

УДК 623.4.011

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2\(22\).78-83](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.2(22).78-83)**С. М. РОЗГОНАЄВ,**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0003-2790-415X>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

Оцінювання ефективності експлуатації та бойового застосування озброєння і військової техніки з перервними контурами управління за показником ресурсних витрат

Досліджується процес експлуатації та бойового застосування озброєння і військової техніки, який має перервну природу. Розроблена модель оцінки час-ресурсного показника виконання завдання для випадку перервного процесу експлуатації та бойового застосування озброєння і військової техніки на основі розвитку метода ергомережних графоаналітичних моделей типових контурів функціонування організаційно технічних систем. Розрахунками на моделі показано вплив зворотного зв'язку на безпомилковість та швидкодію виконання завдання.

Ключові слова: процес функціонування, граф дій робіт, граф подій, математичне очікування, дисперсія, витрати часу.

Исследуется процесс эксплуатации та боевого применения вооружения и военной техники, который имеет прерывную природу. Разработана модель оценки временного ресурсного показателя выполнения задачи для случая прерывного процесса эксплуатации и боевого применения вооружения и военной техники на основании эргосетевых графоаналитических моделей. Расчетами на модели показано влияние обратной связи на вероятность безошибочного выполнения задачи и быстродействие.

Ключевые слова: процесс функционирования, граф действий работ, граф событий, математическое ожидание, дисперсия, затраты времени.

Аналіз принципів, які застосовуються для ефективного управління в військовій справі показав, що *зворотний зв'язок (ЗЗв)* є одним із важливих принципів для успішного виконання поставленого бойового завдання. Існуючі методи та моделі кількісно оцінюють його впливу на якість як *безперервних* [1], так і *перервних* процесів управління [2-4] експлуатацією озброєння та військової техніки (ОВТ).

Процеси експлуатації, бойового застосування ОВТ мають *перервну* природу і для оцінювання впливу ЗЗв на ефективність такого процесу функціонування (ПФ) необхідні методи та моделі, які розглянуті в роботах [2-4], але тільки в класі наближених показників якості виконання і при детермінованому початковому стані системи «працездатний». Актуальність розвитку методології функціональних ергомереж [5] функціонально-структурного підходу для дослідження перервних ПФ систем підтверджується в [6-8], де досліджувалися діалогові системи комп'ютерного навчання, але без врахування початкового стану об'єкта управління (ОУ) та його змін. В статті [9] був представлений новий метод, застосування якого дало змогу розробити методику оцінки показника безпомилковості для перервного контуру управління ОВТ, але не враховувала ресурсних витрат часу на виконання завдання.

Метою статті є розвиток метода графоаналітичного моделювання типових контурів функціонування організаційно технічних систем (ОТС) та розробка моделі оцінки часового ресурсу виконання завдання по таким типовим схемам дій.

Для виведення формул з оцінювання показника часу виконання перервних процесів управління ОВТ з контурами безпомилковості в ПФ застосуємо графоаналітичний метод з тріадою модельних елементів:

- графу дій-робіт (ГР) як зручний для сприйняття структурно-логічної схеми процесу у формалізованому вигляді, але без деталізації;
- перелік вихідних даних (ВД): ймовірнісних подійних та моментних час-ресурсних характеристик виконаних дій (робіт, операцій, заходів, задач);
- графу подій (ГП) – детальної моделі ПФ, співвіднесеної ГР та ВД, але що відображає процес на рівні вихідних даних.

Отримання підсумкових формул для оцінки час-ресурсних характеристик виконаних дій зводиться до спільного укрупнення ГП та еквівалентному перетворенню характеристик його дуг за етапами, рівнями.

Проста граф-модель циклічного процесу представлена на рис. 1а у вигляді графу подій з петлею при вершині 0 з n можливими виходами. Ймовірність того, що на деякому кроці l об'єкт (або система в цілому), що моделюється, буде знаходитися в вершині 0, у випадку незалежних кроків дорівнює q^l . Ймовірність завершення процесу з результатом i буде

$$P_i = \sum_{l=1}^{\infty} p_i q^{l-1} = \frac{p_i}{1-q} = \frac{p_i}{p}, \quad (1)$$

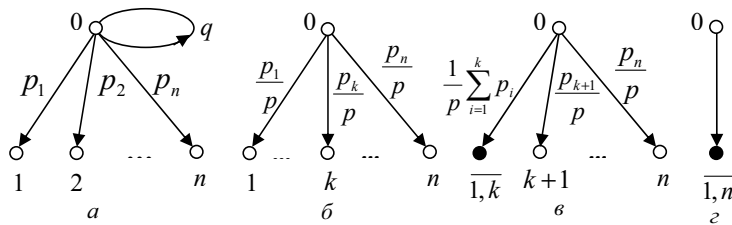


Рис. 1.

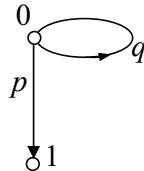


Рис. 2.

де p – однокрокова ймовірність завершення процесу з будь-яким результатом – виходом $i = \overline{1, n}$ із циклічного процесу.

Аналітичному перетворенню (1) співвідноситься перетворення графа в ймовірнісне розгалуження (рис. 1б) без петлі, але з еквівалентними характеристиками p_i / p вихідних дуг з вершини 0.

При об'єднанні вершин $1, 2, \dots, k$ в єдину вершину граф представляється рис. 1в з ймовірністю $(p_1 + p_2 + \dots + p_k) / p$ дуги в об'єднану вершину $\overline{1, k}$. При $k = n$ увесь процес зводиться до одиничної дуги (рис. 1г), що відображає здійснимість нормувальної умови при розглянутих перетвореннях. Доповнимо їх очевидною заміною шляху із n послідовних дуг однією дугою з ймовірністю, що дорівнює помноженню $p_1 p_2 \dots p_n$ ймовірностей всіх дуг шляху.

Замітимо, що при складанні однокрокових ймовірностей p_i у графі рис. 1а отримаємо частковий випадок графу (рис. 2), якому відповідає **геометричний** розподіл числа кроків до завершення процесу

$$p(p, l) = pq^{l-1}, \quad (2)$$

де $p = p_1 + \dots + p_n$, $q = 1 - p$.

Геометричний розподіл – єдиний із дискретних розподілів, що не має пам'яті: зміщення по вісі l його не змінює. Це означає, що дослідний процес без післядії: з будь-якого l він представляється як з початку та не залежить від його протікання в минулому.

Моментні характеристики числа кроків, що підлягають розподілу (2):

$$\left. \begin{aligned} & \text{– математичне очікування} \quad m_l = 1/p \\ & \text{– дисперсія} \quad d_l = q/p^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

При цьому середнє число кроків до виходу із процесу буде

$$\bar{l} = m_l - 1 = q/p.$$

В якості контуру безпомилковості ПФ системи розглянемо типову циклічну структуру функцій у вигляді графа робіт, що приведена на рис. 3.

Задамо вихідні дані матрицями ймовірностей S_i початкових станів i та матрицями умовних ймовірностей станів j при виконанні відповідних дій P, K, B в умовах i :

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} P^{11} & P^{12} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} K^{11} & K^{12} \\ K^{21} & K^{22} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ B^{21} & B^{22} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

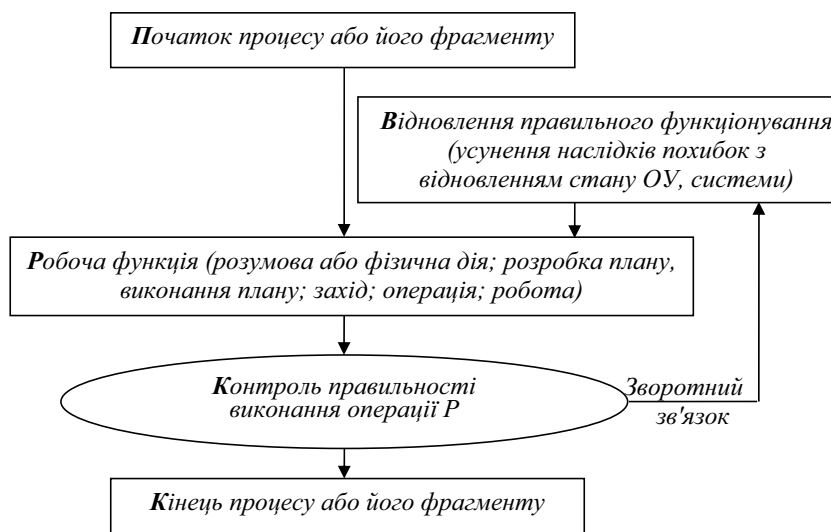


Рис. 3.

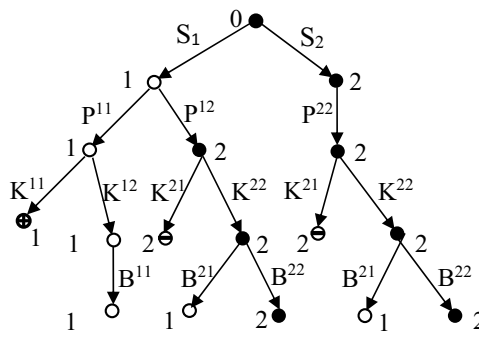


Рис. 4.

Вершини:

– початкова



– поглинаючі



– проміжні і висячі



де $P^{21} = 0$ (штатна робоча операція не відновлює стан правильного функціонування ОУ, системи), $B^{12} = 0$ (операцією відновлення стан не погіршується).

Для виведення аналітичних залежностей з оцінки показника час-ресурсних характеристик виконання задач по структурі рис. 3 представимо процес деталізованим ГП (рис. 4).

Замикаючи вершини, що висять, на відповідні проміжні вершини отримаємо рис. 5 з еквівалентними характеристиками (5):

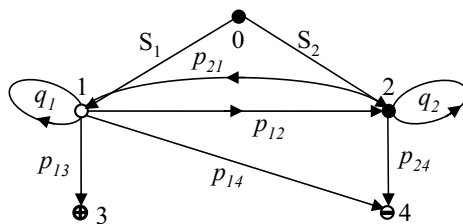


Рис. 5.

$$\left. \begin{aligned} p_{12} &= P^{12} K^{22} B^{22}, & p_{14} &= P^{12} K^{21} \\ p_{21} &= P^{22} K^{22} B^{21}, & p_{24} &= P^{22} K^{21} \\ p_{13} &= P^{11} K^{11}, & q_2 &= P^{22} K^{22} B^{22} \\ q_1 &= P^{11} K^{12} B^{11} + P^{12} K^{22} B^{21} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де $P^{22} = B^{11} = 1$, $q_i = 1 - p_i$.

В якості характеристик часу задамо математичні очікування часу виконання операцій P, K, B та їх дисперсії відповідно:

$$p, k, v; \quad d_p, d_k, d_v. \quad (6)$$

При допущенні про незалежність часу виконання цих операцій контуру, суми цих моментів складуть (див. рис.3):

– математичне очікування часу проходження по контуру

$$m_{33B} = p + k + v; \quad (7)$$

– дисперсію цього часу

$$d_{33B} = d_p + d_k + d_v; \quad (8)$$

– математичне очікування витрат часу на вихід із процесу

$$m_B = p + k; \quad (9)$$

– дисперсія цього часу

$$d_B = d_p + d_k \quad (10)$$

Виключимо із ГП рис. 5 переходи у поглинаючі вершини (виходи із процесу) та розглянемо його циклічну складову рис. 6а з покроковим представленням рис. 6б. Складемо систему рекурентних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} S_1(l) &= S_1(l-1)q_1 + S_2(l-1)p_{21} \\ S_2(l) &= S_2(l-1)q_2 + S_1(l-1)p_{12} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

при $S_1(0) = S_1$, $S_2(0) = S_2 = 1 - S_1$.

Чисельно можливо визначити ймовірності безпомилкового (+) та помилкового (-) результатів на довільному кроці процесу

$$\left. \begin{aligned} P^+(l) &= S_1(l-1)p_{13} \\ P^-(l) &= S_1(l-1)p_{14} + S_2(l-1)p_{24} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де p_{13}, p_{14}, p_{24} наведені в (5).

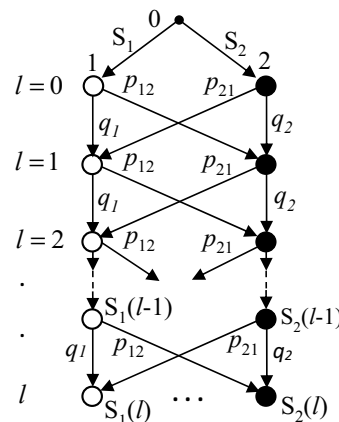
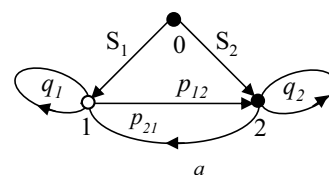


Рис. 6.

Ймовірність безпомилкового рішення задачі за структурою рис. 3 складає

$$P_B = \sum_{l=1}^{\infty} P^+(l) = P^{11} K^{11} \sum_{l=1}^{\infty} S_1(l-1). \quad (13)$$

Розробка і аналіз граничних виразів для показника безпомилковості наведена в [9] і розраховується для оцінки ймовірності безпомилкового (P_B) та помилкового (P_{II}) рішення задачі за критерієм “до першого успіху” як

$$\left. \begin{aligned} P_B &= \frac{(S_1 p_2 + S_2 p_{21}) p_{13}}{p_1 p_2 - p_{12} p_{21}} \\ P_{II} &= \frac{S_1 (p_{14} p_2 + p_{12} p_{24}) + S_2 (p_{21} p_{14} + p_{24} p_1)}{p_1 p_2 - p_{12} p_{21}} \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

де p_{ij} та p_i визначені в (5) через вихідні дані (4).

Виведення характеристик витрат часу можливо прослідкувати за графоаналітичними перетвореннями рис. 7 на прикладі математичного очікування часу від початку процесу до його завершення

$$M = P_B M_B + P_{II} M_{II}, \quad (15)$$

де M_B (M_{II}) – перші моменти часу безпомилкового (помилкового) завершення процесу.

При цьому використовуються вихідні дані з безпомилковості та часу виконання дій (4) ... (10). Їх перетворення в еквівалентні моменти часу представлені у відповідності з укрупненням графу подій до приведення його до вірогідного розгалуження рис. 7в.

На заключному етапі підсумовуються множення ймовірностей шляхів, що ведуть до однотипних поглинаючих вершин, на часові витрати на проходження цих шляхів. Так, безпомилковий результат (+) досягається при

$$P_B M_B = \frac{a_3}{p_0} (\bar{l}_0 m_0 + \bar{l}_1 m_{336} + m_B) + \frac{a_3 b_1}{p_0} [\bar{l}_0 m_0 + (m_{l_2} + \bar{l}_1) m_{336} + m_B].$$

Після перетворення отримаємо

$$P_B M_B = \frac{a_3}{p_0} \{ [(S_1 + S_2 b_1) m_{II} m_{336} + m_B] + S_2 b_1 m_{l_2} m_{336} \}, \quad (16)$$

$$\text{де } m_{II} = \bar{l}_0 (m_{l_1} + m_{l_2}) + \bar{l}_1 = \frac{1}{p_1} \left[-\frac{p_{12} p_{21} (p_1 + p_2)}{(p_1 p_2 - p_{12} p_{21}) p_2} + q_1 \right] -$$

основний параметр циклічності процесу.

Для знаходження оцінки середніх витрат часу на виконання задачі з негативним результатом підсумовуються множення ймовірностей на математичні очікування витрат часу, що відповідають іншим шляхам графу рис. 8 (де P – робоча функція; B – відновлення правильного функціонування; K – контроль правильності виконання операції P), з отриманням виразу для складової $P_{II} M_{II}$. Її складання з (16) дає повне математичне очікування M витрат часу (15) на рішення задачі.

Приклад. Оцінити безпомилковість та швидкість підготовки підсистеми управління ПКР за схемою контуру рис. 3 до її старту в показниках P_B та M_B при неможливості оперативного відновлення $B^{21} = 0$, якщо $P^{11} = 0,7$, $K^{11} = 0,95$.

Рішення: із $B^{21} = 0$ слідує $b_1 = p_{21} / p_2 = 0$, $q_0 = 0$, $p_0 = 1$, $\bar{l}_0 = q_0 / p_0 = 0$. Так як $a_3 = p_{13} / p_1$, то формула (16) приймає вид

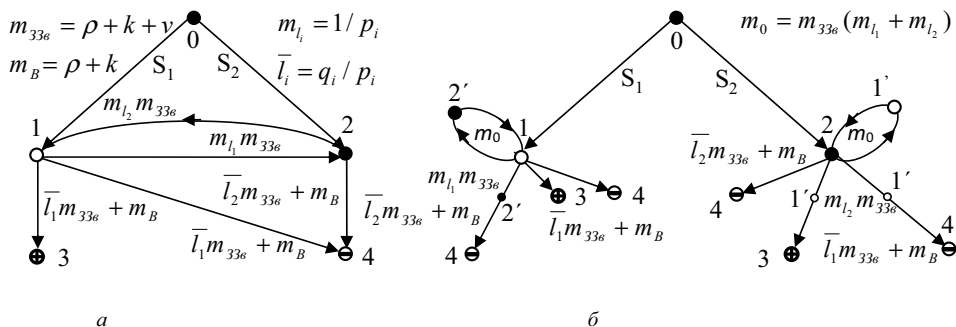
$$P_B M_B = \frac{p_{13}}{p_1} (S_1 \bar{l}_1 m_{336} + m_B),$$

де $p_{13} = P^{11} K^{11} = 0,7 \cdot 0,95 = 0,665$;

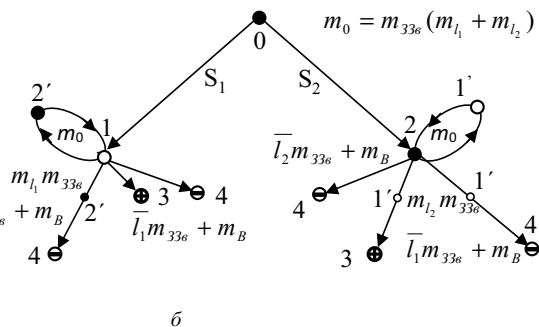
$q_1 = 0,7 \cdot 0,05 = 0,035$, $p_1 = 1 - q_1 = 0,965$;

$\bar{l}_1 = q_1 / p_1 = 0,036$; $P_B = p_{13} / p_1 = 0,665 / 0,965 = 0,689$,

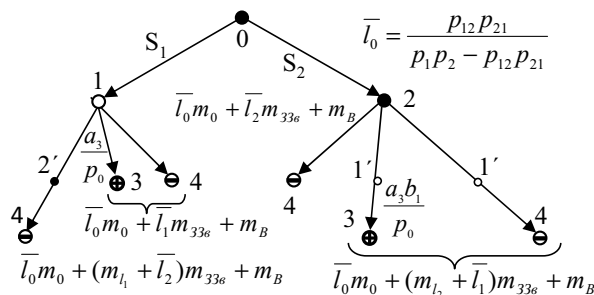
$M_B = 0,036 S_1 m_{336} + m_B$.



a



b



c

Рис. 7.

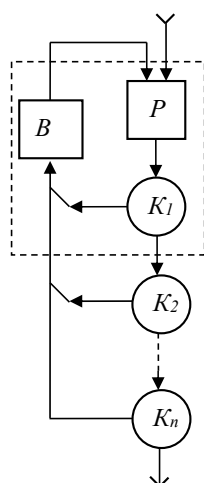


Рис.8.

При $S_1 = 1$ та середньому часі виконання операцій P , K , B : $\rho = 1$ од., $k = 0,5$ од., $v = 2$ од., отримаємо

$$M_B = 0,036(1 + 0,5 + 2) + 1 + 0,5 = 1,626 \text{ од. часу.}$$

Таким чином, час безпомилкового рішення поставленої задачі складає у середньому 1,63 од. часу при шансах її рішення без похибок $\sim 69\%$.

Висновки

1. Розроблені моделі та методика оцінки моментних ресурсно-часових характеристик виконаних дій (робіт, операцій, заходів, задач) перервних процесів управління озброєнням та військовою технікою при великому числі звернень за зворотним зв'язком.

2. Запропоновані моделі можуть застосовуватися при кількісному обґрунтуванні та апробації творчих рішень, що направлені на підвищення ефективності організаційно-технічних систем військового призначення з перервними контурами управління.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.
2. Адаменко А.Н., Ашеро́в А.Т., Бердни́ков И.Л., Губинский А.И., Евграфов В.Г. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания: справочник. М.: Машиностроение, 1993. 528 с.
3. Чабаненко П.П. Становление и развитие аппарата функциональных сетей. Збірник наукових праць Севаст. військ.-морськ. інст-т ім. П.С. Нахімова. Севастополь, 2003. Вип. 2. С.160 – 168.
4. Гвоздик М.И., Евграфов В.Г., Цой Е.Б. Оптимизация организационно-технических систем ВМФ. Методы, алгоритмы, программы. Петродворец.: ВВМУРЭ им. А.С. Попова, 1997. 223 с.
5. Чабаненко П.П. Исследование безопасности и эффективности функционирования систем человек-техника эргосетями. Севастополь.: АВМС им.П.С. Нахимова, 2012. 162 с.

6. Ашеро́в А.Т., Капле́нко С.А., Чубу́к В.В. Эргономика информационных технологий: уч.пос. Харьков: ХГЭУ, 2000. 224 с.
7. Барченко Н.Л. Ергономічне забезпечення діалогової людино-машинної взаємодії в модульних системах електронного навчання: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.01.04. Харків. 2019. 25 с.
8. Lavrov E., Barchenko N., Pasko N., Borozhenec I. Development of models for the formalized description of modular e-learning system for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017. Vol.2/2(86), P.4-13
9. Чабаненко П.П., Розгонаєв С.М., Бережний О.М. Оцінювання ефективності експлуатації та бойового застосування озброєння і військової техніки з перервними контурами управління за показником безпомилковості виконання задачі. Наук.-техн. журн. ЦНДІ ОБТ ЗСУ. Київ, 2019. №1(21). С.67-74. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).67-74](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).67-74).

REFERENCES

1. Venttsel E.S. Yssledovanye operatsyi. M.: Sovetskoe radio, 1972. 552 s.
2. Adamenko A.N., Asherov A.T., Berdnykov Y.L., Hubynskiy A.Y., Evhrafov V.H. Ynformatsyonno-upravliaiushchye cheloveko-mashynnyye systemy: yssledovanye, proektyrovanye, yspytaniya: spravochnyk. M.: Mashynostroenye, 1993. 528 s.
3. Chabanenko P.P. Stanovlenye y razvytye apparata funktsyonalnykh setei. Zbirnyk naukovykh prats Sevast. viisk.-morsk. inst-t im. P.S. Nakhimova. Sevastopol, 2003. Vyp. 2. S.160 – 168.
4. Hvozdyk M.Y., Evhrafov V.H., Tsoi E.B. Optymyzatsiya orhanyzatsyonno-tekhnycheskykh system VMF. Metody, alhorytmy, prohrammy. Petrodvorets.: VVMURЭ ym. A.S. Popova, 1997. 223 s.
5. Chabanenko P.P. Yssledovanye bezopasnosty y effektivnosti funktsyonyrovaniya system chelovek-tekhnyka erhosetiaymy. Sevastopol.: AVMS ym.P.S. Nakhymova, 2012. 162 s.
6. Asherov A.T., Kaplenko S.A., Chubuk V.V. Erhonomyka ynformatsyonnykh tekhnolohyi: uch.pos. Kharkov: KhHЭУ, 2000. 224 s.
7. Barchenko N.L. Erhonomichne zabezpechennia dialohovoi liudyno-mashynnoi vzaiemodii v modulnykh systemakh elektronnoho navchannia: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.01.04. Kharkiv. 2019. 25 s.
8. Lavrov E., Barchenko N., Pasko N., Borozhenec I. Development of models for the formalized description of modular e-learning system for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017. Vol.2/2(86), P.4-13
8. Chabanenko P.P., Rozghonaiev S.M., Berezhnyi O.M. Otsiniuvannia efektyvnosti ekspluatatsii ta boiovoho zastosuvannia ozbroiennia i viiskovoi tekhniki z perervnymy konturamy upravlinnia za pokaznykom bezpomylkovosti vykonannia zadachi. Nauk.-tekhn. zhurn. TsNDI OVT ZSU. Kyiv, 2019. №1(21). С.67-74. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).67-74](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).67-74).

Розгонаєв Сергій

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
докторант
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та
військової техніки Збройних Сил України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2790-415X>

Sergii Rozgonaiev

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher
doktorant
of Central research institute of weapons and military equipment
of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2790-415X>

Стаття надійшла до редколегії 05.02.2019 р.

Рецензент П.П. Чабаненко, д-р воєн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0001-8978-9543>

Рецензент О. О. Расстригин, д-р техн. наук,
професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>