

УДК 621.396.6

канд. техн. наук Сакович Л. М. ORCID: 0000-0002-8257-7086 (ІСЗЗІ НТУУ «КПІ»)

канд. військ. наук Слюсарчук О. О. ORCID: 0000-0002-9954-9129 (НДІ ВР)

Слюсар П. П. ORCID: 0009-0007-3738-2523 (НДІ ВР)

АЛГОРИТМ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ОБҐРУНТУВАННЯ МІНІМАЛЬНО НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РОЗВІДКИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЇХНЬОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

У статті вперше запропоновано рішення однієї із задач технічної діагностики – мінімізації кількості параметрів для постійного контролю їхніх значень під час експлуатації технічних засобів розвідки. До таких об'єктів відносяться системи спеціального радіозв'язку, радіоелектронної розвідки та багато інших. Їхнє функціонування об'єктивно оцінюється сукупністю параметрів, постійно контролювати значення яких недоцільно внаслідок значної вартості та надлишковості, а також наявності взаємозалежних параметрів в системі. Тому виникає завдання визначення їх мінімально припустимої кількості за обґрунтованим критерієм, що об'єктивно оцінює готовність системи до виконання необхідних функцій. Рішення задачі залежить від важливості параметрів для користувача системи, об'єму частини комплексу, що перевіряється, вартості вбудованих засобів контролю та інших показників якості, які об'єднуються комплексним показником. Його значення нормується ймовірністю переважного вибору параметра для моніторингу технічного стану виробу. Ранжування параметрів за цим показником дозволяє обґрунтовувати їх мінімально необхідну кількість для моніторингу при забезпеченні заздалегідь заданого значення показника якості контролю.

У статті запропонована схема, математичний апарат і алгоритм реалізації методу обґрунтування мінімально необхідної кількості параметрів для моніторингу стану технічних засобів розвідки. Отримані результати із використанням інформаційних технологій дають можливість прогнозування технічного стану об'єкта контролю для підтримання необхідних значень показників надійності. Подальші дослідження доцільно направити на використання отриманих результатів для прогнозування технічного стану засобів на основі сучасних інформаційних технологій, що дозволить оптимізувати періоди ТО і планових ремонтів за критерієм мінімуму вартості при збереженні необхідних значень показників надійності.

Ключові слова: технічні засоби розвідки, моніторинг параметрів, технічний стан, ймовірність переважного вибору.

L. Sakovich, O. Slyusarchuk, P. Slyusar Algorithm for implementation of the method of justification of the minimum necessary number of parameters of technical means of intelligence for monitoring their technical condition.

In the article the solution to one of the problems of technical diagnostics is offered for the first time — minimizing the number of parameters for constant monitoring of their values during the operation of technical means of intelligence. They include systems of special radio communication, signal intelligence and many others. Their functioning is objectively evaluated by a set of parameters, the values of which are impractical to constantly monitor due to significant cost and redundancy as well as the presence of interdependent parameters in the system. Therefore, there is a task of determining their minimum acceptable number according to a well-founded criterion that objectively assesses the readiness of the system to perform the necessary functions. The solution to the problem depends on the importance of the parameters for the system user, the volume of the inspected part of the complex, the cost of built-in controls and other quality indicators, which are combined by a complex indicator. Its value is normalized by the probability of the preferred choice of the parameter for monitoring the technical condition of the product. The ranking of parameters according to this indicator allows you to justify their minimum necessary number for monitoring while ensuring the predetermined value of the control quality indicator.

The article proposes a scheme, a mathematical apparatus and an algorithm for the implementation of the method of substantiating the minimum necessary number of parameters for condition monitoring. The obtained results with the use of information technologies make it possible to predict the technical condition of the control object in order to maintain the required values of reliability indicators.

Keywords: technical means of intelligence, parameter monitoring, technical condition, probability of the preferred choice.

Постановка проблеми. Кількісна оцінка функціонування технічних засобів розвідки (далі – ТЗР) можлива тільки завдяки моніторингу оптимальної сукупності технічних параметрів. Як правило, це завдання вирішує особовий склад чергових змін. Але внаслідок впливу суб'єктивного фактора можлива неадекватна оцінка технічного стану (далі – ТС) об'єктів, як військових, так і цивільних (наприклад, аварії на об'єктах критичної інфраструктури [1; 2]).

Відомо, що наразі безперервно розвиваються теорія експлуатації складних технічних систем, технічна діагностика їхнього обладнання, метрологічне забезпечення та оцінка надійності всіх компонент [3; 4]. Питання моніторингу параметрів ТЗР внаслідок їх старіння і багаторічної експлуатації залишається важливим та досить актуальним. Тому наразі є актуальним вирішення наукового завдання обґрунтування мінімально необхідної кількості параметрів ТЗР, достатніх для якісного моніторингу їхнього ТС.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш досліджені питання контролю параметрів ТЗР під час їх технічного обслуговування (далі –ТО) і поточного ремонту [3; 5; 6], тобто не постійно, а періодично. Це дозволяє оцінити ТС тільки під час ТО або діагностування ТЗР, але не в період між ними. Останнім часом у зв'язку зі скрутним економічним становищем виникає необхідність ТО за станом, коли перевіряють мінімально необхідну кількість параметрів ТЗР, а перелік робіт залежить від результатів їхнього контролю [5–7].

Тобто, відомі результати неможливо використовувати для рішення завдання постійного моніторингу параметрів ТЗР критичної інфраструктури. Тому виникає наукова задача щодо обґрунтування мінімально необхідної кількості параметрів ТЗР для якісного моніторингу їхнього ТС, яка і вирішується у цій статті.

Мета статті – розробка алгоритму обґрунтування мінімально необхідної кількості параметрів для постійного контролю їхніх значень з метою визначення ТС ТЗР із заданою високою ймовірністю отримання достовірної оцінки ТС ТЗР.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 наведена схема реалізації методу обґрунтування мінімально необхідної кількості параметрів ТЗР для моніторингу і оцінки їхнього ТС із заданою ймовірністю [4]. Послідовність ранжування всієї сукупності параметрів необхідних для оцінки ТС ТЗР визначається тим, що обов'язково необхідно контролювати значення найбільш важливих параметрів, необхідних для функціонування ТЗР із врахуванням надійності елементів, що впливають на їхні значення, а також надійності і вартості вбудованої системи контролю (бінарних перетворювачів – нормалізаторів значень параметрів).

Залежно від призначення та умов використання внаслідок експертного опитування провідних фахівців в цій галузі визначають вагові коефіцієнти важливості кожного параметра для користувача k_i , надійності сукупності елементів, що впливають на значення параметра n_i , вартості v_i та надійності w_i вбудованої системи контролю параметрів, причому'

$$k_i + n_i + v_i + w_i = 1; i = \overline{1N},$$

де i – змінний параметр ТЗР;

N – загальна кількість параметрів ТЗР.

Надійність сукупності елементів і системи контролю оцінюють середнім значенням наробітку на відмову T_i , яку отримують за результатами випробувань або розрахунком параметра потоку відмов Z_i , за відомими методиками [7]. Вартість засобів контролю стану кожного параметра оцінюють реальними витратами на їх створення.

$$u_i = \frac{k_i T_{PEK} T_{B3K} F_{B3K}}{n_i T_{ei} w_i T_{zi} v_i F_i}; \quad i = \overline{1N},$$

де T_{PEK} – наробіток на відмову ТЗР;

T_{B3K} – наробіток на відмову вбудованих засобів контролю;

F_{B3K} – загальна вартість вбудованих засобів контролю;

T_{ei} – наробіток на відмову сукупності елементів, які впливають на параметр i ;

T_{zi} – наробіток на відмову вбудованих засобів контролю параметра i ;

F_i – загальна вартість вбудованих засобів контролю параметра i .

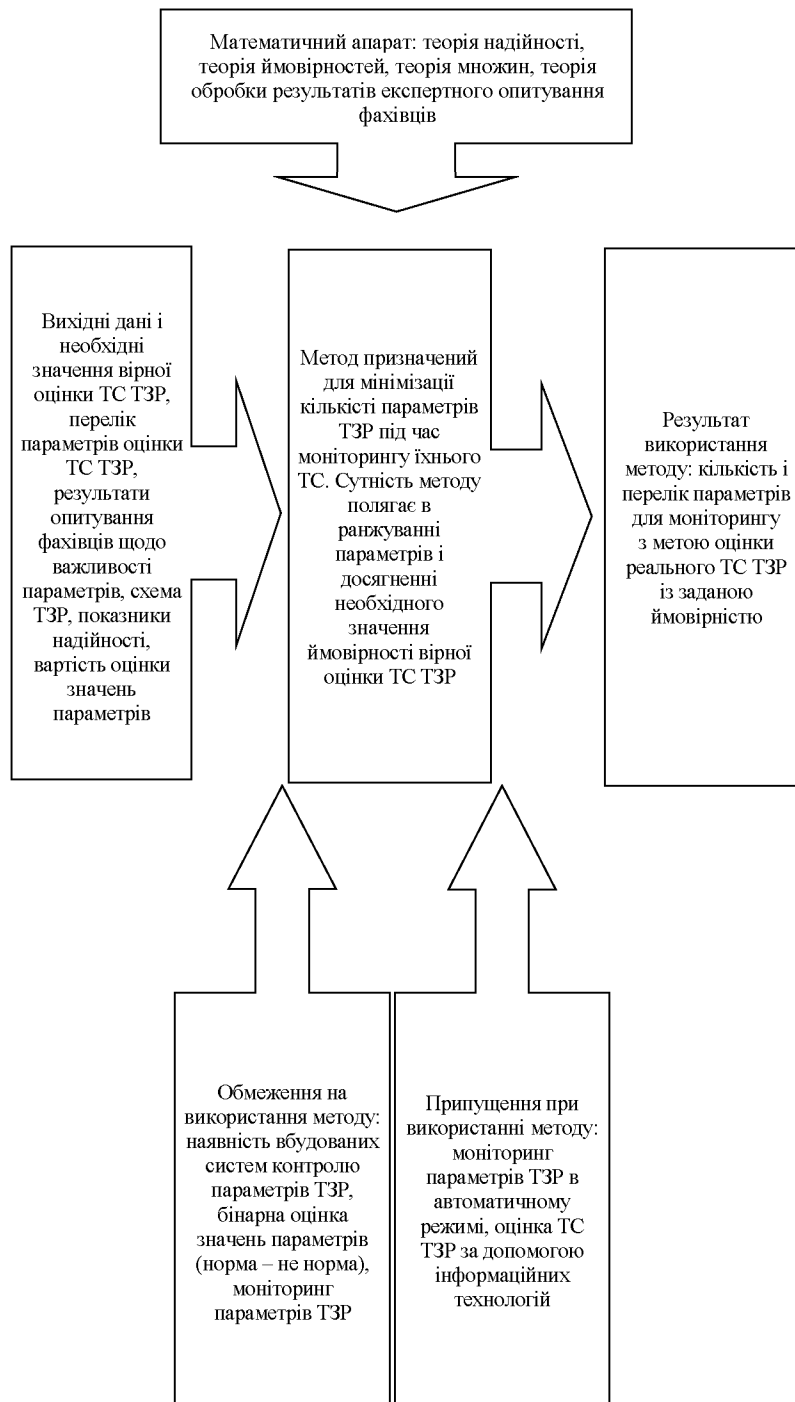


Рис. 1. Схема реалізації методу обґрунтування мінімально необхідної кількості параметрів ТЗР для моніторингу і оцінки їхнього ТС із заданою ймовірністю необхідною для отримання достовірної оцінки ТС ТЗР

У цьому випадку для ранжування параметрів ТЗР пропонується кожний з них оцінити комплексним показником u_i :

$$U_i = \frac{u_i}{\sum_{i=1}^N u_i}; \quad \sum_{i=1}^N U_i = 1.$$

Значення u_i безрозмірне та суттєво відрізняється для окремих параметрів, тому для їх ранжування доцільно використовувати ймовірність переважного вибору.

Після ранжування параметрів в порядку зменшення значення u_i визначають мінімальну необхідну кількість параметрів для моніторингу ТЗР за критерієм досягнення заданого значення ймовірності вірної оцінки ТС, як частини ТЗР, що перевіряють:

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{L} \geq P; \quad 1 \leq m \leq N,$$

де L_i – кількість елементів, які впливають на параметр i ;

$L = \sum_{i=1}^m L_i$ – загальна кількість елементів ТЗР;

m – мінімально необхідна кількість параметрів ТЗР, які перевіряються під час моніторингу ТС.

Блок-схема алгоритму реалізації методу представлена на рисунку 2. Розглянемо його використання на прикладі ТЗР, теоретико-множинна модель якого представлена на рисунку 3, вихідні дані в таблиці 1.

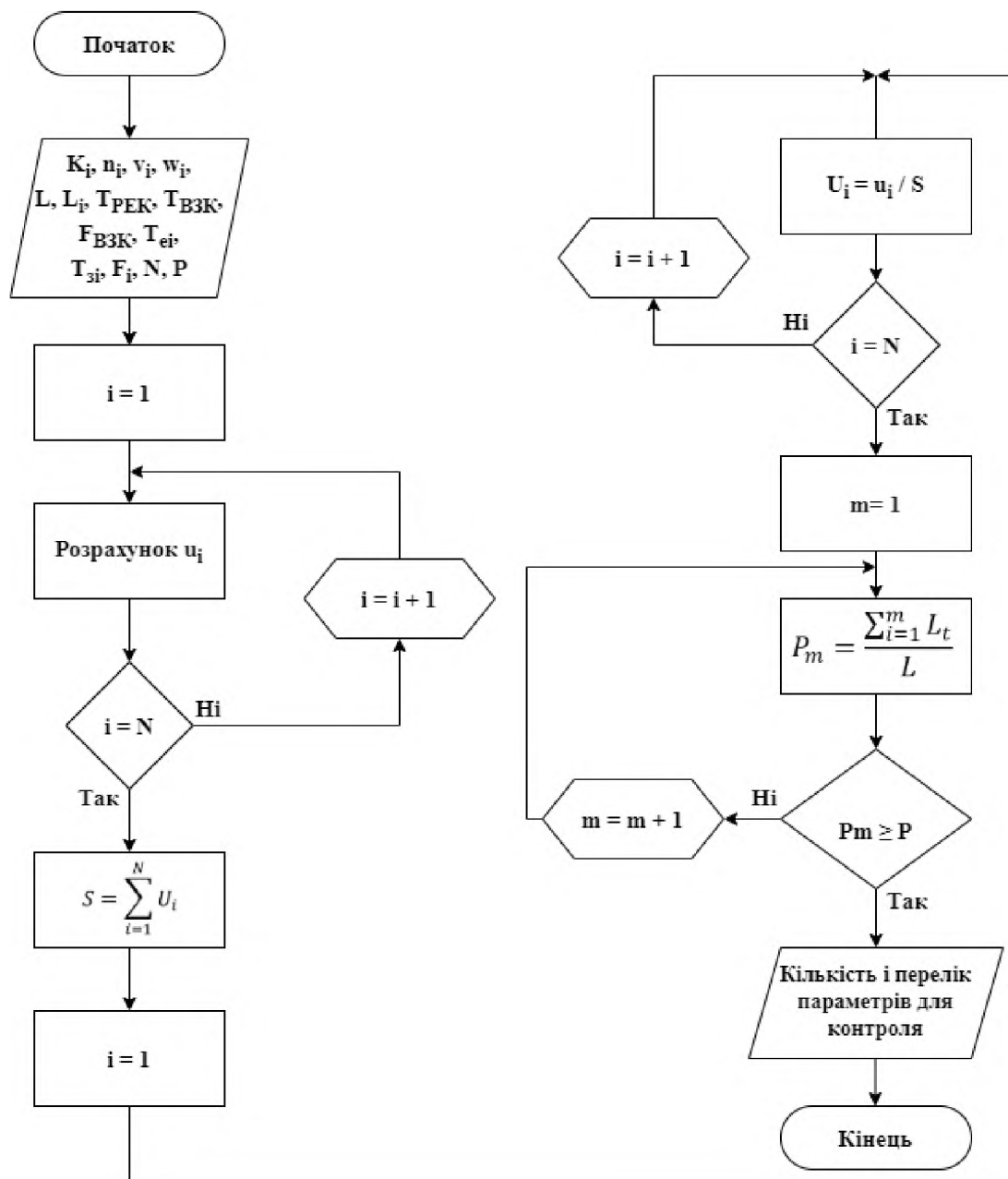


Рис. 2. Блок-схема алгоритму реалізації методу мінімізації кількості параметрів ТЗР

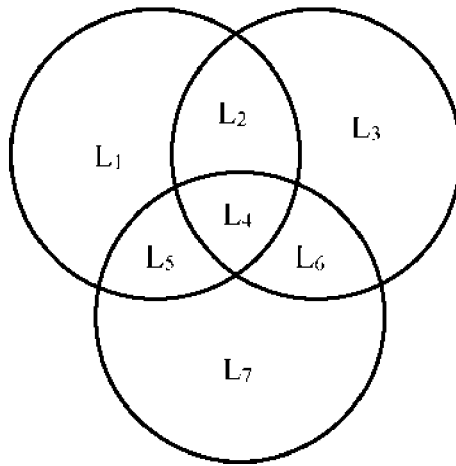


Рис. 3. Теоретико-множинна модель ТЗР від кількості перевічених параметрів після їх ранжування

Таблиця 1

Приклад реалізації методу мінімізації кількості параметрів ТЗР для оцінки їхнього ТС (вихідні дані)

<i>i</i>	Вихідні дані							
	k_i	n_i	v_i	w_i	T_{ei}	T_{zi}	F_i	L_i
1	0,70	0,2	0,05	0,05	800	11000	50	120
2	0,60	0,2	0,1	0,1	1200	9000	70	80
3	0,80	0,1	0,05	0,05	2000	12000	180	80
4	0,75	0,2	0,03	0,02	9000	8000	60	210
5	0,65	0,25	0,05	0,05	1400	10000	150	70
6	0,80	0,05	0,10	0,05	1100	13000	80	125
7	0,55	0,25	0,1	0,1	2500	14000	70	70

На рисунку 3 підмножини елементів L_i впливають на формування параметра i . В цьому випадку $N = 7$, а сукупність підмножин елементів ТЗР

$$L = \bigcup_{i=1}^7 L_i .$$

Відповідно, для прикладу, який розглядається в статті, $T_{РЕК} = 175$ год; $T_{ВЗК} = 1520$ год; $F_{ВЗК} = 470$.

Результати розрахунків згідно з блок-схемою алгоритму (див. рис. 2) представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Ранжування параметрів радіоелектронного комплексу

<i>i</i>	u_i	U_i	$P_{анг}$	P_m
1	397,8	0,1435	2	0,4370
2	49,6	0,0179	6	0,9073
3	92,6	0,0335	4	0,7086
4	1808,7	0,6526	1	0,2781
5	61,9	0,0223	5	0,8013
6	349,7	0,1262	3	0,6026
7	11,2	0,0040	7	1,0000

Необхідно визначення ТС з ймовірністю не нижче $P \geq 0,9$. У такому разі $S = 2771,5$ і $L = 755$. Розрахунки показують, що для досягнення необхідної ймовірності оцінки ТС РЕК достатньо контролювати $m = 6$ параметрів, при цьому $P = 0,9073$.

Ефект від використання методу кількісно оцінюється відносним скороченням числа контрольованих параметрів:

$$\eta = \frac{N - mN}{N} 100\% = \frac{7 - 6}{7} 100\% = 14,3\%.$$

Тобто, в прикладі, що розглядається, сьомий параметр контролювати не обов'язково (рис. 4).

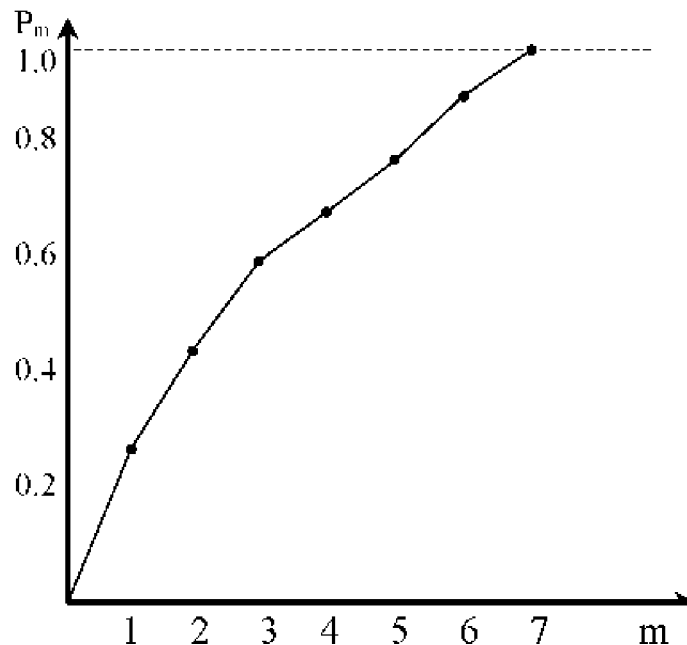


Рис. 4. Залежність ймовірності правильної оцінки TC ТЗР

Аналіз результатів показує, що значення правильної оцінки TC комплексу (рис. 3) суттєво збільшується зі збільшенням кількості перевірених параметрів m .

Причому $\Delta_i = P - P_{i-1}$, тобто приріст ймовірностей правильної оцінки TC збільшується з кожним кроком:

$$\Delta_{i-1} \leq \Delta_i, \quad i = \overline{1, m}.$$

Це свідчить про те, що ранжування порядку перевірки параметрів ТЗР виконано правильно.

Висновки. Вперше запропоновано алгоритм обґрунтування мінімально необхідної кількості параметрів ТЗР для моніторингу їхнього TC.

Розроблено схему і алгоритм реалізації методу з використанням комплексного показника кожного параметра виробу, який враховує його важливість для користувача, надійність елементів і вартість засобів контролю.

Як критерій при визначенні кількості параметрів для моніторингу TC ТЗР пропонується відношення кількості елементів перевіреної частини комплексу до загального числа його елементів після ранжування параметрів за обраним комплексним показником, що відповідає достовірній оцінці його TC.

Приведено приклад використання методу з оцінкою його ефективності за відносним скороченням кількості параметрів для моніторингу до їх загального числа.

Подальші дослідження доцільно направити на використання отриманих результатів для прогнозування TC ТЗР на основі сучасних інформаційних технологій, що дозволить оптимізувати періоди ТО і планових ремонтів за критерієм мінімуму вартості при збереженні необхідних значень показників надійності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грохольський Я. М. Військовий зв'язок в початковий період ліквідації аварії на Чорнобильській АЕС / Я. М. Грохольський, Л. М. Сакович, Г. Я. Криховецький // Системи управління, навігації та зв'язку. 2021. № 2 (64). С. 125–131.
2. Abraham, S., Dhaliwal, H., Efford, R. J., Keen, L. J., McLellan, A., & Wood, P. (2004). Final report on the August 14, 2003 blackout in the United States and Canada: Causes and recommendations. Retrieved from <https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/BlackoutFinal-Web.pdf>.
3. Volodymyr Kononov, Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych. Dependence of parametrs of repaire of military communication means on the quality of metrological support. *Advanced Information Systems*. 2017, Vol. 2, № 1, P. 91–95. DOI: <http://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
4. Бобало Ю. Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія / Ю. Я. Бобало, Б. Ю. Волочій, О. Ю. Лозинський та ін. Львів: Львівська політехніка, 2013. 300 с.
5. Рижов Є. В., Сакович Л. М. Метод визначення послідовності перевірки параметрів під час технічного обслуговування військової техніки зв'язку за станом // *Озброєння та військова техніка*. 2017. № 4 (16). С. 70–72. DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.4\(16\).70-72](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.4(16).70-72).
6. Гнатюк С. Є., Сакович Л. М., Мирошніченко Ю. В. Моделювання порядку перевірки параметрів при технічному обслуговуванні за станом радіоелектронних засобів // *Електронне моделювання*. 2020. Т. 42, № 5. С. 120–128.
7. Сакович Л. М., Криховецький Г. Я., Міхін О. В., Мирошніченко Ю. В. Оцінка впливу метрологічного та діагностичного забезпечення на технічне обслуговування за станом засобів зв'язку // *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 2. С. 120–125.