

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-264-8-78-83>

УДК 621.391.175

ОЦІНКА ПЕРІОДИЧНОСТІ КОНТРОЛЮ СПРАВНОСТІ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ З РЕЗЕРВУВАННЯМ ТА ПОКАНАЛЬНИМ КОНТРОЛЕМ СПРАВНОСТІ НА ОСНОВІ ЗАДАНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Чумаков Л.Д., Мисов О.П., Савченко М.О., Кравець В.І., Тітова О.В.

EVALUATION OF THE PERIODICITY OF MONITORING THE MALFUNCTION OF A TECHNICAL SYSTEM WITH RESERVATION AND PAN-CHANNEL MONITORING OF MALFUNCTION ON THE BASIS OF A SET EFFICIENCY

Chumakov L.D., Mysov O.P., Savchenko M.O., Kravets V.I., Titova O.V.

Сучасні технічні системи містять, як правило, велику кількість елементів, які можуть відмовляти в процесі її експлуатації. Для забезпечення високої ефективності використання технічної системи протягом усього призначеного терміну експлуатації необхідно проводити її технічне обслуговування з метою виявлення можливих відмов і відновлення працездатного стану системи. Досліджено вплив ступеня наближення цільової функції на величину інтервалу між перевірками і ефективність використання технічних систем. Основним завданням проектування обладнання є забезпечення високого рівня його ефективності в процесі експлуатації. Це досягається як конструктивними методами, так і вибором експлуатаційних характеристик. У більшості випадків протягом усього призначеного терміну експлуатації планується проводити його обслуговування з метою виявлення можливих збоїв та відновлення стану. У цьому випадку може статися прихований збій у певному наборі параметрів, що визначають стан роботи системи. Для його усунення обладнання перевіряється на справний стан. Різні групи параметрів можуть відслідковуватися постійно, періодично або не контролюватися протягом відведеного терміну експлуатації пристрою. У статті розглядається випадок періодичного моніторингу стану. Однією з важливих експлуатаційних характеристик обладнання є розмір інтервалу між перевірками. Розподіл часу роботи каналу вважається експоненціальним. Наближене рішення задачі полягає у розширенні показника для коефіцієнта доступності підряд та пошуку коренів нелінійного рівняння. Проведено аналіз впливу на точність вирішення задачі про кількість термінів розширення. Використання цього методу зменшить кількість перевірок порівняно з оптимальною кількістю.

Ключові слова: *певірка, технічна система, резервування, періодичність контролю, оцінка несправності.*

Вступ. Сучасні технічні системи містять, як правило, велику кількість елементів, які можуть відмовляти в процесі її експлуатації.

Для забезпечення високої ефективності використання технічної системи протягом усього призначеного терміну експлуатації необхідно проводити її технічне обслуговування з метою виявлення можливих відмов і відновлення працездатного стану системи.

Однією з важливих експлуатаційних характеристик системи є величина інтервалу між перевірками, яка задається в тактико-технічних вимогах. Розробнику необхідно обґрунтувати виконання цих вимог.

Як правило, вирішують задачу оптимізації:

$$K_r(\bar{\theta}^*) = \max_{\bar{\theta} \in R} K_r(\bar{\theta}),$$

де $K_r(\bar{\theta})$ - коефіцієнт готовності,

$\bar{\theta}$ - множина інтервалів між перевірками,

$\bar{\theta}^*$ - оптимальне множина інтервалів між перевірками,

R - область, яка визначає сукупність допустимих стратегій контролю.

Вирішення цього завдання для експоненціального закону часу безвідмовної роботи системи наведено в роботах [1, 2].

Зазвичай крива залежності значень коефіцієнта готовності від величини інтервалу між перевірками в районі оптимуму має пологі форму і, отже, можна зменшити кількість перевірок за умови виконання вимог до коефіцієнта готовності.

Тоді умова вибору величини $\bar{\theta}^*$ має вигляд:

$$K_r(\bar{\theta}^*) = K_r^{зад}, \quad (1)$$

де θ^* - множина інтервалів між перевірками, коли виконана умова (1),

$K_r^{зад}$ - задана величина коефіцієнта готовності.

Мета статті - показати рішення задачі вибору тривалості інтервалу між перевірками для цього випадку. Подібна задача для системи без резервування вирішена в роботі [3], а для системи з дублюванням - в роботі [4].

У цій роботі розглядається технічна система, що знаходиться в стані готовності виконати поставлене перед нею завдання на інтервалі $[0, T]$, де T - призначений термін експлуатації. Система складається з трьох каналів, які з'єднані за схемою "2 з 3-х" або за схемою "1 з 3-х".

У випадковий момент часу, рівномірно розподілений на інтервалі $[0, T]$, може надійти команда на застосування технічної системи. При цьому можливе існування прихованої відмови по деякій множині параметрів, що визначають працездатність системи. Для його усунення проводяться перевірки справності технічної системи. Різні групи параметрів можуть контролюватися безперервно, періодично або не контролюватися протягом усього терміну експлуатації. Завдання оцінки ефективності експлуатації технічної системи при агрегатному методі ремонту розглянуті в роботах [5, 6].

Результати досліджень. В даному випадку розглядається періодичний контроль справності.

Нехай час безвідмовної роботи каналу розподілено по експонентному закону $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, де λ - інтенсивність відмов одного з каналів системи. Для системи без резерву оптимальною стратегією контролю в повному обсязі є рівномірне розташування перевірок [1-5], тому в нашому випадку можна розглянути один інтервал між перевірками.

Вираз для коефіцієнта готовності при резервуванні за схемою "2 з 3-х", прийнявши, що час заміни дуже малий, запишемо наступним чином:

$$K_r(\theta) = \frac{\frac{3}{2}(1 - e^{-2\lambda\theta}) - \frac{2}{3}(1 - e^{-3\lambda\theta})}{\lambda(\theta + \tau)}, \quad (2)$$

де θ - величина інтервалу між перевірками;

τ - тривалість перевірки.

Тоді умова вибору величини θ^* має вигляд (1).

Наближене рішення задачі можна шукати, розкладаючи експоненти у виразі (2) в ряд і беручи різне число членів розкладання.

Формула (2) буде виглядати наступним чином: для 3-х членів розкладання

$$K_r(\theta) \approx \frac{\theta - \lambda^2\theta^3}{\theta + \tau}, \quad (3)$$

для 4-х членів розкладання

$$K_r(\theta) \approx \frac{\theta - \lambda^2\theta^3 + \frac{5}{4}\lambda^3\theta^4}{\theta + \tau}, \quad (4)$$

для 5-ти членів розкладання

$$K_r(\theta) \approx \frac{\theta - \lambda^2\theta^3 + \frac{5}{4}\lambda^3\theta^4 - \frac{19}{20}\lambda^4\theta^5}{\theta + \tau}, \quad (5)$$

Нехай канал системи складається з одного комп'ютера з інтенсивністю відмов $\lambda = 0,8649$ 1/г. Час перевірки справності системи $\tau = 0,0044$ м [7]. При оптимальній стратегії контролю $K_r(\theta^{opt}) = 0,9176$. Якщо потрібно забезпечити $K_r^{зад} = 0,95$, то в цьому випадку необхідно застосувати резервування каналів, наприклад, за схемою "2 з 3-х".

Графіки залежності коефіцієнта готовності системи від величини інтервалу між перевірками, побудовані на підставі формул (2-5) наведені на рис. 1.

Для пошуку величини інтервалу між перевірками з умови (1) знайдемо відповідні рівняння.

Використовуючи вираз (3), отримаємо наступне рівняння:

$$\lambda^2\theta^3 - (1 - K_r^{зад})\theta + K_r^{зад}\tau = 0, \quad (6)$$

Якщо використовувати вираз (4), то рівняння матиме такий вигляд:

$$\frac{5}{4}\lambda^3\theta^4 - \lambda^2\theta^3 + (1 - K_r^{зад})\theta - K_r^{зад}\tau = 0, \quad (7)$$

Перетворюючи вираз (5), отримаємо рівняння 5-го ступеня:

$$\frac{19}{20}\lambda^4\theta^5 - \frac{5}{4}\lambda^3\theta^4 + \lambda^2\theta^3 - (1 - K_r^{зад})\theta + K_r^{зад}\tau = 0, \quad (8)$$

Рішення таких рівнянь викликає певні труднощі, однак розроблені алгоритми, що дозволяють знаходити їх вирішення [8]. Як видно з малюнка 1, кращі рішення виходять при використанні виразу (8).

Оцінимо величини шуканих і оптимальних міжперевірочний інтервалів для нашого прикладу.

Таким чином, відмова від призначення оптимальних величин міжперевірочний інтервалів і використання інтервалів, що забезпечують заданий рівень готовності, може зменшити число перевірок і зменшити вартість експлуатації.

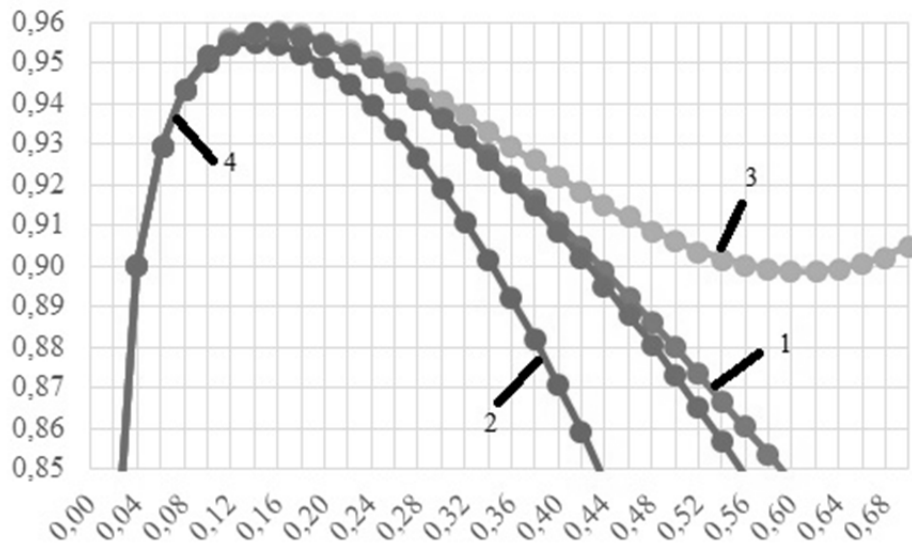


Рис. 1. Залежність коефіцієнта готовності від величини інтервалу між перевірками, де 1 – ехр; 2 - 3 ступінь; 3 - 4 ступінь; 4 - 5 ступінь

Таблиця 1

Величини інтервалів між перевірками і коефіцієнтів готовності

Рівняння	θ^* год	$\theta^{\text{опт}}$ год	$K_r(\theta^*)$	$K_r(\theta^{\text{опт}})$	$\theta^*/\theta^{\text{опт}}$
Експоненти	0,235	0,15	0,9499	0,9576	1,6
3-я ступінь	0,196	0,14	0,9499	0,9553	1,4
4-я ступінь	0,244	0,16	0,9501	0,9578	1,5
5-я ступінь	0,234	0,15	0,9499	0,9575	1,6

Розглянемо систему з резервуванням "1 з 3-х".
Вираз для коефіцієнта готовності

$$K_r(\theta) = \frac{18(1 - e^{-\lambda\theta}) - 9(1 - e^{-2\lambda\theta}) + 2(1 - e^{-3\lambda\theta})}{6\lambda(\theta + \tau)}, \quad (9)$$

Розкладаючи експоненти у виразі (9) в ряд і беручи різне число членів розкладання, отримаємо:
для 2-х членів розкладання

$$K_r(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{1}{4}\lambda^3\theta^4}{\theta + \tau}, \quad (10)$$

для 3-х членів розкладання

$$K_r(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{1}{4}\lambda^3\theta^4 + \frac{3}{10}\lambda^4\theta^5}{\theta + \tau}, \quad (11)$$

для 4-х членів розкладання

$$K_r(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{1}{4}\lambda^3\theta^4 + \frac{3}{10}\lambda^4\theta^5 - \frac{5}{24}\lambda^5\theta^6}{\theta + \tau}, \quad (12)$$

для 5 членів розкладання

$$K_r(\theta) \approx \frac{\theta - \frac{1}{4}\lambda^3\theta^4 + \frac{3}{10}\lambda^4\theta^5 - \frac{5}{24}\lambda^5\theta^6 + \frac{3}{28}\lambda^6\theta^7}{\theta + \tau}, \quad (13)$$

Якщо потрібно забезпечити $K_r^{\text{зад}} = 0,98$, то в цьому випадку необхідно застосувати резервування каналів за схемою "1 з 3-х".

Графіки залежності коефіцієнта готовності системи від величини інтервалу між перевірками, побудовані на підставі формул (9-13) наведені на рис. 2.

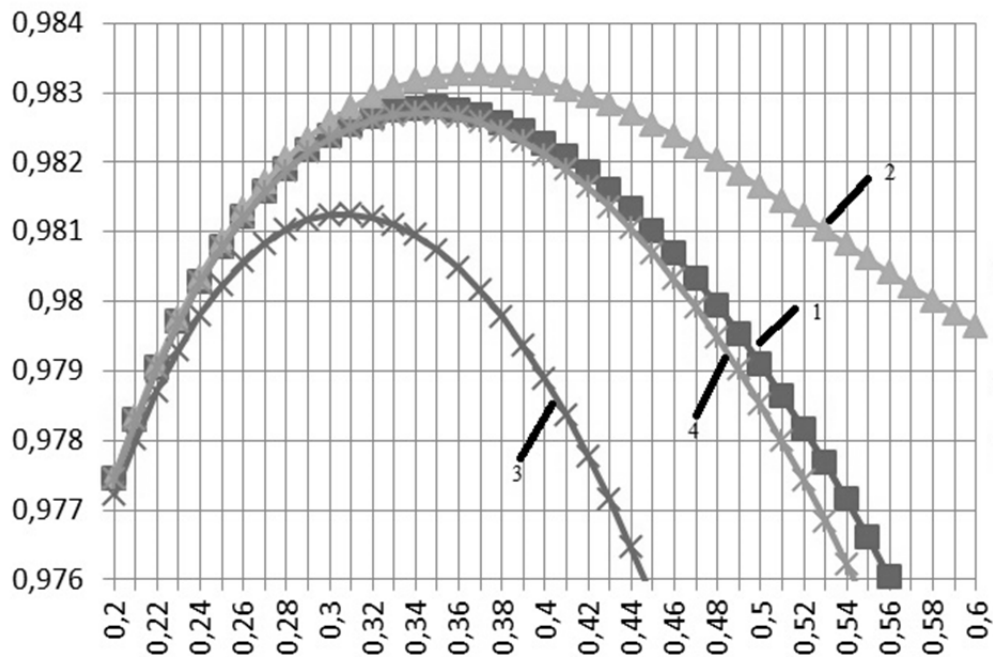


Рис. 2. Залежність коефіцієнта готовності від величини інтервалу між перевірками для схеми "1 з 3-х", де 1 - 5 ступінь; 2 - 4 ступінь; 3 - 6 ступінь; 4 - 7 ступінь

Таблиця 2

Величини інтервалів між перевітками і коефіцієнтів готовності

Рівняння	θ^* год	$\theta^{опт}$ год	$K_r(\theta^*)$	$K_r(\theta^{опт})$	$\theta^*/\theta^{опт}$
Експоненти	0,48	0,35	0,9799	0,9828	1,4
5-я ступінь	0,48	0,35	0,9799	0,9828	1,4
4-я ступінь	0,58	0,37	0,9800	0,9833	1,6
6-я ступінь	0,38	0,31	0,9799	0,9798	1,2
7-я ступінь	0,47	0,34	0,9801	0,9827	1,4

Використовуючи вираз (10), отримаємо наступне рівняння:

$$\lambda^3 \theta^4 - 4(1 - K_r^{зад})\theta + 4K_r^{зад} \tau = 0, \quad (14)$$

Якщо використовувати вираз (11), то рівняння матиме такий вигляд:

$$12\lambda^4 \theta^5 - 10\lambda^3 \theta^4 + 40(1 - K_r^{зад})\theta - 40K_r^{зад} \tau = 0, \quad (15)$$

Перетворюючи вираз (12), отримаємо рівняння 6-го ступеня:

$$111\lambda^5 \theta^6 - 216\lambda^4 \theta^5 + 180\lambda^3 \theta^4 - 720(1 - K_r^{зад})\theta + 720K_r^{зад} \tau = 0, \quad (16)$$

З виразу (13) випливає:

$$4247\lambda^6 \theta^7 - 777\lambda^5 \theta^6 + 1512\lambda^4 \theta^5 - 1260\lambda^3 \theta^4 + 5040(1 - K_r^{зад})\theta - 5040K_r^{зад} \tau = 0, \quad (17)$$

Висновок. Відмова від призначення оптимальних величин інтервалів між перевітками і використання інтервалів, що забезпечують заданий рівень готовності, може також зменшити число перевіток і вартість експлуатації.

Таким чином, в даній роботі проведені дослідження по визначенню величини інтервалу між перевітками справності технологічної системи з резервуванням за схемою "2 з 3-х" і "1 з 3-х" за умови виконання вимог до її ефективності.

Показано, що цей підхід може скоротити кількість перевіток у порівнянні з оптимальною стратегією і дати економічний ефект.

Для резервування за схемою "2 з 3-х" і "1 з 3-х" скорочення кількості перевіток менше, ніж при системі з дублюванням.

Література

1. Волик Б.Г. Работоспособность управляющих систем. Датчики и системы, - 2010. №5 с. 75-78.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ. Изд.2. М.: URSS, 2013. - 584 с.
3. Черкесов, Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов: учеб, пособие / Г. Н. Черкесов. — СПб.: Питер, 2005.
4. Шубинский, И. Б. Функциональная надежность информационных систем: методы анализа / И. Б. Шубинский. — Ульяновск : Надежность, 2012.
5. Сердаков А.С. Автоматический контроль и техническая диагностика. — Киев : Техника, 1971. — 244 с.
6. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики / Под ред. П.П. Пархоменко. — М. : Энергия, 1981. — 320 с.
7. L.D. Chumakov, Selection of strategy of control of good state of technical system with duplication of channels and verification of their good state on the basis of given value of efficiency, System technologies., 4(123), Dnipro, 2019., P.106-111.
8. Calculation of the roots of a polynomial [Electronic resource], Electronic data., Access Mode: www.wolframalpha.com, free, The title from the screen.

References

1. Volik B.G. Rabotosposobnost' upravlyayushchikh sistem. Datchiki i sistemy [The performance of control systems. Sensors and Systems]. 2010. No. 5 p. 75-78 p. (in Russian).
2. Gnedenko B.V., Belyayev YU.K., Solov'yev A.D. Matematicheskiye metody v teorii nadezhnosti: Osnovnyye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskiy analiz [Mathematical methods in the theory of reliability: The main characteristics of reliability and their statistical analysis]. Vol. 2. M. : URSS, 2013. - 584 p. (in Russian).
3. Cherkesov, G. N. Nadezhnost' apparatno-programmnykh kompleksov [Reliability of hardware and software systems]. Textbook, manual. St. Petersburg: Peter, 2005. (in Russian).
4. Shubinskiy, I. B. Funktsional'naya nadezhnost' informatsionnykh sistem: metody analiza [Functional reliability of information systems: analysis methods]. Ulyanovsk: Reliability, 2012. (in Russian).
5. A.S. Serdakov, Avtomaticheskii kontrol' i tekhnicheskaya diagnostika [Automatic control and technical diagnostics]. Kiev, Technique, 1971. (in Russian).
6. P.P. Parkhomenko, E.S. Soghomonyan, Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki [Fundamentals of technical diagnostics, Ed. P.P. Parkhomenko]. M., Energy, 1981. (in Russian).
7. L.D. Chumakov, Selection of strategy of control of good state of technical system with duplication of channels and verification of their good state on the basis of given value of efficiency, System technologies, 4(123), Dnipro, 2019., pp.106-111.
8. Calculation of the roots of a polynomial [Electronic resource], Electronic data., Access Mode: www.wolframalpha.com, free, The title from the screen.

Чумаков Л.Д., Мысов О.П., Савченко М.О., Кравец В.И., Титова Е.В. Оценка периодичности контроля исправности технической системы с резервированием и поканальным контролем исправности на основе заданной эффективности

Современные технические системы содержат, как правило, большое количество элементов, которые могут отказывать в процессе ее эксплуатации. Для обеспечения высокой эффективности использования технической системы в течение всего назначенного срока эксплуатации необходимо проводить ее техническое обслуживание с целью выявления возможных отказов и восстановления работоспособного состояния системы. Исследовано влияние степени приближения целевой функции на величину интервала между проверками и эффективность использования технических систем. Основной задачей проектирования оборудования является обеспечение высокого уровня его эффективности при эксплуатации. Это достигается как конструктивными методами, так и выбором эксплуатационных характеристик. В большинстве случаев в течение всего назначенного срока службы планируется проводить техническое обслуживание, чтобы выявить возможные сбои и восстановить работоспособное состояние. В этом случае возможен скрытый сбой в определенном наборе параметров, которые определяют состояние системы. Чтобы устранить это, оборудование проверяется на исправность. Различные группы параметров могут отслеживаться непрерывно, периодически или не контролироваться в течение всего назначенного срока службы устройства. В статье рассмотрен случай периодического мониторинга работоспособного состояния. Одной из важных эксплуатационных характеристик оборудования является величина интервала между проверками. Распределение времени работы канала предполагается экспоненциальным. Приближенное решение задачи состоит в увеличении показателя степени для коэффициента доступности в ряд и нахождении корней нелинейного уравнения. Проведен анализ влияния на точность решения задачи числа членов разложения. Использование этого метода уменьшит количество проверок по сравнению с оптимальным количеством.

Ключевые слова: проверка, техническая система, резервирование, периодичность контроля, оценка неисправности.

Chumakov L.D., Mysov O.P., Savchenko M.O., Kravets V.I., Titova O.V. Evaluation of the periodicity of monitoring the malfunction of a technical system with reservation and pan-channel monitoring of malfunction on the basis of a set efficiency

Modern technical systems contain, as a rule, a large number of elements that may fail during its operation. To ensure high efficiency of the use of the technical system during the entire designated period of operation, it is necessary to carry out its maintenance in order to identify possible failures and restore the working state of the system. In article discusses the issues of finding the duration of the interval between checks of the serviceable condition of technical systems with redundant channels when monitoring the health of the channels carried out according to the criterion of a set value of availability function. The influence of the degree of approximation of the objective function on the value of the interval between checks and the efficiency of using technical systems is investigated. The main task of designing equipment is to ensure a high level of its efficiency during operation. This is achieved both by constructive methods and by the choice of operational characteristics. In most cases, during the entire

assigned lifetime, it is planned to carry out its maintenance in order to identify possible failures and restore an up state. In this case, there may be a latent failure in a certain set of parameters that determine the up state of the system. To eliminate it, the equipment is checked for good state. Different groups of parameters can be monitored continuously, periodically or not monitored throughout the assigned lifetime of the device. The article considers the case of periodic monitoring of an up state. One of the important operational characteristics of the equipment is the size of the interval between checks. Channel operating time distribution is assumed to be exponential. An approximate solution to the problem consists in expanding the exponent for the availability factor in a row and finding the roots of the nonlinear equation. The analysis of the influence on the accuracy of solving the problem of the number of expansion terms is carried out. Thus, refusal to assign the optimal values of the intervals between checks and the use of intervals that provide a given level of readiness can reduce the number of checks and the operation cost.

Keywords: *verification, technical system, reservation, frequency of control, fault assessment*

Чумаков Лев Дмитрович – доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна), e-mail: chucha08@meta.ua

Мисов Олег Петрович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна), e-mail: musov@ua.fm

Савченко Марія Олегівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри кафедра технології неорганічних речовин і екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна), e-mail: mashanew1@rambler.ru

Кравець Василь Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна), e-mail: kravetsvasiliyivanovich@gmail.com

Адреса для переписки: відділення Нової пошти № 13, м. Дніпро

Тітова Олена Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна). e-mail: elenatitova@gmail.com

Стаття подана 06.10.2020.