

ОЦІНКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТРАКТУ ВИЯВЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ

Дана стаття присвячена розробці та реалізації нової математичної моделі для здійснення оцінки завадостійкості тракту виявлення радіосигналу. Дана модель розроблена для тракту виявлення радіосигналу, який складається з одиничного резонансного контуру – квадратичного детектора та ідеального інтегратора. Описані робочі характеристики цього тракту за допомогою математичних формул. Змодельовано функцію завади у вигляді одиничного імпульсу. Проведено аналіз побудованих графіків, які підтверджують адекватність розробленої моделі завадостійкості обраного тракту виявлення радіосигналу. Отриманні результати можна використовувати для визначення характеристик для різних моделюючих функцій завад.

Ключові слова: модель, завадостійкість, фільтр, математичне сподівання, дисперсія, моделювання

Вступ

Сучасне телекомунікаційне обладнання працює в різних умовах і дуже часто при передачі радіосигналів виникають різноманітні завади та перешкоди. У діапазоні коротких хвиль основними джерелами завад та перешкод є завмирання, атмосферні явища (магнітні бурі, блискавки та ін.) та сигнали сторонніх радіостанцій. У радіорелейних системах передачі сигналів зовнішніми джерелами завад та перешкод є радіовипромінювальні засоби, що працюють у тих же діапазонах частот. Для наземних систем радіозв'язку завади та перешкоди виникають через поглинання радіохвиль будівлями, через природні перешкоди та доплерівський зсув частоти в даних системах. Завади в супутникових лініях зв'язку обумовлені поглинанням радіохвиль в іоносфері та тропосфері, рефракцією, зміною поляризації, перешкодами від теплового випромінювання тропосфери та ін. Крім зовнішніх факторів виникнення завад та перешкод існують ще й внутрішні завади. До них відносяться власні шуми приймача, шуми квантування, випромінювання від електронних елементів, наведення різного походження та ін.

Таким чином, існує досить велика кількість сторонніх чинників, які спотворюють радіосигнали при їх формуванні та проходженні через радіоканали. Тому в останні роки питання підвищення ефективності систем радіозв'язку та аналіз каналів завадостійкості тракту виявлення сигналів є досить актуальними в сучасному світі.

Аналіз публікацій

Протягом багатьох років залишається пріоритетним завданням усіх науковців щодо забезпечення високої ефективності та завадостійкості, що ставляться до техніки зв'язку при передачі сигналів. В [1] розглядаються способи підвищення ефективності радіозв'язку, пов'язані з завадостійкістю. Розглянуто методи підвищення завадостійкості та наведено фактори, які їх формують. В якості найбільш небезпечних завад, які впливають на роботу радіостанції, виділені фактори ретрансляції, коли кореляційна функція корисного сигналу і завади приймають великі значення у порівнянні із значеннями для завади псевдоймовірної послідовності та гармонічної завади. Проте питання оцінки завадостійкості тракту приймання радіосигналів у процесі пошуку ймовірнісних сигналів не розглядаються.

У роботі [2] розглядається процес завадостійкості типового тракту виявлення радіосигналів. Описана методика визначення ймовірнісних характеристик оцінки виявлення радіосигналів. Однак питанням впливу завади на прямокутний сигнал, що є аналогічним до сигналу засобу негласного отримання інформації, не уваги не приділяється.

У роботі [3] проаналізовано завадостійкість прийому сигналів з квадратурною амплітудною модуляцією в присутності шумової та гармонічної завади із застосуванням методів статистичної радіотехніки. Отримано залежності ймовірності бітової помилки від відношення сигнал/шум, від інтенсивності завади та від її розкладу щодо центральної частоти спектра корисного сигналу. Показано, що прийом сигналів з квадратурною амплітудною модуляцією сильно погіршується при наявності гармонічної завади. Із

збільшенням позиційності сигналів цей вплив посилюється. Проте оцінка завадостійкості тракту визначення радіосигналів не розглядається.

У роботі [4] на основі досліджень, проведених в MATLAB, була розроблена модель оцінки завадостійкості типового тракту приймання сигналів. Запропоновані алгоритми можуть бути використані при розробці характеристик різних інформаційних сигналів, в тому числі й сигналів від засобів негласного отримання інформації.

В [5] досліджено вплив багатопроменевого поширення радіохвиль на передачу звукового контенту через канали з нормальним та логонормальним розподілом завад з використанням безпроводних технологій GSM та WiMAX. У програмному середовищі MATLAB Simulink побудовано відповідні моделі приймально-передавальних трактів з використанням елементів бібліотеки Communication System Toolbox. Проте в роботі не використовуються фільтри низької частоти з квадратичною та лінійною залежністю відгуку від вхідного сигналу.

В [6] запропоновано методику взаємодії мобільних технічних об'єктів в процесі передачі потоків даних в умовах впливу потужного електромагнітного поля.

Робота [7] присвячена підвищенню завадостійкості інформаційних повідомлень в умовах дії потужних електромагнітних завад шляхом застосування складних сигнально-кодових конструкцій. Це дозволяє підвищити обсяг та швидкість передачі інформації. У результаті кодування інформації надкороткими імпульсами в безпроводних системах передачі інформації проведена кількісна та якісна оцінка ефективності запропонованого методу. Методам фільтрації сигналу в даній роботі не приділяється увага.

У [8] висвітлені результати досліджень щодо підвищення співвідношення сигнал/шум в системах мобільного зв'язку. Реалізація цього напрямку здійснюється за рахунок використання методів динамічної зміни потужності передавачів, організації множинного доступу і динамічного розподілу каналів зв'язку. Проте, питання оцінки завадостійкості тракту виявлення радіосигналів або сигналів від засобів негласного отримання інформації не вирішуються.

Є очевидним, що вивчення причин, які призводять до спотворень радіосигналів при їх формуванні, проходженні через радіоканали та отримання приймачем є актуальними завданнями, а методи їх усунення постійно потребують удосконалення. Тому оцінка каналів завадостійкості тракту виявлення сигналів є пріоритетним напрямком розвитку технологій радіозв'язку.

Постановка задачі

В різних цифрових системах передачі інформації на якість радіозв'язку впливають різні види завад та перешкод. Внаслідок цього до одержувача надходить повідомлення, яке у загальному випадку відрізняється від переданого і є лише його оцінкою.

Основні задачі дослідження:

- розробити ефективну математичну модель для оцінки завадостійкості тракту, який буде складатися з одиночного резонансного контуру – квадратичного детектора та ідеального інтегратора;
- визначити математичні вирази для робочих характеристик цього тракту;
- провести моделювання оцінки завадостійкості запропонованого тракту визначення радіосигналу для модулюючої функції завади у вигляді одиничного імпульсу.

Основна частина

Для оцінки завадостійкості тракту виявлення радіосигналів у термінах ймовірності необхідно знати закон розповсюдження вихідного ефекту тракту. Припустимо, що напруга на виході тракту розповсюджуються за нормальним законом. Нормалізація вихідної напруги має місце при вузькосмуговому фільтрі, коли смуга прозорості фільтра нижніх частот набагато менша за ефективну смугу ширини спектра на вході фільтра.

Ефективна смуга прозорості – це смуга прозорості ідеального фільтра, еквівалентна даному реальному фільтру за величиною дисперсії $D = \sigma^2$ на його вході при впливі білого шуму:

$$D = \sigma^2 = 2g_n \Delta_{\Omega_{ET}} K_T^2(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} g_n |K_T(\Omega)|^2 d\Omega,$$

де g_n – спектральна щільність білого шуму;

$\Delta_{\Omega_{ET}}$ – ефективна смуга прозорості;

K_T – комплексна частотна характеристика.

Тоді

$$\Delta_{\Omega_{ET}} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |K_T(\Omega)|^2 d\Omega}{K_T^2(0)}.$$

Для прикладу для ідеального фільтра отримаємо:

$$\Delta_{\Omega_{ET}} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |K_T(\Omega)|^2 d\Omega}{K_T^2(0)} = \int_0^{+\infty} \left(\frac{\sin \frac{\Omega T}{2}}{\frac{\Omega T}{2}} \right)^2 d\Omega = \frac{\pi}{T},$$

або у герцах

$$\Delta_{F_{ET}} = \frac{\Delta_{\Omega_{ET}}}{2\pi} = \frac{0,5}{T}.$$

У фільтрів нижніх частот смуга прозорості обернено пропорційна величині інтервалу комутації, тому умови нормалізації вихідного ефекту тракту можна записано в часовій формі:

$$T \square \tau_0(t) \tag{0.1}$$

де T – інтервал комутації фільтра нижніх частот, який дорівнює тривалості сигналу;

$\tau_0(t)$ – інтервал кореляції нестационарного випадкового процесу на вході фільтра нижніх частот.

Залежність інтервалу кореляції від часу визначається тим, що для нестационарного процесу на вході фільтра нижніх частот його коефіцієнт кореляції $R_{z\Sigma 0}(t, t + \tau)$ є функцією, залежною від τ і t .

Для квадратичного фільтра дисперсія буде визначатися виразом:

$$\sigma_{z\Sigma 0}^2(t) = a_1^2 \sigma_{yn}^4 \varphi^2(t) [\varphi^2(t) + 2q_n^2], \tag{0.2}$$

де q_n – відношення потужності сигналу до дисперсії.

З урахуванням виразу (0.2) будемо мати:

$$R_{z\Sigma 0}(t, t + \tau) = \frac{\varphi^2(t)\varphi^2(t + \tau) \cdot r_{yn}^2(\tau) + 2q_n^2 \varphi(t)\varphi(t + \tau) \cdot r_{yn}(\tau)}{\varphi(t)\varphi(t + \tau) \sqrt{[\varphi^2(t) + 2q_n^2][\varphi^2(t + \tau) + 2q_n^2]}} \tag{0.3}$$

Якщо припустити, що за межами ефективної смуги пропуску коефіцієнт кореляції практично анулюється, тобто при $\tau \geq \frac{1}{\Delta f_e}$ маємо:

$$R_{z\Sigma 0}(t, t + \tau) \approx 0.$$

Тоді вираз (0.3) буде мати вигляд:

$$R_{z\Sigma 0}(t, t + \tau) \approx \frac{\varphi^2(t)r_{yn}^2(\tau) + 2q_n^2 r_{yn}(\tau)}{\varphi^2(t) + 2q_n^2} \quad (0.4)$$

Інтегруючи вираз (0.4) по τ , отримаємо потрібний інтервал кореляції:

$$\tau_0(t) \approx \frac{1}{\varphi^2(t) + 2q_n^2} \left[\varphi^2(t) \int_0^\infty r_{yn}^2(\tau) d\tau + 2q_n^2 \int_0^\infty r_{yn}(\tau) d\tau \right] \quad (0.5)$$

Вираз (0.5) є базовим рівнянням для всіх смугових фільтрів. Наприклад, якщо фільтр є одиничним резонансним контуром, то:

$$\tau_0(t) \approx \frac{\varphi^2(t) + 4q_n^2}{\varphi^2(t) + 2q_n^2} \approx \begin{cases} \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{2\Delta f_e} & \text{при } q_n^2 \ll 1, \\ \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{4\Delta f_e} & \text{при } q_n^2 \gg 1. \end{cases}$$

Отже, при будь-яких відношеннях сигналу/завади на виході смугового фільтру інтервал кореляції $\tau_0(t)$ на вході низькочастотного фільтру є величина $\frac{1}{\Delta f_e}$.

Тобто вимоги виразу (0.1) будуть мати вигляд:

$$M = \Delta f_e T \ll 1.$$

При нормальному законі розповсюдження напруги на виході тракту визначається виразом:

$$D = \Phi \left[\frac{C}{3} - \frac{\sigma_{n0}(T)}{\sigma_n(T)} \text{arc}\Phi(1-F) \right],$$

де $\frac{C}{3}$ – відношення сигнал завада;

$\frac{\sigma_{n0}(T)}{\sigma_n(T)}$ – відношення середньо квадратичного відхилення при відсутності та наявності сигналу на вході;

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx - \text{функція нормального закону розподілу.}$$

Для подальшого дослідження змодельємо функцію завади, для якої модульча функція завади має вигляд:

$$\varphi(t) = \begin{cases} e^{-\beta t}, & \text{якщо } t \geq 0, \\ 0, & \text{якщо } t < 0 \end{cases} \quad (0.6)$$

де β – частота завади.

Якщо обрати для оцінки завадостійкості тракту одиничний резонансний контур – квадратичний детектор та ідеальний інтегратор, тоді рівняння робочої характеристики цього тракту буде мати вигляд:

$$D = \Phi \left[\frac{q_n^2 \sqrt{\alpha T} e^{\beta t} - \sqrt{\frac{1 - e^{-4\beta t}}{4\beta t}} e^{-\beta t} \text{arc}\Phi(1 - F)}{\sqrt{\frac{1 - e^{-4\beta t}}{4\beta t}} e^{-2\beta t} + 2q_n^2 \frac{1 - e^{-2\beta t}}{\beta t}} \right].$$

Робоча характеристика визначеного тракту (одиничний резонансний контур – квадратичний детектор та ідеальний інтегратор) наведена на рис.1.

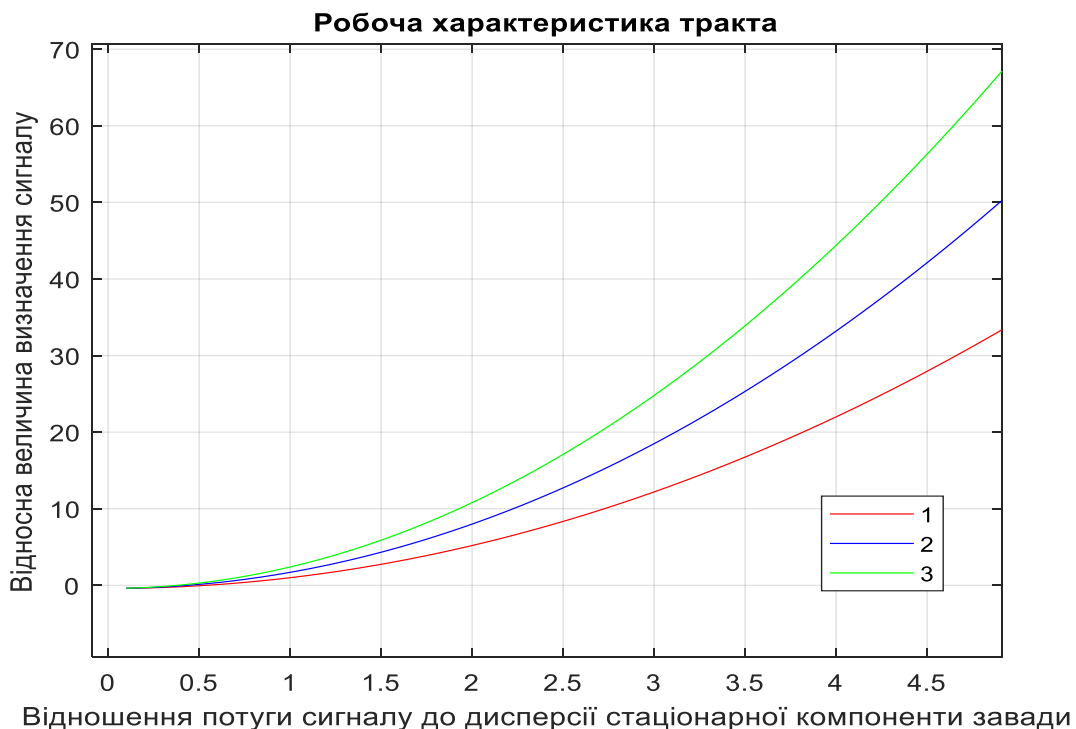


Рис.1. Робоча характеристика тракту одиничного резонансного контуру – квадратичного детектора та ідеального інтегратора

Робоча характеристика приведена для різних співвідношень інтервалів комутації фільтра та тривалості завади.

Зелений колір (3) – $\alpha T = 1,4$; $\beta T = 0,7$.

Блакитний (2) – $\alpha T = 2,1; \beta T = 0,7$.

Червоний (1) – $\alpha T = 2,8; \beta T = 0,7$.

Аналізуючи рис.1, ми бачимо, що при збільшенні відношення потужності сигналу до дисперсії стаціонарної компоненти завади зростає відносна величина визначення самого сигналу. Це свідчить про адекватність отриманих рівнянь.

Подальший аналіз рис.1 показує, що збільшення інтервалу комунікації фільтра нижніх частот (при незмінному інтервалі завади) допомагає успішно визначити таким трактом завади, які близькі за тривалістю до інтервалу комутації фільтру.

Якщо провести моделювання при одночасній зміні параметрів інтервалів часу комутації фільтру та інтервалу зміни часу завади, отримаємо графік поверхні (рис. 2.) У якості функції завади вибрана модулююча функція (0.6).

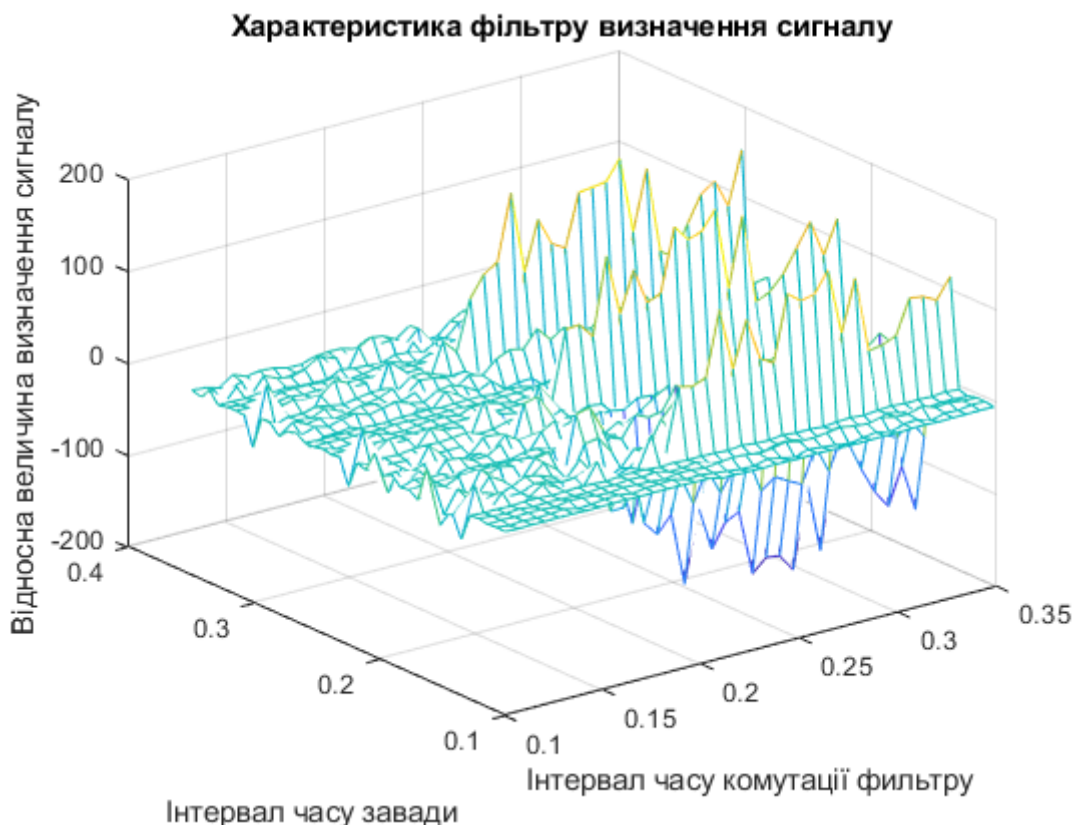


Рис. 2. Поверхня визначення сигналу запропонованим фільтром.

Графік поверхні показує, що для запропонованого тракту при збільшенні часу тривалості завади та збільшенні відношення потужності сигналу до дисперсії стаціонарної компоненти завади збільшується визначення сигналу. Це доводить достовірність оцінки завадостійкості тракту та доцільність використання запропонованого тракту визначення сигналу, який складається з одиничного резонансного контуру – квадратичного детектора та ідеального інтегратора.

Аналіз рис.2 показує можливість визначення оцінки завадостійкості тракту при величинах відношення потужності радіосигналу до дисперсії стаціонарної компоненти завади для обраної модулюючої функції завади від 0,98 та більше. Це свідчить, про можливість оцінки завади (дисперсії стандартної компоненти завади), яка всього на 2 % менша від потужності шуканого радіосигналу. Така точність дозволяє використовувати отриманні результати для визначення характеристик завадостійкості для обраного нами тракту визначення радіосигналу для різних модулюючих функції завад.

Висновки

Розроблена нова математична модель для оцінки завадостійкості тракту виявлення радіосигналу. Дана модель створена для тракту виявлення радіосигналу, який складається з одиничного резонансного контуру – квадратичного детектора та ідеального інтегратора. Визначили математичні вирази для робочих характеристик цього тракту та досліджено їх властивості.

Проведено моделювання оцінки завадостійкості тракту визначення радіосигналу для модулюючої функції завади у вигляді одиничного імпульсу. Побудовані графіки обраного тракту визначення радіосигналу підтверджують адекватність розробленій моделі завадостійкості. Графічні результати наочно показують переваги завадостійкості запропонованого тракту виявлення радіосигналу. Результати моделювання для обраної модулюючої функції завади показують можливість визначення оцінки завадостійкості тракту при величинах відношення потужності радіосигналу до дисперсії стаціонарної компоненти завади від 0,98 та більше. Це свідчить про можливість оцінки завади (дисперсії стандартної компоненти завади), яка всього на 2 відсотка менша від потужності шуканого радіосигналу. Така точність дозволяє використовувати отриманні результати для визначення характеристик завадостійкості, обраного нами, тракту визначення радіосигналу – для різних модулюючих функції завад.

Перелік посилань

1. Пархоменко А.Н. Помехоустойчивость типичного тракта при обнаружении сигналов с флюктуирующей амплитудой / А.Н. Пархоменко, Б.И. Шоцкий // Известие высших учебных заведений. Радиоэлектроника. Серия: Помехоустойчивость радиотехнических систем. – 1982. – № 25(4). – С. 96-98.
2. Куликов Г.В. Помехоустойчивость приема сигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией в присутствии гармонической помехи. / Г.В. Куликов, А.В. Нестеров, А.А. Лелюх // Журнал радиоэлектроники. – 2018. – № 11. – С.11-24.
3. Fedorov E. The distribution for mation method of reference patterns of vocal speech sounds / E. Fedorov, H. Alrababah, A. Nehad // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2017. – Vol. 6(3). – P. 35-39.
4. Ara Jullion A. Abello, Ara Jullion A. Abello, Gabriele Francesca Y., Domingo, Maria Jamelina T. Joven, Samanta Alexis S. Malubay Power Measurement Model Optimization using using MATLAB // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2019. –Vol. 8(3). – P. 538-542.
5. Бакіко В.М. Визначення завадостійкості каналу зв'язку за випадкового впливу завад / В.М. Бакіко, П.В. Попович, Швайченко В.Б. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – 2018. – № 14. – С. 7-10.
6. Churyumov G., Tokarev V., Tkachov V., Partyka S. Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field // 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). – 21-25 Aug. 2018. – P.183-186.
7. Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference / A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, V. Kravets // Сучасні інформаційні системи. – 2018. – Т.2, № 2. – С.145-148.
8. Serkov O.A., Churyumov G.I. On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication systems. / O.A. Serkov, G.I. Churyumov // Applied radio electronics. – 2017. – Vol. 16, no. 3-4. – P. 117-121.
9. Лаптев О.А. Метод підвищення завадостійкості системи виявлення, розпізнавання і локалізації цифрових сигналів в інформаційних системах / О.А. Лаптев, В.В. Собчук, В.А. Савченко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2019. – № 66. – С. 124-132.
10. Qualifying Requirements QR-160D (2004). Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, ARIAC.
11. Aaron Don M. Africa, Ara Jyllian A. Abello, Zendrel G. Gacuya, Isaiah Kyle A. Naco, Victor Antonio R. Valdes Face Recognition Using MATLAB // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2019. – Vol. 8, № 4. – P. 1110-1116.

Надійшла: 30.01.2020

Рецензент: д.т.н., проф. Савченко В.А.