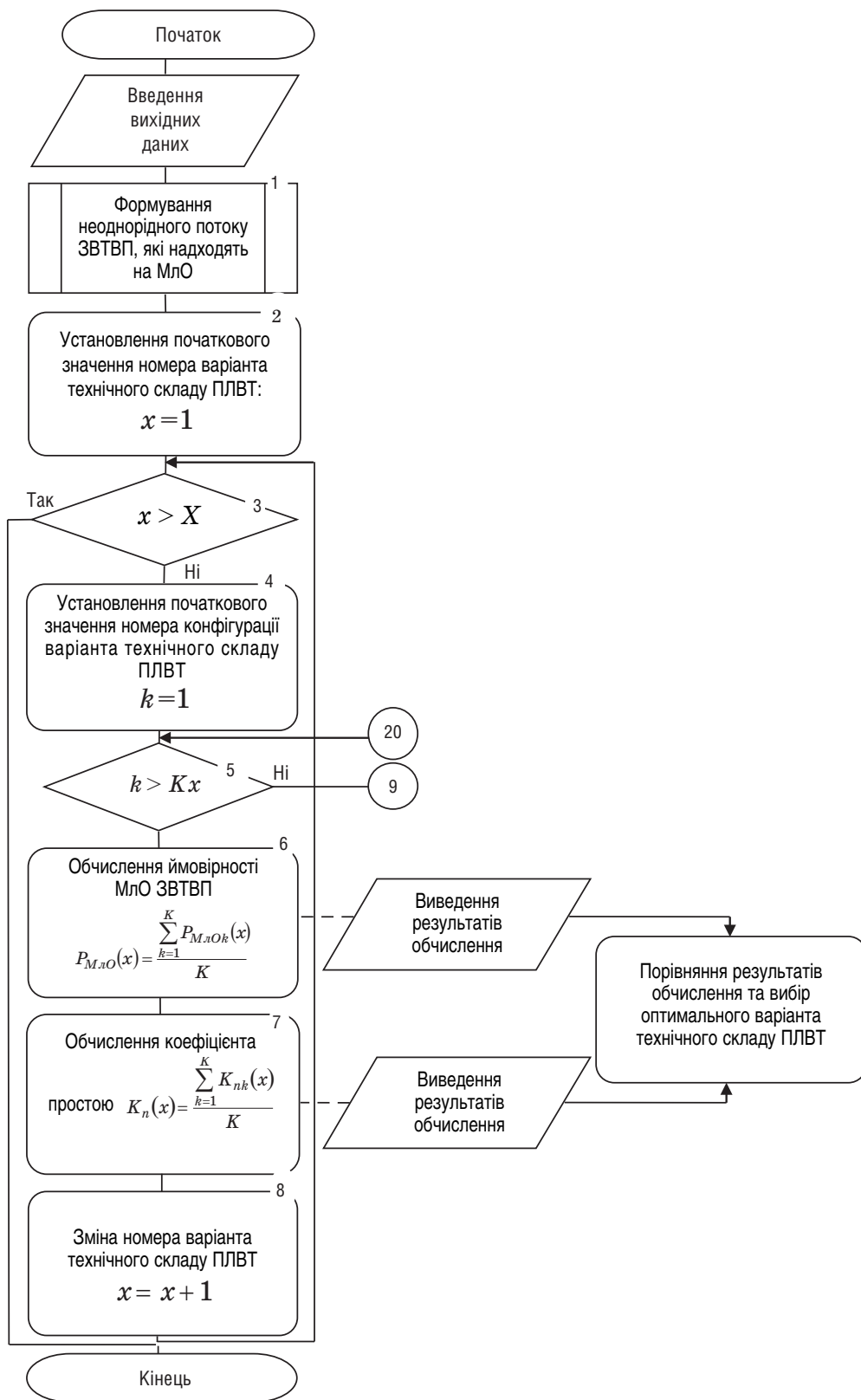


Рис. 2. Алгоритм моделювання процесу функціонування ПЛВТ (початок)

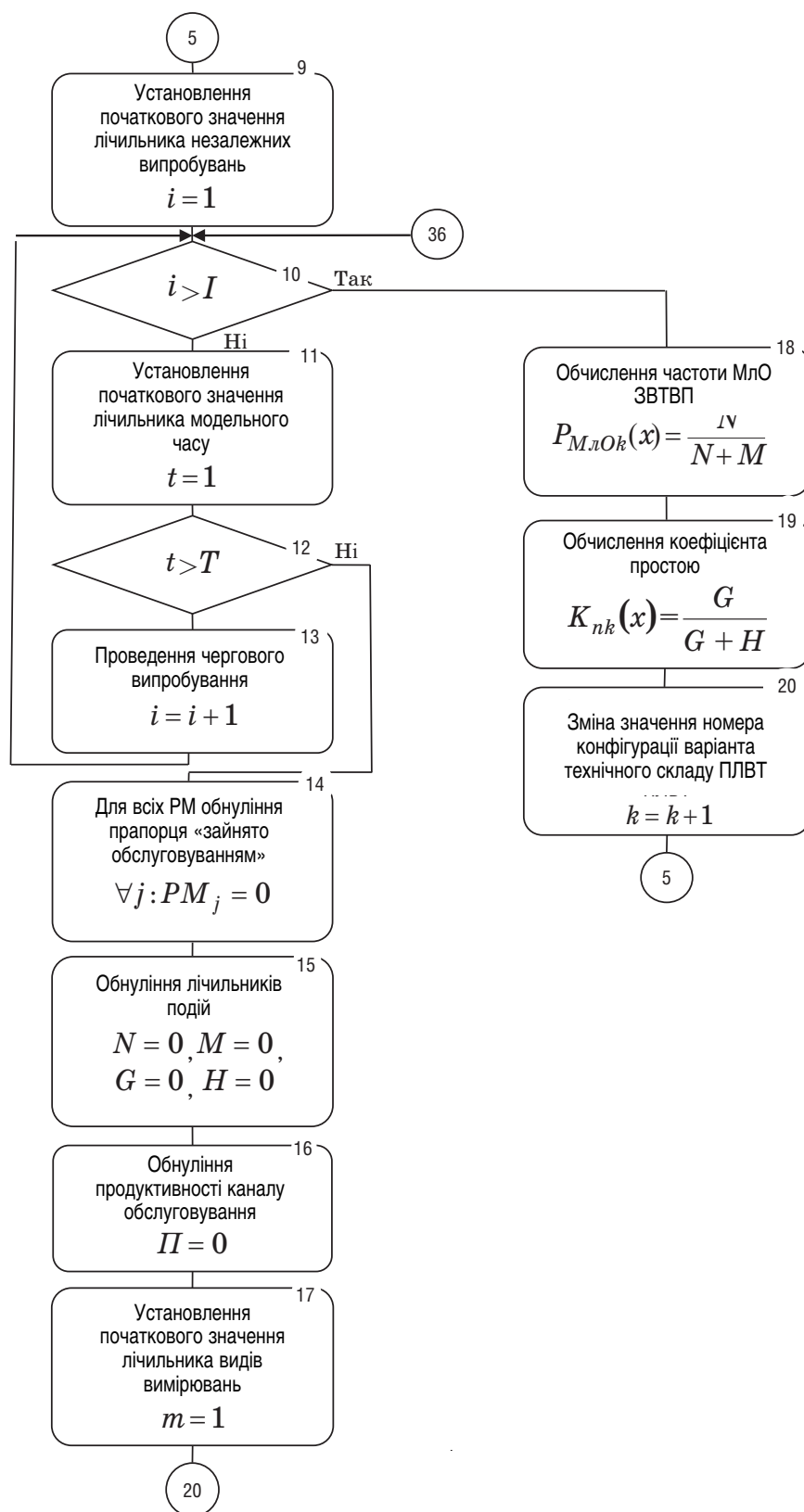


Рис. 2. Алгоритм моделювання процесу функціонування ПЛБТ (продовження)

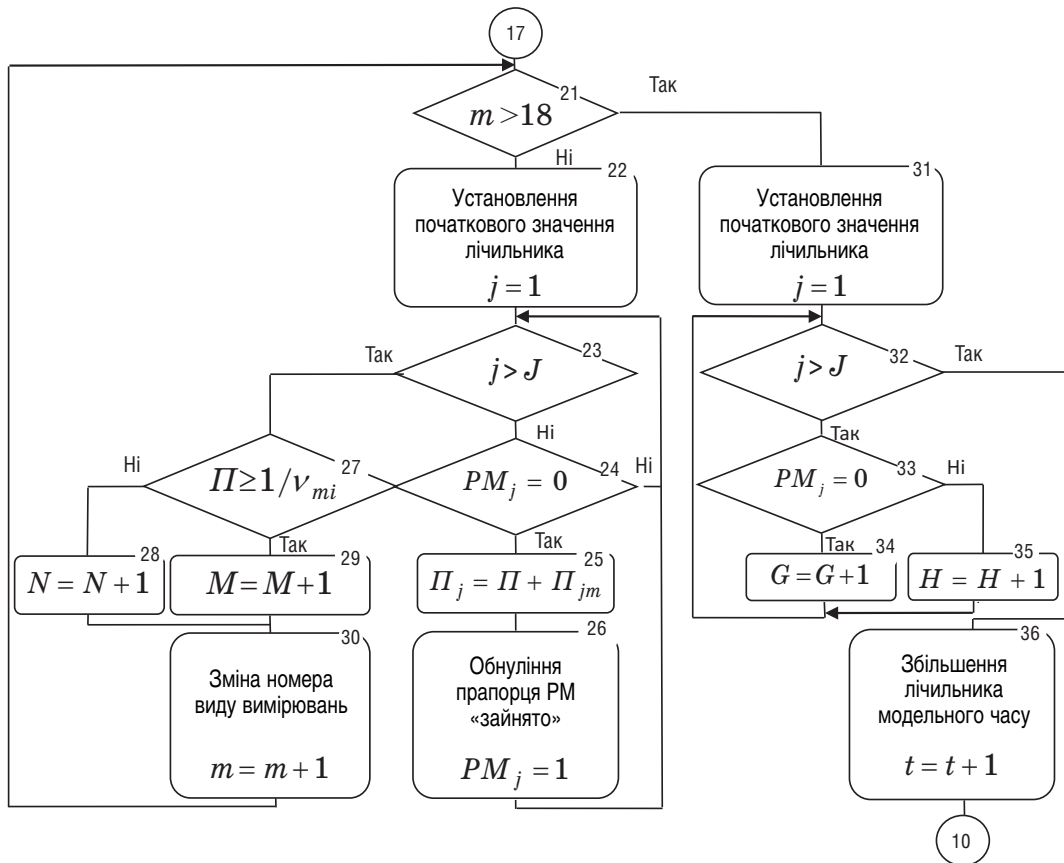


Рис. 2. Алгоритм моделювання процесу функціонування ПЛВТ (закінчення)

Крок 9. Установлення початкового значення лічильника незалежних випробувань:

$$i = 1.$$

Крок 10. Перевірка закінчення проведення незалежних випробувань, виходячи з умови:

$$i > I,$$

де I – загальна кількість випробувань.

Якщо ця умова є істинною, то виконується крок 18, в іншому разі виконується крок 11.

Крок 11. Установлення початкового значення лічильника модельного часу:

$$t = 1,$$

при цьому одиницею модельного часу є доба.

Крок 12. Перевірка умови закінчення моделювання:

$$t > T,$$

де T – допустимий модельний час.

У разі виконання умови здійснюється перехід на крок 13, в іншому разі реалізовується крок 14.

Крок 13. Проведення чергового незалежного випробування:

$$i = i + 1.$$

Крок 14. Для всіх робочих місць обнуління прапорця «зайнято обслуговуванням»:

$$\forall j: PM_j = 0,$$

де PM_j – прапорець j -го робочого місця, який вказує на те, що воно зайняте метрологічним обслуговуванням.

Крок 15. Обнуління лічильників подій, що характеризують результати МЛО ОВТ і ЗВТВП:

$$N = 0, M = 0, G = 0, H = 0,$$

де:

N – кількість подій, за яких ОВТ і ЗВТВП успішно обслужені;

M – кількість подій, за яких ОВТ і ЗВТВП не обслужені;

G – кількість подій, за яких k -та конфігурація x -го варіанта технічного складу ПЛВТ зайнята МЛО;

H – кількість подій, при яких k -та конфігурація x -го варіанта технічного складу ПЛВТ не зайнята МЛО.

Крок 16. Обнуління продуктивності каналу обслуговування ПЛВТ: $\Pi = 0$.

Крок 17. Установлення початкового значення лічильника видів вимірювань: $m = 0$.

Крок 18. Обчислення частоти метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки k -ю конфігурацією x -го варіанта технічного складу ПЛВТ:

$$P_{МЛОk}(x) = \frac{N}{N + M}.$$

Крок 19. Обчислення коефіцієнта простою k -ї конфігурації x -го варіанта технічного складу ПЛВТ:

$$K_{nk}(x) = \frac{G}{G + H}.$$

Крок 20. Зміна номера лічильника кроків:

$$k = k + 1.$$

Крок 21. Перевірка закінчення перебору видів вимірювань, виходячи з умови:

$$m > 18.$$

Якщо ця умова виконується, то здійснюється перехід на крок 30, в іншому разі виконується крок 22.

Крок 22. Установлення початкового значення лічильника РМ: $j = 1$.

Крок 23. Перевірка умови закінчення перебору РМ: $j > J$.

Крок 24. Перевірка того, чи j -те РМ не зайняте МЛО:

$$PM_j = 0.$$

Якщо ця умова виконується, то здійснюється перехід на крок 24, в іншому разі реалізовується крок 22.

Крок 25. Підсумовування продуктивності каналу обслуговування:

$$\Pi_j = \Pi + \Pi_{jm},$$

де Π_{jm} – продуктивність (кількість ОВТ і ЗВТВП за добу) j -го робочого місця з МЛО ОВТ і ЗВТВП m -го виду вимірювань.

Крок 26. Установлення для j -го робочого місця обнуління прапорця «зайнято обслуговуванням»:

$$PM_j = 1.$$

Крок 27. Перевірка можливості метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки k -ю конфігурацією x -го варіанта технічного складу ПЛВТ, виходячи з умови:

$$\Pi \geq \frac{1}{v_{mi}},$$

де v_{mi} – інтенсивність надходження на МЛО ОВТ і ЗВТВП m -го виду вимірювань.

У разі виконання умови здійснюється перехід на крок 27, інакше реалізовується крок 28.

Крок 28. Збільшення лічильника подій, що полягають в обслуговуванні заявки каналом:

$$N = N + 1.$$

Крок 29. Збільшення лічильника подій, що полягають у відмові від обслуговування заявки каналом:

$$M = M + 1.$$

Крок 30. Перехід до чергового виду вимірювань:

$$m = m + 1.$$

Крок 31. Установлення початкового значення лічильника робочих місць: $j = 1$.

Крок 32. Перевірка умови закінчення перебору робочих місць:

$$j > J.$$

У разі виконання умови здійснюється перехід на крок 35, інакше реалізовується крок 32.

Крок 33. Перевірка того, чи j -те робоче місце не зайняте МЛО:

$$PM_j = 0.$$

Якщо ця умова виконується, то здійснюється перехід на крок 34, в іншому разі реалізовується крок 35.

Крок 34. Збільшення лічильника подій, за яких j -те робоче місце зайняте МЛО:

$$G = G + 1.$$

Крок 35. Збільшення лічильника подій, за яких j -те робоче місце не зайняте МЛО:

$$H = H + 1.$$

Крок 36. Спочатку здійснюється збільшення лічильника модельного часу:

$$t = t + 1,$$

а потім здійснюється перехід на крок 10.

Отже, запропонований алгоритм моделювання процесу функціонування ПЛВТ урахує можливість реконфігурації технічного складу ПЛВТ, невизначеність інформації про моменти надходження ОВТ і ЗВТВП, дає змогу розрахувати показники результативності й загалом розв'язати поставлену задачу (1): знайти такий варіант технічного складу ПЛВТ, який забезпечить максимальну ймовірність МЛО вхідного потоку ОВТ і ЗВТВП.

Висновки. У результаті дослідження розроблено вдосконалену комплексну модель метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки в умовах невизначеності із застосуванням пересувних об'єктів метрологічного обслуговування, яка враховує коефіцієнт простою певного варіанта технічного складу пересувного об'єкта метрологічного обслуговування, можливість його реконфігурації, базується на методах теорії ігор, теорії системи масового обслуговування та дає змогу врахувати інтенсивність надходження зразків озброєння і військової техніки й засобів вимірювальної техніки військового призначення на метрологічне обслуговування. Дана модель може бути використана під час військово-наукового обґрунтування розробки перспективних і підвищенні ефективності функціонування існуючих пересувних лабораторій вимірювальної техніки, розробки методів і технічних засобів метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки військового призначення, оцінювання тактико-технічних характеристик пересувних лабораторій вимірювальної техніки під час їх контролю та випробувань.

Перелік літератури

1. Концепція розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року : затв. наказом Міністра оборони України № 12 від 18 січня 2010 р.
2. Кузнецов І. Б. Організація метрологічного забезпечення військ (сил) : навч. посіб. / І. Б. Кузнецов, П. М. Яблонський. – Ч. 1. – К. : НУОУ, 2009. – 356 с.

3. *Кузнецов І. Б.* Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування : навч. посіб. / І. Б. Кузнецов, О. В. Ярошенко. – К. : НУОУ, 2013. – 360 с.

4. *Кононов В. Б.* Математична модель задачі визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів руху виїзної метрологічної групи за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування [Електронний ресурс] / В. Б. Кононов, Ю. І. Шевяков, Д. А. Філістєєв // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 3 (39). – С. 111–113. – Режим доступу : <https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2425>.

5. Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп при метрологічному обслуговуванні військових частин та підрозділів [Електронний ресурс] / В. Б. Кононов, Ю. І. Шевяков, Д. А. Філістєєв, В. В. Бурцева // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 4 (40). – С. 35–41. – Режим доступу : <https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2450>.

6. *Шевяков Ю. І.* Метод планування роботи універсальних виїзних метрологічних груп в умовах недостатньої кількості

фінансових і часових ресурсів [Електронний ресурс] / Ю. І. Шевяков // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2016. – № 3 (48). – С. 120–123. – Режим доступу : <https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17027>.

7. Табелі термінових донесень з питань оперативного та матеріально-технічного забезпечення військ (сил) на мирний час : затв. наказом № 55 начальника Генерального штабу – Головнокомандувача Збройних Сил України від 8 квітня 2010 р.

8. *Ситник В. Ф.* Імітаційне моделювання : навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц / В. Ф. Ситник, Н. С. Орленко. – К. : КНЕУ, 1999. – 208 с.

9. *Бусленко Н. П.* Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах / Н. П. Бусленко, Ю. А. Шрейдер. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1961. – 228 с.

10. *Новіков В. В.* Оцінювання невизначеності методом Монте-Карло: стан, проблеми, перспективи [Електронний ресурс] / В. В. Новіков // Системи обробки інформації. – 2012. – № 1 (99). – С. 156–161. – Режим доступу : <https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/9340>.