

**DOI 10.36074/logos-04.04.2025.037**

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЧАСУ НА СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПРИЙНЯТОГО СИГНАЛУ ВІД ЙОГО РІВНЯ ПОТУЖНОСТІ**

**Коломійцев Олексій Володимирович<sup>1</sup>, Комаров Володимир Олександрович<sup>2</sup>,  
Катунін Альберт Миколайович<sup>3</sup>, Матвєєв Леонід Іванович<sup>4</sup>,  
Жуков Ігор Олександрович<sup>5</sup>, Іваненко Віталій Олександрович<sup>6</sup>,  
Фелді Сергій Федорович<sup>7</sup>, Пятова Юлія Олексіївна<sup>8</sup>,  
Рязанцев Сергій Сергійович<sup>9</sup>, Землянський Дмитро Олександрович<sup>10</sup>**

---

**1.** Заслужений винахідник України, доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри комп'ютерна інженерія та програмування  
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0000-0001-8228-8404**

**2.** Заслужений винахідник України, кандидат технічних наук, старший дослідник,  
провідний науковий співробітник  
*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0000-0002-4929-4527**

**3.** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
науковий співробітник науково-дослідного відділу  
*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0000-0003-2171-4558**

**4.** начальник науково-дослідного відділу  
*Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0000-0003-4685-1372**

**5.** провідний науковий співробітник – старший інженер-випробувач  
*Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0009-0005-7911-9999**

**6.** старший науковий співробітник – старший інженер-випробувач  
*Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0009-0008-1827-8445**

---

---

**7.** науковий співробітник науково-організаційного відділення

*Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, УКРАЇНА*

**ORCID ID: 0009-0009-7555-4255**

**8.** науковий співробітник – інженер-випробувач науково-дослідної лабораторії

*Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, УКРАЇНА*

**ORCID ID: 0009-0001-2713-8435**

**9.** викладач кафедри факультету

*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА*

**ORCID ID: 0000-0003-3049-2547**

**10.** науковий співробітник науково-дослідного відділу

*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА*

**ORCID ID: 0009-0007-4138-6703**

---

**Анотація.** В роботі розкрито особливості використання залежності часу на спостереження прийнятого сигналу від його рівня потужності. Розглянуто сигнали на вході приймального пристрою. Представлено за загальною схемою завдання приймання сигналів на фізичному рівні. Відмічено, що важливими елементами такої схеми є завади та внутрішні шуми. Акцентовано увагу на те, що завдання щодо оцінювання параметрів сигналів, яке вирішується у багатьох приймальних системах, полягає у вимірюванні деяких інформаційних параметрів сигналів. Розглянуто випадок, коли задана якість виявлення параметру прийнятого сигналу, яка визначається ймовірністю.

Приймання сигналів, у тому числі широких шумоподібних, – це сукупність методів, які забезпечують виділення корисної інформації із прийнятих сигналів на вході приймального пристрою системи. При цьому, зміст корисної інформації у сигналі, її призначення та фізичні умови роботи приймальних систем дуже різняться між собою. Тому, і фізичні постановки завдань щодо прийому сигналу теж дуже різні. Однак, їх загальною рисою є те, що майже усі приймальні сигнали є випадковими. Випадковість прийнятих сигналів зумовлена наступними чинниками:

- випадковістю інформації, яку вони несуть;
- впливом на сигнал фізичного середовища передачі;
- технічними особливостями приймально-передавальних пристроїв.

Таким чином, сигнали на вході приймального пристрою, не зважаючи на їх фізичну природу, можливо розглядати як набір статистичних даних, а



SECTION 18.

TECHNOLOGIES ET SYSTÈMES D'INFORMATION

завдання щодо прийому – як оброблення таких даних на основі відповідних математичних процедур.

На фізичному рівні завдання приймання сигналів можуть бути представлені за загальною схемою, що представлена на рис. 1, до якої входять наступні складові [1]:

- джерело сигналу, який несе корисну інформацію;
- джерела завад, які перешкоджають роботі приймальної системи;
- внутрішні шуми приймальної системи;
- приймальна система, яка складається з антени, підсистеми пристроїв аналогового Front-end та системи цифрового оброблення сигналів (DSP).

Антену (антенну решітку) формує сукупність датчиків, що перетворюють фізичні параметри поля сигналу у електричні сигнали. До фізичних параметрів, у залежності від типу приймальної системи, можливо віднести наступні: напруженість електромагнітного поля, звуковий тиск акустичного поля, рівень оптичної освітленості тощо.

Підсистема аналогового Front-end складається з різного роду пристроїв для узгодження та перетворення аналогових сигналів за виходом датчиків антени у вигляді, що придатний для наступної цифрової обробки. До її складу можливо віднести: фільтри, підсилювачі, перетворювачі частоти, комутатори тощо. Завершальною операцією Front-end є перетворення аналогових сигналів у масиви дискретних цифрових даних, які надалі й підлягають обробці у системі DSP.

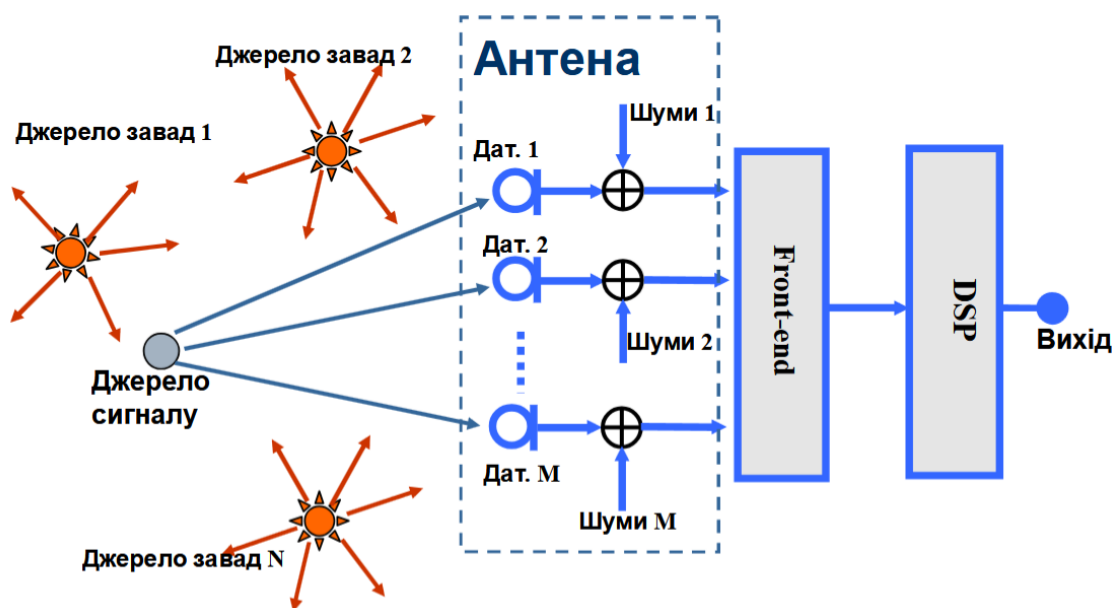


Рис. 1. Фізична постановка завдань приймання сигналів

Важливими елементами такої схеми є завади та внутрішні шуми. До завад відносяться сигнали деяких сторонніх джерел різноманітного фізичного походження. Тобто, сигнали від схожих систем, що працюють поблизу, сигнали індустріальних та/або транспортних об'єктів, сигнали, що виникають унаслідок природних явищ (грози тощо) тощо. Усі ці сторонні сигнали поєднує та обставина, що вони за своєю суттю є фізично спорідненими з корисними сигналами. Тобто, генеруються та поширюються у тому ж самому середовищі та за тими ж самими фізичними законами.

До внутрішніх шумів відносяться завади особливого роду, які породжуються самою приймальною системою. Тобто, власні шуми датчиків антени, пристроїв підсилення та перетворення сигналів тощо. До їх складу відносяться також і шуми, які породжуються взаємодією системи із зовнішнім середовищем. Тому, хоча на рис. 1 додавання внутрішніх шумів умовно показано за виходом датчиків антени, це не слід сприймати буквально.

Поділ факторів, які заважають роботі приймальних систем, на завади та внутрішні шуми має для побудови статистичної теорії приймання сигналів принципове значення.

Схема, яка представлена рис. 1, відображає основні складові завдань приймання сигналів, яких достатньо для розуміння статистичної теорії. Успіх у вирішенні завдань щодо приймання сигналів напряму залежить від того, наскільки повно враховані усі фізичні «обставини» практичної роботи.

Завдання щодо оцінювання параметрів сигналів, яке вирішується у багатьох приймальних системах, полягає у вимірюванні деяких інформаційних параметрів сигналів. У локаційних системах після того, як факт наявності сигналу вже встановлено, треба визначити його затримку у часі, зсув по частоті відносно зондувального сигналу, напрямок приходу тощо. У телекомунікаційних системах вимірювання параметрів сигналу найчастіше використовується з метою забезпечення різних видів синхронізації (частотної, символної, пакетної тощо), без якої будь-яка телекомунікаційна система працювати не може. Принципова відмінність завдання оцінювання від завдання розрізнення сигналів, полягає у тому, що в цьому випадку інформаційні параметри можуть приймати нескінчений (континуальний) набір значень на деякій множині.

У багатьох випадках, що розглядаються у відомій літературі, для спрощення аналізу проходження сигналів через електронні кола сигнал описується як сукупність вибраних певним чином елементарних (найпростіших) сигналів.

До елементарних сигналів можливо віднести наступне: гармонічне коливання, одиничний стрибок (функція Хевісайда) та дельта-імпульс (функція

## SECTION 18.

### TECHNOLOGIES ET SYSTÈMES D'INFORMATION

Дірака). Гармонічне коливання використовують при частотному (спектральному) описі сигналів, а одиничний стрибок та дельта-імпульс – при часовому описі, який інколи називають динамічним описом.

До основних способів математичного опису реальних сигналів можливо віднести наступні: часовий, частотний та операторний.

Розглядається випадок, коли задана якість виявлення параметру прийнятого сигналу, яка визначається ймовірністю. Такій якості відповідає мінімальне відношення сигнал/шум  $q_d$ , яке необхідне для порівняння з порогом із заданою надійністю. При цьому, велике значення відношення сигнал/шум практично не дуже потрібне. Тому, що реалізація надлишкового енергетичного потенціалу потребує додаткових технічних (фінансових) витрат. Даний принцип достатності є принципом У. Оккама, при якому недоцільно чимось жертвувати. Однак, якщо за рахунок надлишкової енергії можливо підвищити якість вимірювача, тоді велике значення відношення сигнал/шум – є доцільним.

Наприклад, за умови, якщо при пошуку за кутами є надлишкове відношення сигнал/шум  $q$ , тоді воно може бути реалізоване або за рахунок підвищення рівня потужності сигналу передавача, або за рахунок підвищення коефіцієнту спрямованої дії (КСД).

При підвищенні рівня потужності сигналу передавача з'являється можливість щодо зменшення часу на виявлення прийнятого сигналу

При підвищенні КСД з'являється можливість щодо зменшення апертури кутового дискримінатора – діаграми спрямованості, а також – до зростання часу на пошук.

При вимірюванні затримки сигналу пошуковим методом при перестройці автокореляційної функції, чим більший її час на кореляцію (тривалість елементів послідовного сигналу), при тієї ж енергії, тим менший її рівень.

При вимірюванні частоти панорамним методом розширення частотної смуги пропускання фільтру може по різному впливати на потужність сигналу та шуму на виході для підсилювачів з настроюваними (розстроюваними) контурами.

Отже, усі показники якості пов'язані між собою та оптимальне рішення є відповідним загальним компромісом, який є кривою обміну за такими показниками.

Можливо знайти такі зв'язки для випадку, що розглядається.

За умови, якщо огинаюча прийнятого імпульсу близька до прямокутної, тоді час на виявлення сигналу інерційним ланцюгом при даному допустимому енергетичному потенціалі  $q_d$  можливо записати у наступному вигляді:

$$t_B = \frac{1}{\Pi} \ln \frac{1}{1 - \frac{U_{\text{пор}}}{\kappa_0 U_d}} = \frac{1}{\Pi} \ln \frac{1}{1 - \frac{1}{2\kappa_0}}, \quad (1)$$

де

$$U_d = 2U_{\text{пор}};$$

$U_d$  – достатній рівень амплітуди сигналу, який забезпечує заданий рівень ймовірності похибки виявлення прийнятого сигналу;  $U_{\text{пор}}$  – пороговий рівень прийнятого сигналу;  $U_m$  – максимальний рівень амплітуди прийнятого сигналу більший достатнього (завдяки йому можливо зменшити час на встановлення  $t_B$  рівня прийнятого сигналу у перехідному процесі при перевищенні достатнього рівня амплітуди сигналу  $U_d$  та при заданій ймовірності похибки його виявлення);

$$\kappa_0 = \frac{U_m}{U_d} = \sqrt{\frac{q}{q_d}} \quad (2)$$

– коефіцієнт перевищення достатнього рівня амплітуди прийнятого сигналу  $U_d$  максимальним рівнем  $U_m$ ;

$$2\pi\Pi = \Delta\omega_k;$$

$$p_n = p_n(q_d)$$

– ймовірність похибки виявлення прийнятого сигналу;

$$q_d = \frac{U_d^2}{U_{\text{ш}}^2} \quad (3)$$

– відношення сигнал/шум достатнє для досягнення заданої ймовірності похибки виявлення;

$$q > q_d$$

– відношення сигнал/шум, яке більше, ніж  $q_d$  та призначене для зменшення часу на встановлення відліку у системі виявлення прийнятого сигналу  $T_B$ .

Отриману залежність відносного часу на виявлення прийнятого сигналу при надлишковій його амплітуді (при  $\kappa_0 > 1$ ) представлено на рис. 2, де:

$$T_B \Pi = \frac{T_B}{t_n}. \quad (4)$$



**SECTION 18.**  
TECHNOLOGIES ET SYSTÈMES D'INFORMATION

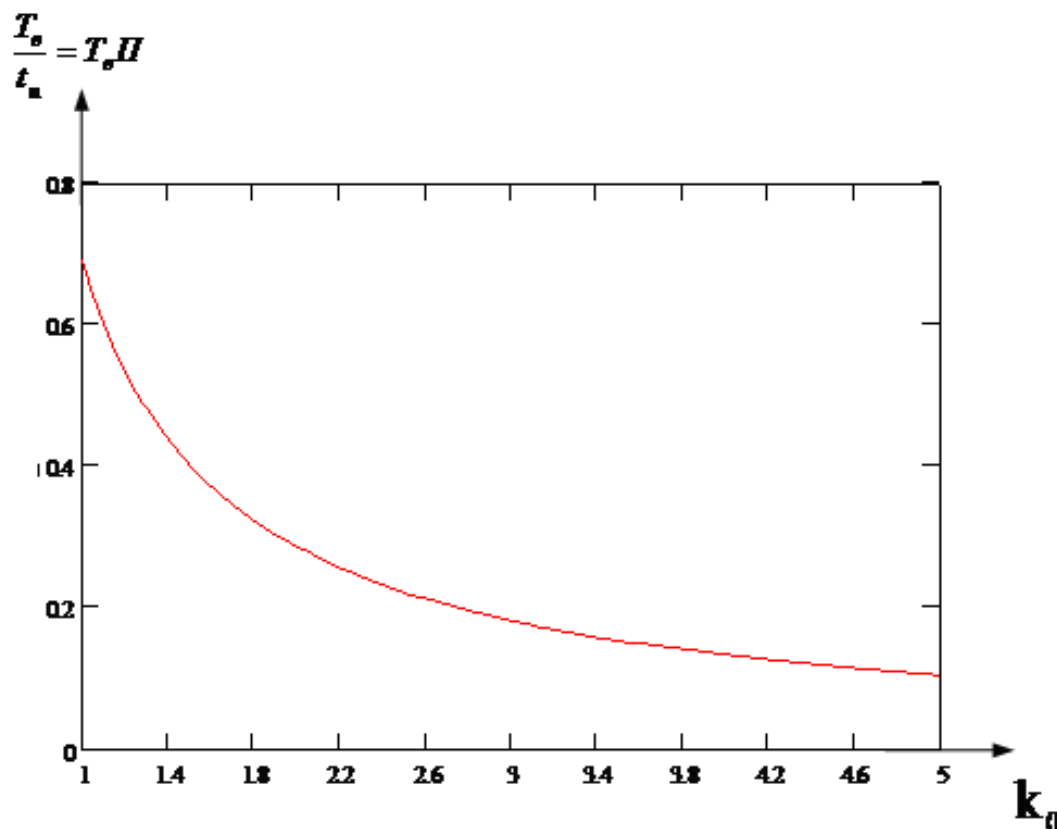


Рис. 2. Залежність відносного часу на виявлення прийнятого сигналу при надлишковій його амплітуді

Відношення (4) означає, наскільки можливо скоротити час  $T_B$  на очікування на пороговому пристрої рівня сигналу для його виявлення, що дорівнює  $q_d$ , при заданому надлишку  $k_0$  рівня сигналу над пороговим рівнем на вході системи.

При зменшенні часу на виявлення (відліку) прийнятого сигналу за рахунок надлишкового енергетичного потенціалу, при тієї ж заваді, можливо зменшити час на виявлення прийнятого сигналу на кожному елементі пошуку за умови, якщо збільшувати швидкість сканування апертури дискримінатору у апріорному діапазоні.

При цьому, швидкість, або умова «повільного» пошуку (1), повинна зберігатись.

На приклад, збільшення енергетичного потенціалу удвічі призводить при тієї ж смузі пропускання до збільшення удвічі швидкості наростання потужності сигналу на виході фільтру (системи). Тобто, час на досягнення того ж порогу практично удвічі зменшується.

Під час пошуку широкосмугових шумоподібних сигналів з великим їх рівнем потужності можливо обмежитися частковою кореляцією, використовуючи частину періоду сигналу за умови, якщо показники якості допустимі.

З урахуванням пошуку сигналу, який приймається у діапазоні, залежність (7) часу на оцінювання пошуковим методом, або часу оцінювання  $t_n$ , від зазначених показників якості вимірювачів, можливо представити також у наступному вигляді:

$$t_n = \frac{2\beta_a D_{a\lambda}^{1/2}}{2\Delta\lambda\theta\Pi} \ln \left( \frac{\sqrt{\frac{q}{q_d}}}{\sqrt{\frac{q}{q_d} - 1/2}} \right). \quad (5)$$

У формулі (5) враховані усі п'ять згаданих показників якості. Тобто, мінімальний склад показників, при якому вже можливо порівнювати методи вимірювання за їх ефективністю.

Взаємозалежність показників якості є кривими обміну. Тому, що з ними можливо побачити, якими показниками можливо нехтувати з метою підвищення якості хоч би одного із показників.

Відомо, що для панорамного вимірювача частоти апертура дискримінатору за визначенням дорівнює смузі пропускання:

$$2\Delta\lambda_d = \Pi.$$

Тому, час на пошук частоти зворотно пропорційний квадрату смуги пропускання.

Як відомо, відношення сигналу до шуму на виході системи залежить від технічних параметрів наступним чином:

$$q = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \prod_{i=1}^n G_i(Y_i) \cdot k_i}{(4\pi R/\lambda)^2 N_0 \Pi (\text{Ш}_{\text{прм}} - 1 + t_A)}, \quad (6)$$

де  $P_{\text{прд}}$  – потужність передавача;  $G_{\text{прд}}$  – коефіцієнт направленої дії (КНД) передавальної антени;  $G_{\text{прм}}$  – КНД приймальної антени;  $\prod_{i=1}^n G_i(Y_i) k_i$  – функції від інших технічних параметрів та параметрів розладу, збурень та неідеальностей схем;  $R$  – відстань до об'єкту спостереження;  $\lambda$  – довжина хвилі;  $N_0$  – спектральна щільність шуму;  $\Pi$  – смуга пропускання;  $\text{Ш}_{\text{прм}}$  – коефіцієнт шуму приймача;  $t_A$  – відносна шумова температура антени.

**Висновки.** Таким чином, розглянуто сигнали на вході приймального пристрою та загальну схему завдання щодо приймання сигналів на фізичному рівні. Важливими елементами такої схеми є завади та внутрішні шуми.

## SECTION 18.

### TECHNOLOGIES ET SYSTÈMES D'INFORMATION

Завдання щодо оцінювання параметрів сигналів, яке вирішується у багатьох приймальних системах, полягає у вимірюванні деяких інформаційних параметрів сигналів. До основних способів математичного опису реальних сигналів можливо віднести наступні: часовий, частотний та операторний.

Розглянуто випадок, коли задана якість виявлення параметру прийнятого сигналу, яка визначається ймовірністю. Підвищувати (понижувати) відношення сигналу до шуму можуть такі параметри пристроїв, що входять у (1): потужність передавача, КСД антен, амплітудно-частотна характеристика, автокореляційна схема обробки сигналу, а також зменшення відстані до об'єкту спостереження та підвищення довжини хвилі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / О. Я. Калюжний; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,65 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 302 с.
- [2] Aloshin, G., Kolomiytsev, O., Kuleshov, O., Kulagin, K., & Tkachev, A. (2018). The method of parameters optimization of the multifunctional laser information-measuring system on the multiplicity of signals, structures and technical parameters. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, (1), 30.
- [3] Fedorchenko, V., Yeroshenko, O., Shmatko, O., Kolomiitsev, O., & Omarov, M. (2024). Password hashing methods and algorithms on the .net platform. *Advanced Information Systems*, 8(4), 82–92. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.4.11>.
- [4] Shmatko, O., Kolomiitsev, O., Reкова, N., Kuchuk, N., & Matvieiev, O. (2023). Designing and evaluating dl-model for vulnerability detection in smart contracts. *Advanced Information Systems*, 7(4), 41–51. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.05>.
- [5] Shmatko, O., Kolomiitsev, O., Fedorchenko, V., Mykhailenko, I., & Tretiak, V. (2023). Integrating analytical statistical models, sequential pattern mining, and fuzzy set theory for advanced mobile app reliability assessment. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, (4(26), 78–86. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.26.078>.
- [6] Kolomiitsev O., Osiievskyi S., Tretiak V., Zakharchenko I., Rybalchenko A. Heiko H. Models and algorithms for determining the probability of occurrence of a critical combination of events for three-element minimum sections in intelligent decision support systems. *2023 IEEE KhPI Week on Advanced Technology*. October 2-6, 2023 in Kharkiv, Ukraine – P. 483-486.
- [7] Альошин Г.В., Коломійцев О.В., Посохов В.В., Клівець С.І. Ефективність лазерних інформаційно-вимірювальних систем. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2018. № 2. С. 59-65. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS\\_2018\\_2\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2018_2_9).
- [8] Aloshin, G. V., & Kolomiytsev, A. V. (2017). Informatsionnyie tehnologii: problemy i perspektivy. *Information technology: challenges and perspectives*.
- [9] Алешин, Г. В., & Коломійцев, А. В. (2015). Информационные технологии и защита информации в информационно-коммуникационных системах: коллективная монография; под ред. ВС Пономаренко. Х.: [Щедра садиба плюс].
- [10] Kolomiytsev, A. V. (2013). Informatsionnyie tehnologii i sistemi v upravlenii, obrazovanii, nauke. *Information technologies and systems in management, education, science*.