УДК 519.873

А.В. НЕВЗОРОВ, О.В. СКЛЯРЕНКО, Я.О. КОЛОДІНСЬКА, Р.О. ЯРОВИЙ
Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

До пріоритетних завдань науково-технічного характеру, вирішення яких створює умови для вдосконалення процесу експлуатації складних технічних систем та обладнання, належать такі: упровадження сучасних апаратних засобів, методів і програмно-алгоритмічного забезпечення параметричного контролю й діагностування обладнання, засобів і відпрацьованих технологій застосування методів неруйнівного контролю елементів (агрегатів), у яких у процесі експлуатації виникають відмови. Вирішення цих завдань потребує застосування аналітичних, статистичних та інших методів і підходів для визначення й оцінювання показників надійності систем. Саме дослідженню питань аналітичного забезпечення експлуатації складних, зокрема інформаційних, систем і технічного обладнання присвячена стаття.

У статті визначено особливості аналітичного забезпечення експлуатації інформаційних систем і технічного обладнання в умовах сучасних викликів, наведено визначення показників надійності й оцінювання рівня безвідмовності складних технічних об'єктів. Аналіз наукових праць за цією темою виявив, що наразі недостатньо досліджені й відсутні чітко обґрунтовані рекомендації щодо врахування впливу на величину статистичного оцінювання показника надійності виробу календарного терміну його експлуатації поряд із наробітком. Авторами запропоновано науковий підхід, який дає змогу здійснити якісне оцінювання рівня надійності щодо попередніх періодів експлуатації. При цьому не враховується вплив на статистичне оцінювання показника інтенсивності експлуатації. Статистичні дані про відмови та несправності отримуються за нестабільних умов спостережень, що значно впливає на точність і достовірність оцінювання. Одним із часткових завдань дослідження є вдосконалення методики статистичного контролю надійності агрегатів технічного обладнання з урахуванням впливу інтенсивності експлуатації та нестабільних умов спостережень.

Ключові слова: експлуатація, діагностування, надійність систем, контроль параметрів, показники надійності.

A.V. NEVZOROV, O.V. SKLIARENKO, Ya.O. KOLODINSKA, R.O. YAROVYI
Private Higher Educational Establishment "European University"

FEATURES ANALYTICAL SUPPORT OPERATING EQUIPMENT IN MODERN CONDITIONS

The priority tasks of a scientific and technical nature, the solution of which creates conditions for improving the process of operation of complex technical systems and equipment, include: the introduction of modern hardware, methods and software and algorithmic support for parametric control and diagnostics of equipment, means and proven technologies for the application of methods of non-destructive control of elements (units) that fail during operation. Solving these tasks requires the use of analytical, statistical, and other methods and approaches for determining and evaluating system reliability indicators. This article is devoted to the study of analytical support for the operation of complex, in particular, information systems and technical equipment.

The article defines the features of analytical support for the operation of information systems and technical equipment in the conditions of modern challenges, provides the definition of reliability indicators and evaluation of the level of failure of complex technical objects. The conducted analysis of scientific works on this topic revealed that currently there are insufficiently researched and there are no well-grounded recommendations on considering the impact on the value of the statistical assessment of the product reliability indicator of the calendar term of its operation along with the earnings. The authors proposed a scientific approach that allows a qualitative assessment of the level of reliability in relation to previous periods of operation. At the same time, the impact on the statistical evaluation of the exploitation intensity indicator is not considered. Statistics on failures and malfunctions are obtained under unstable observation conditions, which significantly affects the accuracy and reliability of the assessment. One of the partial tasks of the research is to improve the methodology of statistical control of the reliability of technical equipment units, considering the influence of the intensity of operation and unstable observation conditions.

Key words: maintenance, diagnostics, reliability of systems, control parameter, reliability indicators.

https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-1-13

Постановка проблеми

Серед важливих завдань удосконалення експлуатації та оцінювання рівня безвідмовності складних об'єктів за технічним станом є вдосконалення системи збирання, обробки й аналізу інформації про технічний стан і надійність обладнання.

Своєчасне виявлення моментів виникнення деградаційних процесів, що визначають терміни переходу в граничний стан і є індивідуальними для кожного типу виробів, є основною метою контролю рівня надійності техніки на цьому етапі її експлуатації. Питання забезпечення експлуатації та надійності інформаційних систем та обладнання постають особливо гостро в умовах сучасних викликів, особливо це стосується об'єктів критичної інфраструктури. Тому застосування аналітичних методів і підходів для визначення й оцінювання показників надійності є актуальним прикладним завданням сьогодення, саме такому дослідженню й присвячена стаття.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Визначення показників та оцінювання рівня надійності (безвідмовності) інформаційних систем та обладнання належать до затребуваних та актуальних напрямів досліджень, спрямованих на забезпечення стабільності й безпеки експлуатації складних технічних систем. Особливо гостро постають питання безвідмовної роботи, безпеки й відновлюваності об'єктів критичної інфраструктури в умовах сучасних військових викликів і протидії збройній агресії російської федерації. Основні тенденції, що простежуються в наукових дослідженнях у цьому напрямі, зосереджені на визначенні основних понять і показників надійності, аналізі ризиків та оцінюванні надійності [1–7]. Вони розглядають різні підходи до визначення критеріїв оцінювання, включаючи ймовірнісні моделі, статистичні методи й інші аналітичні інструменти [7; 11; 12]. Використання формальних методів і верифікації сприяє виявленню й виправленню можливих помилок і дефектів. Деякі публікації за цією темою присвячені системам виявлення та відновлення, які допомагають реагувати на помилки й відновлювати роботу інформаційних систем із мінімальними затримками [9; 10]. У багатьох дослідженнях розглядаються методи тестування та валідації, які дають змогу перевірити роботу інформаційних систем і їх компонентів. Ці методи включають функціональне тестування, навантажувальне тестування, тестування на надійність та інші техніки [4–6].

Загальний аналіз публікацій виявляє, що питання забезпечення надійності інформаційних систем та обладнання є актуальною проблемою, дослідники працюють над розробленням нових методів, інструментів і підходів для забезпечення стабільності й безпеки інформаційних систем і технічних об'єктів у сучасних умовах. Дослідження включають аналітичні, формальні, статистичні й експериментальні підходи, а також зосереджуються на практичних аспектах, таких як аналіз ризиків, виявлення несправностей, відновлення та безпека систем.

У технічній літературі [3–5] загальноприйнятим уважається підхід до оцінювання показників надійності технічних виробів (інтенсивності відмов, параметру потоку відмов) як функції наробітку за різних законів розподілу часу між відмовами. Методи статистичного оцінювання показників за різних планів випробувань (спостережень) на надійність закріплені в державних стандартах України [6]. Але, як правило, на практиці реальні умови експлуатації техніки не відповідають жодному плану, установленому стандартом [7; 10].

Деякі автори відмічають, що фізичне зношування технічних виробів виникає як під час їх використання за призначенням – зношування 1-го роду, так і під час простоїв (зберігання) – зношування 2-го роду [3; 4].

Аналіз літератури свідчить про відсутність чітко обґрунтованих рекомендацій щодо врахування впливу на величину статистичного оцінювання показника надійності виробу календарного терміну його експлуатації поряд із наробітком.

https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-1-13

Мета дослідження

Метою дослідження є наведення особливостей аналітичного забезпечення експлуатації інформаційних систем і технічного обладнання в сучасних умовах, визначення показників надійності й оцінювання рівня безвідмовності складних технічних об'єктів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для оцінювання надійності технічних виробів використовують установлені стандартами показники, що подані в табл. 1.

Таблиця 1

Основні показники надійності

Властивість	Показник	Позначення
Одиничні		
Безвідмовність	Імовірність безвідмовної роботи	$P(t)$
	Інтенсивність відмов	$\lambda(t)$
	Параметр потоку відмов	$z(t)$
	Середній наробіток до відмови	T_1
	Середній наробіток на відмову	T_0
Довговічність	Середній ресурс	$T_н$
	Експлуатаційний ресурс (середній строк служби)	$T_е$
	Гамма-відсотковий строк служби	$T_{уе\%}$
Ремонтопридатність	Імовірність відновлення	$P_в$
	Інтенсивність відновлення	$\mu(t)$
	Середня тривалість відновлення	$T_в$
Збережуваність	Середній термін збережуваності	$T_з$
	Гамма-відсотковий термін збережуваності	$T_{уз\%}$
Комплексні		
Безвідмовність і ремонтопридатність	Коефіцієнт готовності	$K_г$
	Коефіцієнт оперативної готовності	$K_{ог}$
	Коефіцієнт технічного використання	$K_{тв}$

З табл. 1 випливає, що одиничні показники надійності (наприклад, ремонтопридатність) характеризують тільки одну з властивостей технічного об'єкта, тоді як комплексні показники характеризують декілька властивостей і надалі будуть використовуватися як основні для оцінювання ефективності функціонування складних технічних об'єктів і їх функціональних систем. До цих показників належать такі: коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності, коефіцієнт технічного використання й коефіцієнт збереження ефективності [1].

Коефіцієнт готовності $K_г(t)$ прийнято визначати як імовірність того, що об'єкт буде перебувати в працездатному стані в будь-який довільний момент часу, окрім запланованих періодів, упродовж яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається [2]. Залежність $K_г(t)$ від часу часто називають нестаціонарним коефіцієнтом готовності (функцією готовності). Отримати вираз для нестаціонарного коефіцієнта готовності в аналітичному вигляді досить складно, у загальному випадку він має вигляд [2]

$$Kг = P(t) + \int_0^t P(t-\tau) \cdot \omega_в(\tau)\, dt, \tag{1}$$

де $\omega_в(\tau)$ – параметр потоку відновлень.

Поряд із цим для будь-яких законів розподілу наробітку між відмовами та часу відновлення можна довести, що стаціонарний коефіцієнт готовності має вигляд:

https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-1-13

$$K_г = \frac{M(T_0)}{M(T_0) + M(T_в)}, \tag{2}$$

де $M(T_0)$ – математичне сподівання часу знаходження об'єкта в працездатному стані; $M(T_в)$ – математичне сподівання часу відновлення об'єкта.

Поряд із $K_г(t)$ ДСТУ вводиться коефіцієнт оперативної готовності $K_г(t, t+\tau)$ як імовірність того, що об'єкт буде знаходитися в працездатному стані в довільний проміжок часу, крім запланованих періодів, упродовж яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається, із цього моменту буде працювати безвідмовно впродовж заданого інтервалу часу τ:

$$K_г(t; t+\tau) = P(t+\tau) + \int_0^t P(t+\tau-x)\omega_в(x)\,dt. \tag{3}$$

Для дослідження впливу впроваджених методів і режимів технічного обслуговування й ремонту на ефективність процесу технічної експлуатації застосовують ще один комплексний показник надійності – коефіцієнт технічного використання $K_{тв}$, який дорівнює відношенню математичного сподівання (МС) часу перебування об'єкта в працездатному стані за деякий період експлуатації $M(T_0)$ до суми МС часу перебування об'єкта в працездатному стані та сумарного часу простоїв на всіх видах профілактичних і ремонтних робіт:

$$K_г = \frac{M(T_0)}{M(T_0) + M(T_{пр})}, \tag{4}$$

де $M(T_{пр})$ – сума математичних сподівань часу простою об'єкта на періодичних, регламентних, сезонних роботах, під час проведення доробок, ремонтів, усунення несправностей тощо.

На практиці в процесі експлуатації технічних засобів для оцінювання безвідмовності використовують, як правило, показники інтенсивності відмов, параметра потоку відмов, середній наробіток до відмови, середній наробіток на відмову.

Для оцінювання рівня надійності (безвідмовності) відновлюваних об'єктів використовують характеристики потоку відмов: параметра потоку відмов $\hat{z}$ або наробітку на відмову T_0:

$$\hat{z} = \frac{n}{t_\Sigma}, T_0 = \frac{t_\Sigma}{n}, \tag{5}$$

де n – сумарна кількість відмов і пошкоджень, що виявлені за досліджуваний період часу експлуатації τ сукупності однотипних виробів; t_Σ – сумарне напрацювання сукупності однотипних виробів за той же період часу τ.

Припустимо, що на виріб впливають два незалежні потоки відмов. Перший потік відмов пов'язаний із наробітком, другий – із календарним часом його експлуатації. Обидва потоки є простішими з відповідними інтенсивностями z_1 і z_2. При цьому виріб являє собою об'єкт зі змінним режимом експлуатації.

З урахуванням наведених припущень у деякій літературі можна знайти таке граничне співвідношення [8]:

$$z_1 + \frac{z_2}{K_1} = z = \frac{1}{T_0},$$

звідки отримуємо:

$$T_0 = \frac{K_1}{z_1 + z_2 + K_1}. \tag{6}$$

Коефіцієнт $0 \le K_1 < 1$ характеризує інтенсивність технічної експлуатації виробу за час $T_е$ й визначається за виразом:

$$K_1 = \frac{T_e - T_{ТО} - T_{відн} - T_{прост}}{T_e} \approx \frac{t}{T_e}, \tag{7}$$

https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-1-13

де $T_е$ – календарний час експлуатації виробу за період (рік, півріччя), год.; $T_{ТО}$ – середній час ТО виробу за той же період, год.; $T_{відн}$ – середній час відновлення виробу за період, год.; $T_{прост}$ – середній час простоювання виробів за період без застосування за призначенням, год.; t – середній наробіток виробу за період, год.

За своїм змістом K_1 схожий на коефіцієнт планованого застосування $K_{ПЗ}$, але останній ураховує наробіток, що планується, і не враховує час простоювання без застосування за призначенням.

За допомогою виразу (7) можна виконати якісну та кількісну оцінку впливу інтенсивності експлуатації виробу K_1 на показник його надійності (безвідмовності) T_0.

Якісно із (7) видно, що в разі збільшення інтенсивності експлуатації сукупності виробів K_1 збільшується чисельник і добуток у сумі знаменника $(z \cdot K_1)$, але у зв'язку з тим, що $z_1<1$, чисельник зростає швидше, тому оцінка T_0 теж збільшується:

$$K_1 \uparrow \Rightarrow \frac{K_1 \uparrow\uparrow}{z_1 + z_2 + K_1 \uparrow} \Rightarrow T_0 \uparrow . \tag{8}$$

Навпаки, у разі зменшення інтенсивності експлуатації сукупності виробів $K_1\downarrow$ оцінка середнього наробітку на відмову T_0 теж зменшується:

$$K_1 \downarrow \Rightarrow \frac{K_1 \downarrow\downarrow}{z_1 + z_2 + K_1 \downarrow} \Rightarrow T_0 \downarrow . \tag{9}$$

Таким чином, статистичний показник надійності змінюється залежно від інтенсивності експлуатації, хоча реальний рівень надійності при цьому залишається незмінним.

Розглянемо граничні випадки. Очевидно, що за достатньо високої інтенсивності відбувається швидке вичерпання ресурсу виробу за наробітком, відсутні тривалі простої без застосування за призначенням, тому інтенсивність потоку відмов, пов'язаних зі старінням матеріалів, $z_2 \to 0$. У цьому випадку, як видно з виразу (7), маємо таке:

$$T_0 = \frac{1}{z_1} \downarrow , \tag{10}$$

тобто міжперіодичне оцінювання дає змогу досить точно оцінити реальний рівень безвідмовності й не залежить від зміни інтенсивності застосування.

Інша справа, якщо інтенсивність експлуатації мала [9–10]. У цьому випадку мають місце довготривалі простої без застосування за призначенням, відбувається інтенсивне старіння матеріалів виробу на етапі, коли досягається вичерпання ресурсу за календарними термінами служби в разі істотного залишку ресурсу за наробітком. У граничному випадку, коли спостерігаються високі значення z_2 при $z_1 \to 0$, вираз (7) набуває вигляду:

$$T_0 = \frac{K_1}{z_2} \downarrow ,$$

що свідчить про прямо пропорційну залежність оцінки показника (6) від інтенсивності експлуатації.

Висновки

Стаття присвячена дослідженню методів забезпечення надійності інформаційних систем і технічного обладнання. Визначено, що питання безвідмовності експлуатації складних систем є особливо актуальними в умовах сучасних викликів і потребують удосконалення підходів і розроблення нових методів та інструментів для забезпечення стабільності, безпеки й надійності систем, зокрема інформаційних і технічних об'єктів з урахуванням вимог сьогодення.

Отримані в результаті оброблення інформації значення показників надійності за період експлуатації, як правило, порівнюються з відповідними значеннями показників за попередні періоди. Такий підхід дає змогу якісно оцінити рівень надійності щодо попередніх періодів експлуатації. При цьому, як зазначено вище, не враховується вплив на статистичну оцінку

https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-1-13

показника інтенсивності експлуатації. Статистичні дані про відмови й несправності отримуються за нестабільних умов спостережень, що значно впливає на точність і достовірність оцінки. Одним із часткових завдань дослідження є вдосконалення методики статистичного контролю надійності агрегатів технічного обладнання з урахуванням впливу інтенсивності експлуатації та нестабільних умов спостережень.

Список використаної літератури

1. Іващенко В.В., Шевчук. О.М., Ящук В.М. Надійність систем: методи та засоби оцінювання. Київ : Національний авіаційний університет, 2020. 380 с.
2. Barlow R.E. Engineering reliability. Philadelphia, USA : ASA, SIAM, 1998. 196 p.
3. Smith A.M., Hincheliffe G.R. RCM: gateway to world class maintenance. Burlington, USA : Elsevier Inc., 2004. 340 p.
4. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення: ДСТУ 2864: 94. Чинний з 01.01.1996. Київ : Держстандарт України, 1995. 30 с.
5. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860:94. Чинний з 01.01.1996. Київ : Держстандарт України, 1995. 79 с.
6. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги: ДСТУ 2862:94. Чинний з 08.12.1994. Київ : Держстандарт України, 1994. 38 с.
7. Володарський Є.Т., Кошева Л.О. Статистична обробка даних. Київ : Національний авіаційний університет, 2008. 308 с.
8. Навігаційне забезпечення управління рухом суден / В.І. Богом'я та ін. 1-е вид. Київ : ДВВП «Компас», 2012, 336 с.
9. Шевчук М.В., Шевчук О.М., Макаренко О.І. Надійність комп'ютерних систем. Київ : Кондор, 2018. 328 с.
10. Васілевський О.М. Нормування показників метрологічної надійності. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2011. № 4. С. 9–13.
11. Глеч С. Ієрархічна структура системи підтримання прийняття рішень при управлінні періодичністю технічного обслуговування. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2009. Том 14. № 3. С. 97–101.
12. Modeling and Optimization of Discrete Evolutionary Systems of İnformation Security Management in a Random Environment / V.A. Lakhno et al. *Machine Learning and Autonomous Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2022. Vol. 269. P. 9–22. doi: 10.1007/978-981-16-7996-4_2 [in English]

References

1 Ivashchenko, V.V., Shevchuk, O.M., Yashchuk, V.M. (2020). Nadiinist system: metody ta zasoby otsiniuvannia – [Reliability of systems: assessment methods and tools]. Kyiv : Natsionalnyi aviatsiinyi universytet. [in Ukrainian]

2. Barlow, R.E. (1998). Engineering reliability. Philadelphia, USA : ASA, SIAM.
3. Smith, A.M., Hincheliffe, G.R. (2004). RCM: gateway to world class maintenance. Burlington, USA : Elsevier Inc.
4. Nadiinist tekhniky. Eksperymentalne otsiniuvannia ta kontrol nadiinosti. Osnovni polozhennia – [Reliability of equipment. Experimental evaluation and reliability control. Substantive provisions]. (1995). DSTU 2864:94 from 1st January 1996. Kyiv : Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian]
5. Nadiinist tekhniky. Terminy ta vyznachennia – [Reliability of equipment. Terms and definitions] (1995). DSTU 2860:94. from 1st January 1996. Kyiv : Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian]
6. Nadiinist tekhniky. Metody rozrakhunku pokaznykiv nadiinosti. Zahalni vymohy – [Reliability of equipment. Methods of calculating reliability indicators. General requirements] (1994). DSTU 2862:94. from 8th December 1994. Kyiv : Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian]

https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-1-13

7. Volodarskyi, Ye.T., Kosheva, L.O. (2008). Statystychna obrobka danykh – [Statistical processing of data]. Kyiv : Natsionalnyi aviatsiinyi universytet. [in Ukrainian]
8. Bohomia, V.I., Davydov, V.S., Doronin, V.V., Pashkov, D.P., Tykhonov, I.V. (2012). Navihatsiine zabezpechennia upravlinnia rukhom suden. 1-e Vyd. – [Navigation support for ship traffic management. 1st edition]. Kyiv : DVVP "Kompas". [in Ukrainian]
9. Shevchuk, M.V., Shevchuk, O.M., Makarenko, O.I. (2018). Nadiinist kompiuternykh system – [Reliability of computer systems]. Kyiv : Kondor. [in Ukrainian]
10. Vasilevskyi, O.M. (2011). Normuvannia pokaznykiv metrolohichnoi nadiinosti – [Standardization of indicators of metrological reliability] *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. Vol. 4. P. 9–13. [in Ukrainian]
11. Hlech, S. (2009). Iierarkhichna struktura systemy pidtrymannia pryiniattia rishen pry upravlinni periodychnistiu tekhnichnoho obsluhovuvannia – [Hierarchical structure of system of support of acceptance of decisions at management by periodicity of technical service]. *Visnyk Ternopilskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*. Vol. 14. Is. 3. P. 97–101. [in Ukrainian]
12. Lakhno, V.A., Kasatkin, D.Y., Skliarenko, O.V., Kolodinska, Y.O. (2022). Modeling and Optimization of Discrete Evolutionary Systems of İnformation Security Management in a Random Environment. *Machine Learning and Autonomous Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies*. Vol. 269. P. 9–22. Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-16-7996-4_2 [in English]

Невзоров Андрій Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри математичних дисциплін та інноваційного проєктування Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет», e-mail: andrey.nevzorov@e-u.edu.ua, ORCID: 0009-0004-8095-5778.

Скляренко Олена Вікторівна – к.ф.-м.н., доцент, завідувач кафедри математичних дисциплін та інноваційного проєктування Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет», e-mail: olena.skliarenko@e-u.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6555-1223.

Колодінська Яніна Олексіївна – викладач кафедри математичних дисциплін та інноваційного проєктування Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет», e-mail: yanina.kolodinska@e-u.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3330-7565.

Яровий Роман Олександрович – к.т.н., заступник завідувача кафедри інформаційних систем, програмування та кібербезпеки Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет», e-mail: roman.yaroviy@e-u.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8978-8137.

Nevzorov Andrii Volodymyrovych – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Mathematical Disciplines and Innovative Design of the Private Higher Educational Establishment "European University", e-mail: andrey.nevzorov@e-u.edu.ua, ORCID: 0009-0004-8095-5778.

Skliarenko Olena Viktorivna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Head of the Department of Mathematical Disciplines and Innovative Design of the Private Higher Educational Establishment "European University", e-mail: olena.skliarenko@e-u.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6555-1223.

Kolodinska Yanina Oleksiivna – Teacher at the Department of Mathematical Disciplines and Innovative Design of the Private Higher Educational Establishment "European University", e-mail: yanina.kolodinska@e-u.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3330-7565.

Yarovyi Roman Oleksandrovych – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Deputy Head of the Department of Information Systems, Programming and Cyber Security of the Private Higher Educational Establishment "European University", e-mail: roman.yaroviy@e-u.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8978-8137.

https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-1-13