

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТА КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЦИФРОВОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ СТАНЦІЇ

*Стаття присвячена дослідженню ефективності застосування алгоритмічного забезпечення інформаційно-виміральної та керуючої системи цифрової радіорелейної станції. Оцінка показників ефективності проведена за результатами імітації роботи алгоритмічного забезпечення інформаційно-виміральної та керуючої системи каналами передачі даних цифрової радіорелейної станції, яка виконує розпізнавання ситуації сигнально-завадової обстановки.*

*Ключові слова: цифрова радіорелейна станція, канал передачі даних, сигнально-завадова обстановка, імітаційна завада, розпізнавання ситуацій, інформаційно-виміральної та керуюча система.*

D.A. MAKARYSHKIN, L.O. KOVTUN, O.G. ONYSHKO  
Khmelnytsky National University

### INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF ALGORITHMIC PROVIDING OF INFORMATIVELY-MEASURING AND MANAGING SYSTEM OF THE DIGITAL RADIO-RELAY STATIONS

*The article investigates the efficacy of algorithmic support information-measuring and control system of digital microwave stations. Performance evaluation conducted by the results of simulation software algorithmic information measurement and control system data transmission channels of digital radio-relay station that performs signal detection situation-interference environment.*

*Keywords: digital radio-relay station, channel of data, signal-hindrances situation, imitating hindrance, recognition of situations, informatively-measuring and managing system.*

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Функціонування об'єктів промисловості (магістральні трубопроводи нафти, газу, нафтопродуктів; гідротехнічні споруди), комерційних організацій банки, корпорації і інших об'єктів структур забезпечення життєдіяльності в сучасних умовах нерозривно пов'язані з використанням власних радіотехнічних систем для передачі даних між філіями, з метою забезпечення безпеки передачі даних. Для цього найчастіше використовуються радіорелейні лінії зв'язку, побудовані на основі цифрових радіорелейних станцій (ЦРПС). Важливість даних що передаються можуть викликати інтерес з боку третіх осіб, які зацікавлені в отриманні цих даних незаконним шляхом [1, 2].

Розвиток і масштабне поширення радіотехнічних систем передачі даних поклато початок розробці нових методів втручання в радіоелектронну систему. Ці методи засновані на застосуванні організованих у тому числі імітаційних систем, для створення завад що дозволяє здійснювати втручання в роботу системи і порушувати нормальне функціонування радіотехнічних систем на інформаційному рівні. Створювати передачу неправдивої інформації від імені істинного кореспондента. Дія імітаційних завад тягне за собою великі інформаційні та матеріальні втрати. До того ж, дані які передають з допомогою станції завад можуть бути використані для навмисного створення імітаційних завад в певних каналах передачі даних ЦРПС [1–4].

Основну складність у забезпеченні систем захисту мають ЦРПС стаціонарних об'єктів розповсюдженої структури, на таких об'єктах як магістральні трубопроводи (газопроводи, нафтопроводи та нафтопродуктопроводи). Дані системи мають найбільшу схильність до дії на них імітаційних системних завад малоканальних радіостанцій частотного діапазону 394–410/434–450 МГц. Вони найменш технічно складні, але найбільш широко застосовуються першими у колі передачі технічної інформації. Найбільшого поширення набули ЦРПС «Азид-5», «МІК-РЛ400XX», «Р-6 / Е1», «Азид-НС». Перераховані ЦРПС використовують сигнали квадратурної фазової модуляції QPSK (Quadrature PhaseShift Keying). Робота ЦРПС в умовах дії завад здійснюється за допомогою інформаційно-виміральної і керуючої системи (ІВКС) з відповідним алгоритмічним забезпеченням.

Тому до ЦРПС ставляться наступні вимоги: необхідність створення завадозахищених каналів передачі даних між віддаленими стаціонарними об'єктами; стаціонарність об'єктів їх ліній передачі, за відомими географічними координатами; можливість накопичення третіми особами інформації про використання обладнання, структуру сигналів і передачу даних; вразливість каналів передачі даних дією організованих завад; зниження ймовірності небезпеки впливу на канали передачі даних імітаційних завад; необхідність забезпечення завадостійкості каналів передачі даних на необхідному рівні.

Для захисту від дії імітаційних завад необхідно підвищувати завадостійкість ЦРПС на каналному рівні передачі даних за рахунок своєчасного розпізнавання діючої сигнально-завадової обстановки (СЗО) при її зміні з подальшим керуванням роботою каналів передачі даних, що виключає приймання помилкових даних. Дана особливість має бути врахована в алгоритмічному забезпеченні ЦРПС [5–8].

У роботах Ю.М. Брауде-Золотарьова, С.І. Макаренко, І.М. Орошука, Є.І. Петрова та інших авторів пропонуються методи розпізнавання дії імітаційних завад із залученням відомостей неінформаційної складової сигналу, але всі вони мають недоліки, що обмежують ефективність розпізнавання, пов'язані з застосуванням науково-методичних апаратів.

Для вирішення завдання захисту від навмисно створюваних завад і розпізнавання СЗО каналу передачі даних традиційно використовуються вибірки за контролюючими інформаційними параметрами сигналу, які подаються у вигляді тимчасового ряду. Але на практиці даної інформації для ефективного фіксування ситуації при СЗО часто виявляється недостатньо і затримки для виявлення змін в сигналі при ситуації СЗО стають занадто великими.

Існуючий науково-методичний апарат для розпізнавання впливу сигнально-завадової обстановки на канал передачі даних, заснований на теорії радіозв'язку, теорії завадостійкості, теорії послідовних рішень (метод кумулятивних сум, метод узагальненого відношення правдоподібності, метод ковзного середнього), теорії керованих експериментів, теорії систем з випадкової зміни структури, практично досяг своїх потенційних можливостей, але не дозволяє повною мірою забезпечити необхідну стійкість до дії імітаційних завад. Для підвищення завадостійкості каналів передачі даних необхідна модернізація методів розпізнавання при ситуації СЗО, яка спрямована на скорочення затримки виявлення її зміни. Тому пошук шляхів скорочення часу виявлення зміни при ситуації СЗО є актуальною науковою задачею [7–9].

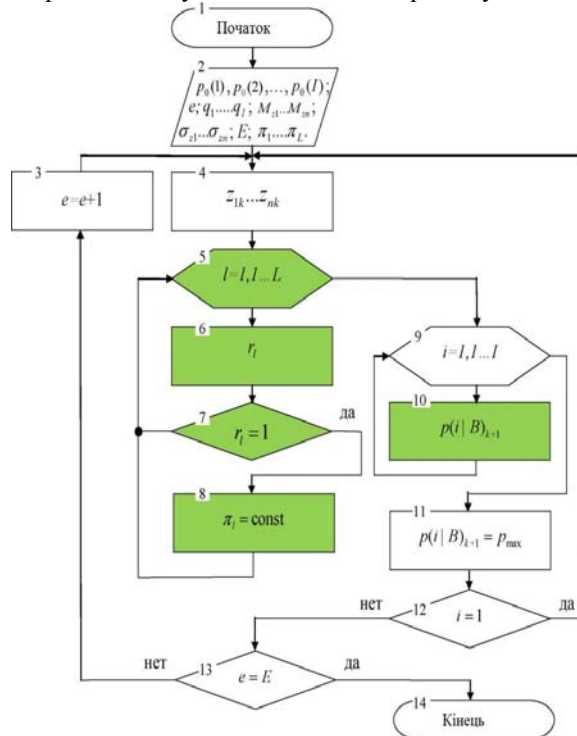


Рис. 1. Алгоритм розпізнавання СЗО

(ВП) і керуючу (КП). Структурна схема інформаційно-вимірювальної і керуючої системи представлена на рис. 1.

Ядром цих підсистем є бази пам'яті і бази даних. Бази пам'яті містять необхідний об'єм апіорної і апостеріорної інформації для розпізнавання ситуації СЗО і керування каналами передачі. Бази даних зберігають у собі покази вимірювачів, індикаторів, стан каналів передачі даних, керуючі впливи на попередніх кроках розрахунку.

Вимірювальна підсистема складається з первинних вимірювачів параметрів сигналу, індикаторів супутніх ознак, бази пам'яті, бази даних та модуля розрахунку ситуацій СЗО. Керуюча підсистема включає до свого складу модуль оцінювання ситуацій СЗО та ідентифікації структури каналу передачі даних, базу пам'яті, базу даних, модуль керування каналами передачі даних ЦРРС [3, 8, 9].

Для взаємодії із користувачами ІВКС має відповідний інтерфейс. На вхід вимірювальної підсистеми надходить сигнальна сукупність каналу передачі даних і оброблений низькочастотний (НЧ) сигнал прийнятий цифровою радіорелейною станцією.

Первинними вимірювачами здійснюється вимірювання інформаційних та неінформаційних

Для підвищення завадостійкості ЦРРС на рівні каналів передачі даних потрібна розробка алгоритму, який реалізує модернізований метод із заявленими перевагами, що забезпечує підвищення швидкодії виявлення ознак впливу імітаційних завад в прийнятому сигналі та оцінку ситуації в поточний момент часу ситуації СЗО. Блок-схема алгоритму, який реалізує оцінку ймовірностей ситуації СЗО (розпізнавання СЗО) та керування каналами передачі, представлена на рис. 1.

Ефективне вирішення завдань керування в інформаційних системах у теперішній час є нереалізованим без залучення засобів обчислювальної техніки та автоматизованих інформаційно-вимірювальних і керуючих систем (ІВКС), оскільки вимоги по швидкодії обробки інформації та достовірності отриманої інформації постійно підвищуються. Особливо високі вимоги пред'являються до інформаційно-вимірювальних і керуючих систем каналами передачі даних цифрових радіорелейних станцій, задача яких полягає у своєчасному розпізнаванні зміни ситуації СЗО, яка обумовлена дією імітаційних завад у відповідному каналі передачі.

Запропонована ІВКС каналами передачі даних включає до свого складу дві підсистеми: вимірювальну

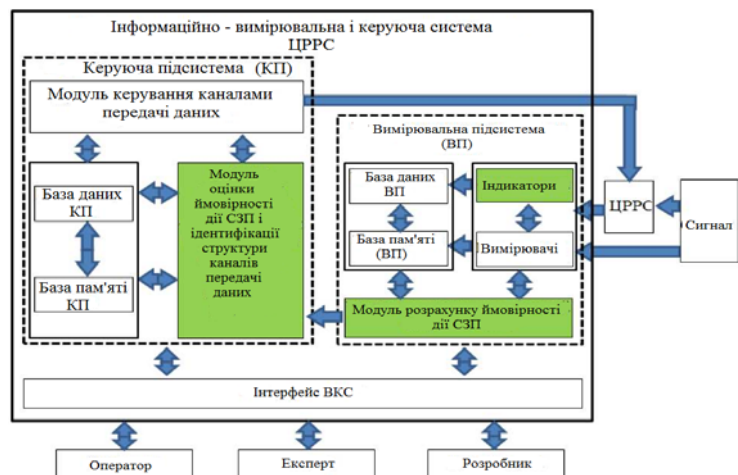


Рис. 2. Структурна схема інформаційно-вимірювальної та керуючої системи ЦРРС

параметрів, прийнятої сигнальної сукупності і НЧ – сигналу ЦРПС. Інформація вимірювачів та індикаторів відображається на предмет наявності супутніх ознак, після чого вона заноситься в базу даних ВП для формування апріорних відомостей на наступних кроках розрахунку і одночасно надходить на модуль розрахунку ймовірностей ситуацій СЗО. База пам'яті ВП зберігає в собі відомості про математичне сподівання, середньоквадратичне відхилення параметрів, які спостерігаються, а також про вагові значення індикаторів супутніх ознак для всіх СЗО.

Розраховані значення ймовірностей ситуацій СЗО передається в керуючу підсистему, де у модулі оцінювання ситуацій СЗО та ідентифікації структури каналу передачі даних здійснюється оцінювання ймовірностей. В якості діючої приймається ситуація СЗО, яка має максимальну ймовірність. Залежно від приналежності цієї ситуації до заводових або без заводових ситуацій, ідентифікується діюча структура каналу передачі даних. Інформація про діючі ситуації СЗО розміщується у базу даних КП. База пам'яті КП зберігає у собі інформацію про сигнально-заводові ситуації та ідентифіковані структури, апріорні та апостеріорні відомості про ситуації СЗО, поточної структури каналу передачі даних [3, 8, 9].

**Дослідження ефективності алгоритмічного забезпечення ІВКС.** Аналіз ефективності алгоритмічного забезпечення було запропоновано проводити методами імітаційного моделювання. При моделюванні алгоритмічного забезпечення ІВКС каналами передачі вихідні дані можуть бути представлені у вигляді вибірок, які спостерігаються у параметрах сигналу на виході антенного тракту приймача каналу передачі даних. Виходячи з фізичних процесів взаємодії сигналу і завод в каналі передачі даних, в якості параметрів сигналу для розпізнавання ситуації СЗО, обрані наступні: рівень сигналу; рівень зміни амплітуди сигналу; зсув фази; наявність сигналів на субчастоті; коефіцієнт бітових помилок BER; рівень адаптивного шуму.

Перераховані параметри підлягають вимірюванню та індикації на предмет наявності ознак, супутніх зміні ситуації СЗО, за винятком наявності сигналів на субчастотах, який є тільки діагностуючою ознакою. Індикатори ознак, що супутні зміні ситуації СЗО, мають певний поріг спрацьовування. Дані номінали, в залежності від складних дій СЗО, для кожної ознаки наведені у таблиці 1. Таблиця 1 складена на основі відомостей, отриманих з технічної документації, наданої виробником використовуваних ЦРПС [3, 8, 9].

Відповідно до алгоритму розпізнавання ситуації СЗО, вихідними даними також є [3, 8, 9]:

- апріорні ймовірності дій СЗО  $p_0(1) = \text{const1}$ ,  $p_0(2) = \text{const2}$ , ...,  $p_0(2) = \text{const2}$ .
- інтенсивності переходів  $q_1 \dots q_2$  в ситуацію  $i$ ;
- $M_{z1} \dots M_{zn}$  – математичні сподівання  $z_n$ ;
- $\sigma_{z1} \dots \sigma_{zn}$  – середнє квадратичне відхилення  $z_n$ ;
- $\pi_1 \dots \pi_L$  – вагові значення індикаторів супутніх ознак  $\pi_1$ ;

Всі вони призначаються експертом на підставі апріорних даних і можуть корегуватись при необхідності.

Для сигналів з QPSK-модуляцією були отримані:

- апріорні ймовірності ситуації СЗО:  $p_0(1) = 0,1503$ ;  $p_0(2) = 0,233$ ;  $p_0(3) = 0,313$ ;  $p_0(4) = 0,341$ ;  $p_0(5) = 0,482$ ;  $p_0(6) = 0,261$ ;  $p_0(7) = 0,387$ .
- інтенсивності переходів у ситуацію  $i$ :  
 $q_1 = 0,586$ ,  $q_2 = 0,926$ ,  $q_3 = 1,205$ ,  $q_4 = 1,059$ ,  $q_5 = 1,457$ ,  $q_6 = 0,996$ ,  $q_7 = 1,414$ .
- вагові значення індикаторів супутніх ознак:  
 $\pi_1(i_{k+1} | j_1 p_{r1} r_{1k} = 1) = 1,431$ ;  $\pi_2(i_{k+2} | j_2 p_{r2} r_{2k} = 1) = 1,21$ ;  $\pi_3(i_{k+3} | j_3 p_{r3} r_{3k} = 1) = 1,193$ ;  
 $\pi_4(i_{k+4} | j_4 p_{r4} r_{4k} = 1) = 1,22$ ;  $\pi_5(i_{k+5} | j_5 p_{r5} r_{5k} = 1) = 1,29$ ;  $\pi_6(i_{k+6} | j_6 p_{r6} r_{6k} = 1) = 1,33$ .

Ефективність алгоритмічного забезпечення оцінюється за допомогою критеріїв ефективності. За змістом розв'язуваної задачі визначальними критеріями є: мінімум часу розпізнавання зміни ситуації СЗО (далі швидкодія) і максимум ймовірності вірного прийняття рішення алгоритмом (далі достовірність). Отже, у якості показника достовірності розглядається рівень апостеріорної ймовірності прийняття правильного рішення, а в якості відображення швидкодії – час з моменту початку дії завод до прийняття рішення про зміну ситуації СЗО ІВКС з розробленим алгоритмічним забезпеченням при розпізнаванні ситуації СЗО. Зазначені показники визначаються шляхом підрахунку по 100 дослідам для кожної ситуації СЗО.

Для оцінювання ефективності алгоритму розпізнавання ситуації СЗО каналу передачі даних, необхідно, щоб дослідженню піддавалися всі можливі ситуації і комбінаційні їх зміни. Відповідно обсяг вибірки параметрів сигналу з виходу антенного тракту приймача каналу передачі даних повинен забезпечувати необхідну репрезентативність для дослідження. При дослідженні вважалось, що для розпізнавання ситуації СЗО та її зміни необхідним і достатнім є залучення вибірок параметрів сигналу для кожної ситуації СЗО обсягом не менше десяти кроків рахунку.

Як було показано вище безперервні сигнали на виході антени приймача каналу передачі даних, піддаючись цифровій обробці, перетворюються в послідовність відліку. Крок рахунку – це інтервал часу, за який проводиться розпізнавання ситуації СЗО. Виходячи з того, що на передачу одного символу в пакеті повідомлення за технічними характеристиками розглянутих ЦРПС відводиться  $0,4882 \cdot 10^{-6}$  с = 0,4882 мкс ,

то і дискретність кроків відліку при розпізнаванні ситуації СЗО слід обирати кратною цій величині. В залежності від необхідності значення кроків відліку можуть змінюватися. У даній роботі кроки розрахунку обрано тільки з дискретністю 0,4882 мкс. Це дозволило досягти максимальної швидкодії в розпізнаванні зміни ситуації СЗО при використанні інформації спостережуваних параметрів сигналу за винятком коефіцієнта бітових помилок BER, інформація про який може бути отримана тільки після прийому пакету повідомлення.

Таблиця 1

## Номінальні значення порогів спрацьовування індикаторів ознак, супутніх ситуації СЗО

Подія $i$	Індикатори $r_i$	Високий рівень сигналу $r1$ , дБм	Високий рівень зміни амплітуди сигналу $r2$ , дБм	Великий фазовий зсув $r3$ , град	Наявність сигналів на субчастоті $r4$	Великий коефіцієнт бітових помилок BER $r5$	Високий рівень адаптивного шуму $r6$ , дБ
1. Без завади		<-43	<-90	<20	-	<10 <sup>-6</sup>	<-23
2. Імітаційна завада на субчастоті		<-43	>-90	<20	+	<10 <sup>-6</sup>	<-23
3. Імітаційна завада на субчастоті з шумом високої інтенсивності		<-43	>-90	<20	+	<10 <sup>-6</sup>	>-23
4. Імітаційна завада, перевершує за рівнем корисний сигнал		>-43	<-90	>20	-	<10 <sup>-6</sup>	<-23
5. Імітаційна завада, перевершує за рівнем корисний сигнал з шумом високої інтенсивності		>-43	<-90	>20	-	<10 <sup>-6</sup>	>-23
6. Імітаційна завада на частоті, перевершує за рівнем корисний сигнал		>-43	>-90	>	+	>10 <sup>-6</sup>	<-23
7. Імітаційна завада на частоті, перевершує за рівнем корисний сигнал з шумом високої інтенсивності		>-43	>-90	>20	+	>10 <sup>-6</sup>	>-23

Програма моделювання реалізує розрахунок ймовірностей ситуацій за вихідними даними. Відповідно до обраних для розпізнавання параметрів сигналу на виході антенного тракту формула прийме вигляд:

$$\begin{aligned}
 p(i|B)_{k+1} = & p_0(i) q_i \cdot \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4 \cdot \pi_5 \cdot \pi_6 \cdot \exp\left(-\frac{(z_A - M_A)}{2\sigma_{A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\Delta A} - M_{\Delta A})}{2\sigma_{\Delta A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_\varphi - M_{\varphi i})}{2\sigma_{\varphi,i}^2}\right) \cdot \\
 & \exp\left(-\frac{(z_{ber} - M_{ber,i})}{2\sigma_{ber,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{ш} - M_{ш,i})}{2\sigma_{ш,i}^2}\right) / \sum_0^1 p_0(i) q_i \cdot \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4 \cdot \pi_5 \cdot \pi_6 \cdot \exp\left(-\frac{(z_A - M_A)}{2\sigma_{A,i}^2}\right) \cdot \\
 & \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\Delta A} - M_{\Delta A})}{2\sigma_{\Delta A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_\varphi - M_{\varphi i})}{2\sigma_{\varphi,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{ber} - M_{ber,i})}{2\sigma_{ber,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{ш} - M_{ш,i})}{2\sigma_{ш,i}^2}\right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

де  $B$  – подія, що полягає в тому, що на  $(k+1)$ -му кроці рахунку діє імітаційна завада;  $p_0(i)$  – апіорні ймовірності ситуації СЗО  $i$ ;  $q_i$  – інтенсивності переходів в ситуації  $i$ ;  $\pi_1 \dots \pi_6$  – індикатори супутніх ознак;  $z_A, z_{\Delta A}, z_\varphi, z_{ber}, z_{ш}$  – вимірювані параметри сигналу (фазові координати),  $z_A$  – амплітуда сигналу,  $z_{\Delta A}$  – зміна амплітуди сигналу,  $z_\varphi$  – фаза сигналу  $z_{ber}$  – коефіцієнт бітових помилок,  $z_{ш}$  – рівень шуму;  $M_A, M_{\Delta A}, M_\varphi, M_{ber}, M_{ш}$  – математичні сподівання спостережуваних фазових координат;  $\sigma_{A,i}^2, \sigma_{\Delta A,i}^2, \sigma_{\varphi,i}^2, \sigma_{ber,i}^2, \sigma_{ш,i}^2$  – середньоквадратичні відхилення фазових координат.

$$\begin{aligned}
 p(i|B)_{k+1} = & p_0(i)q_i \cdot \exp\left(-\frac{(z_A - M_A)}{2\sigma_{A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\Delta A} - M_{\Delta A})}{2\sigma_{\Delta A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\varphi} - M_{\varphi i})}{2\sigma_{\varphi,i}^2}\right) \cdot \\
 & \exp\left(-\frac{(z_{ber} - M_{ber,i})}{2\sigma_{ber,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{uu} - M_{uu,i})}{2\sigma_{uu,i}^2}\right) / \sum_0^1 p_0(i)q_i \cdot \exp\left(-\frac{(z_A - M_A)}{2\sigma_{A,i}^2}\right) \cdot \\
 & \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\Delta A} - M_{\Delta A})}{2\sigma_{\Delta A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\varphi} - M_{\varphi i})}{2\sigma_{\varphi,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{ber} - M_{ber,i})}{2\sigma_{ber,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{uu} - M_{uu,i})}{2\sigma_{uu,i}^2}\right)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Відмінність цих формул полягає у використанні інформації індикаторів супутніх ознак в модернізованому алгоритмі.

Формула (1) являє собою загальний вираз для розпізнавання ймовірностей ситуації СЗО. Вагові значення супутніх ознак  $\pi_1 \dots \pi_2$  враховуються у формулі тільки при спрацьовуванні відповідного індикатора.

Ефективність алгоритмічного забезпечення ІВКС каналами передачі даних по швидкодії буде визначатися часом, витраченим на виявлення дії імітаційних завад, тобто часом з моменту початку дії завад до моменту виявлення зміни ситуації СЗО.

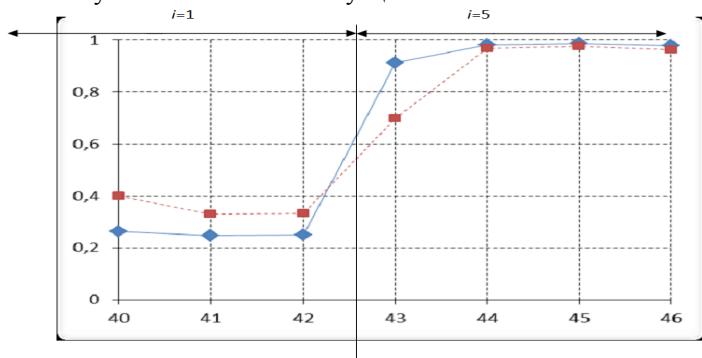


Рис. 3. Графіки ймовірностей при зміні ситуації сигнально-завадової обстановки (з 4-ї по 5-у), які отримані з використанням розробленого (суцільна лінія) та базового (штрихова лінія) алгоритмів

На рисунку 3 показані фрагменти графіків зміни ймовірностей при зміні ситуації СЗО. Пунктирною лінією показаний графік зміни ймовірності базового алгоритму, суцільно-розробленого. Зміна ситуації СЗО сталося після 42-го кроку рахунку.

Скорочення тривалості затримки у виявленні дії імітаційних завад в деяких випадках досягає 50%. В середньому збільшення швидкодії виявлення зміни ситуацій при використанні інформації індикаторів супутніх ознак становить 16,2%.

Правильність прийняття рішення про дію СЗО буде визначатися рівнем ймовірності ситуації СЗО. На рис. 5-11 представлені графіки ймовірностей при зміні ситуації СЗО отримані з використанням розробленого (суцільна лінія) і базового (пунктирна лінія) алгоритмів дій СЗО. Графік зміни дій СЗО представлений на рис. 4.

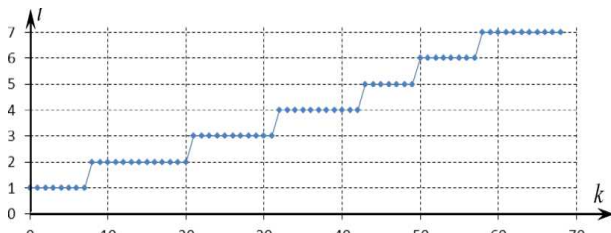


Рис. 4. Графік зміни ситуації СЗО

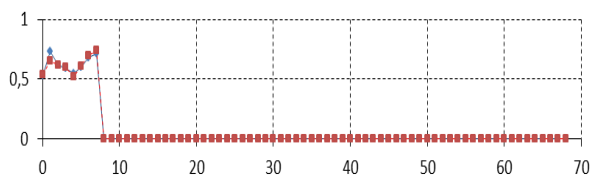


Рис. 5. Графік зміни при першій ситуації СЗО

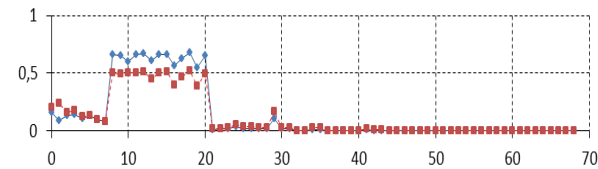


Рис. 6. Графік зміни при другій ситуації СЗО

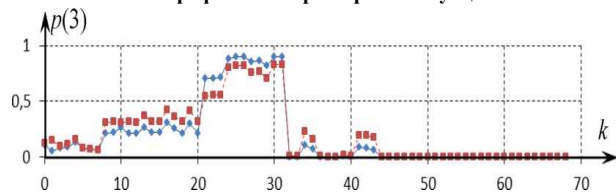


Рис. 7. Графік зміни при третій ситуації СЗО

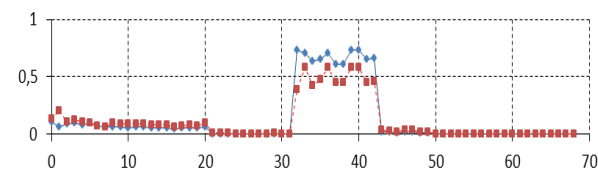


Рис. 8. Графік зміни при четвертій ситуації СЗО

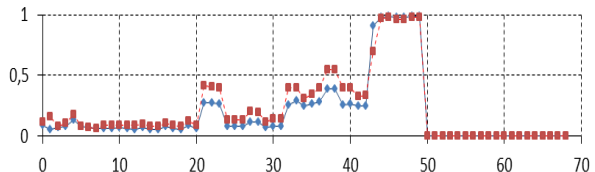


Рис. 9. Графік зміни при п'ятій ситуації СЗО

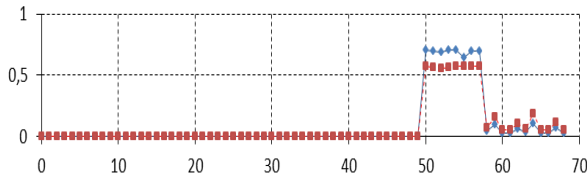


Рис. 10. Графік зміни при шостій ситуації СЗО

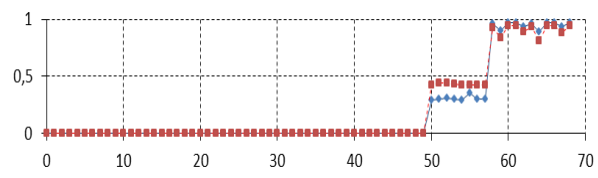


Рис. 11. Графік зміни при сьомій ситуації СЗО

В цілому, за результатами дослідження рівнів ймовірностей правильного прийняття рішення алгоритмами розпізнавання можна зробити висновок про перевагу рівнів ймовірностей, отриманих за допомогою модернізованого алгоритму на 4,9-28,7%, а в середньому на 12,5%, що й підтверджується графіками.

Алгоритмічне забезпечення ІВКС каналами передачі даних, згідно формули (1), дозволяє виробляти прогноз про ситуації СЗО на  $k + 1$  кроці за інформацією на  $k$ -му кроці відліку і апіорними даними. Апіорними даними, що дозволяють робити прогноз, є апіорна ймовірність ситуації СЗО  $p_0(i)$  і інтенсивності переходів ситуацій  $q_i$ . Ефективність алгоритмічного забезпечення буде визначатися відповідністю апіорних даних ситуації СЗО.

Апіорні дані при розпізнаванні ситуації СЗО слід формувати по вибірках найбільш небезпечних і ймовірних завад ситуацій, з метою підвищення ефективності алгоритмічного забезпечення ІВКС каналами передачі даних при їх дії. Зворотною стороною такого варіанту формування апіорних даних буде погіршення показників ефективності при зміні ситуації заводою СЗО на СЗО без завод, що має менший пріоритет і цілком виправдано.

Найбільш небезпечною і ймовірною слід вважати п'яту дію СЗО, при якій діє імітаційна завада, яка перевищує за рівнем корисний сигнал з шумом високої інтенсивності.

Для оцінки впливу невідповідності апіорної ймовірності ситуації СЗО  $p_0(i)$  та інтенсивності переходу ситуації  $q_i$  проведено дослідження. Показано залежність рівня ймовірності та швидкодії зміни ймовірності при зміні ситуацій з першої (без завод) на п'яту (з заводою) і з п'ятої на першу від зміни значення апіорної ймовірності ситуації.

Графіки, що ілюструють дані таблиці 2 представлені на рис. 12–15.

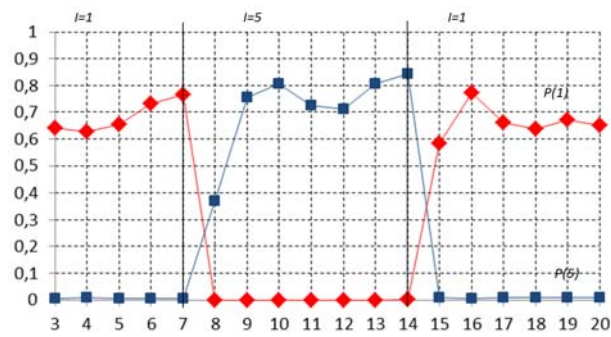


Рис. 12. Графік ймовірностей ситуації СЗО при  $P_0(5) = 0,114$

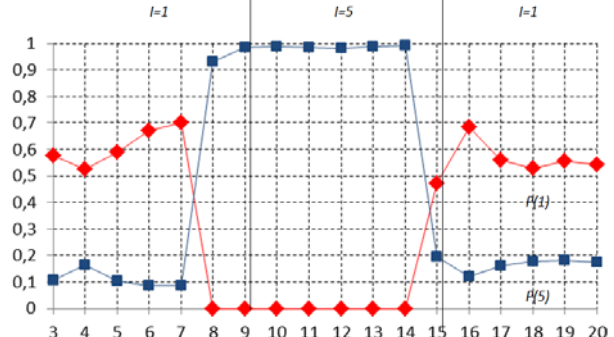


Рис. 13. Графік ймовірностей ситуації СЗО при  $P_0(5) = 0,5518$

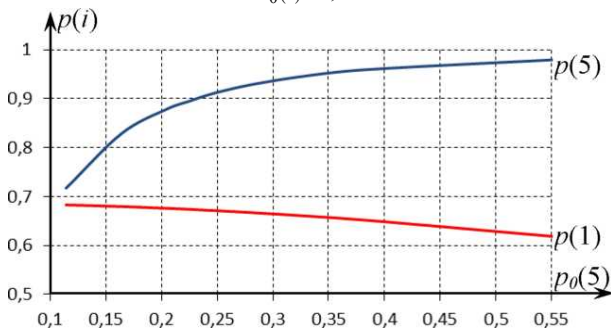


Рис. 14. Графік залежності ймовірностей ситуації СЗО від зміни  $P_0(5)$

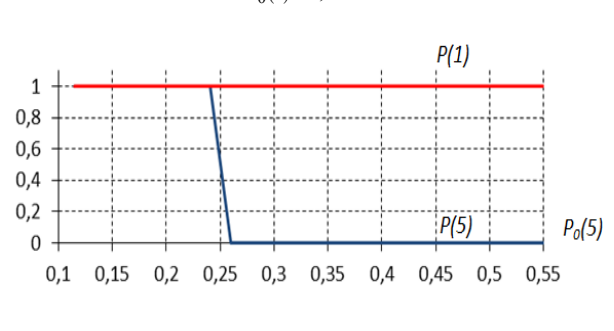


Рис. 15. Залежності швидкодії зміни ймовірностей ситуації СЗО від зміни  $P_0$

На наступному етапі, змінюючи значення інтенсивності переходу ситуації, проаналізовано зміна рівня ймовірності та швидкість зміни ймовірності при зміні ситуацій з першої (без заводу) на п'яту (із заводою) і з п'ятої на першу (табл. 3)

Таблиця 2

**Оцінка показників ефективності при невідповідності  
апріорної ймовірності найбільш вірогідною ситуації СЗО**

№ Дослідду	Апріорна ймовірність 5 ситуації $p_0(5)$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Ймовірність 1 ситуації $p(1)$	Швидкодію розпізнавання ситуації 5, $k$	Швидкодію розпізнавання ситуації 1, $k$
1	0,1144	0,717104	0,682893	1	1
2	0,1641	0,82865	0,679511	1	1
3	0,2041	0,877915	0,675951	1	1
4	0,22548	0,895202	0,6739	1	1
5	0,241	0,907199	0,672028	1	1
6	0,26	0,91846	0,669777	0	1
7	0,2841	0,930103	0,666701	0	1
8	0,3241	0,944703	0,661074	0	1
9	0,3841	0,959452	0,651481	0	1
10	0,55184	0,97955	0,618446	0	1

Таблиця 3

**Оцінка показників ефективності при невідповідності  
інтенсивності переходу в найбільш ймовірну дію СЗО**

№ Дослідду	Інтенсивність переходу в 5 ситуацію $q_5$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Ймовірність 1 ситуації $p(1)$	Швидкодію розпізнавання ситуації 5, $k$	Швидкодію розпізнавання ситуації 1, $k$
1	0,09	0,733294	0,682586	1	1
2	0,15	0,812808	0,68025	1	1
3	0,201	0,849755	0,678277	1	1
4	0,31	0,893727	0,674101	1	1
5	0,402	0,91458	0,670619	1	1
6	0,49	0,928019	0,667323	0	1
7	0,7201	0,948931	0,658867	0	1
8	0,9	0,958362	0,652411	0	1
9	1,12	0,966024	0,644695	0	1
10	1,72	0,977368	0,624597	0	1

Графіки, що ілюструють дані з таблиці 3, представлені на рис. 16–19.

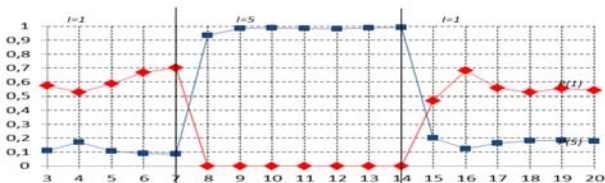


Рис. 16. Графіки ймовірностей ситуацій ситуації СЗО при  $P_5=0,1144$

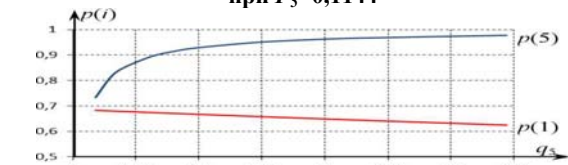


Рис. 18. Графік залежності ймовірностей ситуації СЗО від зміни  $P_5$

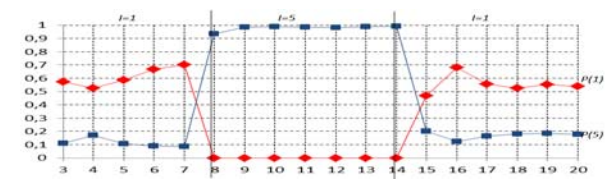


Рис. 17. Графік ймовірностей ситуації СЗО при  $P_5=1,72$

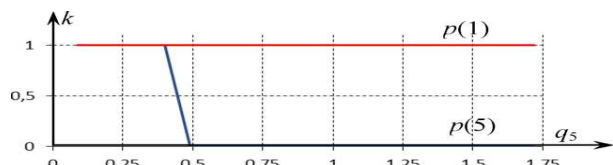


Рис. 19. Графік залежності швидкості зміни ймовірностей ситуації СЗО від зміни  $P_5$

Таким чином, при формуванні апріорних даних слід прагнути до досягненню балансу, що забезпечує прийнятні показники критеріїв ефективності при зміні ситуацій СЗО без завади на СЗО із заводою і навпаки.

Оскільки, апріорні ймовірності та інтенсивності переходів є постійно присутніми у формулі, тоді при малих відхиленнях значень параметрів відносно математичного сподівання у формулах (1), (2) та малих номіналах апріорних даних буде відбуватися зменшення рівня ймовірності, навіть у тому випадку, коли ймовірність ситуації є максимальною із групи несумісних подій. При великих відхиленнях значень параметрів відносно математичного сподівання і великих номіналах апріорних даних буде відбуватися збільшення рівня ймовірності, навіть у тому випадку, якщо ймовірність ситуації є мінімальною із групи несумісних подій. Аналогічно апріорні дані впливають і на швидкодію зміни ймовірності ситуації при зміні СЗО.

Алгоритмічне забезпечення ІВКС каналами передачі даних ЦРРС, відповідно до формули (1), дозволяє використовувати інформацію індикаторів супутніх ознак для більш ефективного розпізнавання ситуацій СЗО. Значення вагових коефіцієнтів індикаторів супутніх ознак, що враховуються при розрахунку апостеріорних ймовірностей, підвищують ймовірності відповідних ситуацій при появі діагностичних ознак в прийнятному сигналі. Для коректності роботи алгоритму вагові значення коефіцієнтів повинні бути підібрані з одного числового діапазону, бути адекватними небезпеці відповідної СЗО, надавати помітний вплив на ймовірність ситуації при помилковому спрацьовуванні.

Для підбору збалансованих значень вагових коефіцієнтів індикаторів супутніх ознак необхідно проведення досліджень. Найбільш значущими ознаками є рівень сигналу по потужності і рівень шуму, індикація яких необхідна для розпізнавання найбільш вірогідних завад ситуації. У таблиці 4 представлені результати дослідження впливу значення індикатора рівня сигналу по потужності  $\pi_1$  на ймовірності четвертої  $p(4)$  і п'ятої  $p(5)$  ситуацій.

Таблиця 4

#### Зміна ймовірностей ситуацій $p(4)$ і $p(5)$ від значень індикатора «рівень сигналу» $\pi_1$

№ Дослідду	Значення коефіцієнта індикатора ознаки $\pi_1, \pi$	Ймовірність 4 ситуації $p(4)$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Швидкодія розпізнавання ситуації 4, $k$	Швидкодія розпізнавання ситуації 5, $k$
1	0,05	0,4381	0,878	2	2
2	0,1	0,5639	0,9041	2	2
3	0,35	0,6434	0,9468	2	2
4	0,5	0,6585	0,9556	2	2
5	0,75	0,6721	0,9634	1	1
6	1	0,6796	0,9677	1	1
7	1,5	0,6877	0,9723	1	1
8	1,7	0,6897	0,9734	1	1
9	2	0,6921	0,9747	1	1
10	2,5	0,6947	0,9762	1	1

Графіки, що ілюструють дані з табл. 4, представлені на рис. 20 і 21.

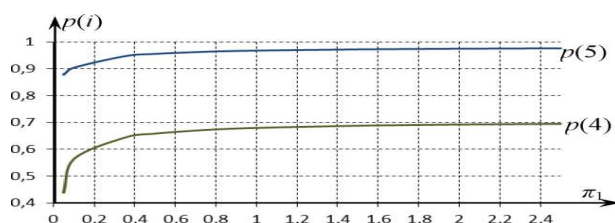


Рис. 20. Графіки залежності рівнів ймовірностей ситуацій СЗО  $p(4)$  і  $p(5)$  при зміні  $\pi_1$

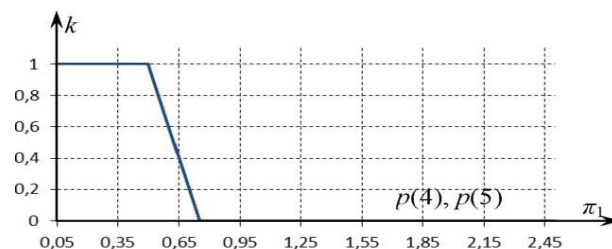


Рис. 21. Графіки залежності швидкодії зміни ймовірностей ситуацій СЗО  $p(4)$  і  $p(5)$  при зміні  $\pi_1$

Таблиця 5

#### Зміна ймовірностей ситуацій $p(3)$ і $p(5)$ від значень індикатора «рівень шуму» $\pi_6$

№ Дослідду	Значення коефіцієнта індикатора ознаки $\pi_6$	Ймовірність 3 ситуації $p(3)$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Швидкодія розпізнавання ситуації 3, $k$	Швидкодія розпізнавання ситуації 5, $k$
1	0,05	0,4648	0,6089	4	3
2	0,1	0,6021	0,7519	3	3
3	0,2	0,7172	0,8539	3	3
4	0,25	0,743	0,8779	3	2
5	0,3	0,7582	0,8948	2	2
6	0,5	0,7907	0,9307	2	2
7	0,75	0,8121	0,9498	1	1
8	1	0,8233	0,9597	1	1
9	1,5	0,8347	0,9698	1	1
10	1,7	0,8347	0,9698	1	1
11	2	0,8406	0,9794	1	1
12	2,5	0,8441	0,978	1	1



У таблиці 5 представлені результати дослідження впливу значення індикатора рівня адитивного шуму  $\pi_6$  на ймовірності третьої  $p(4)$  і п'ятої  $p(5)$  подій.

Графіки, що ілюструють зміну ймовірностей ситуацій  $p(3)$  і  $p(5)$  від зміни вагового коефіцієнта індикатора супутнього ознаки «рівень адитивного шуму», представлені на рис. 22 і 23.

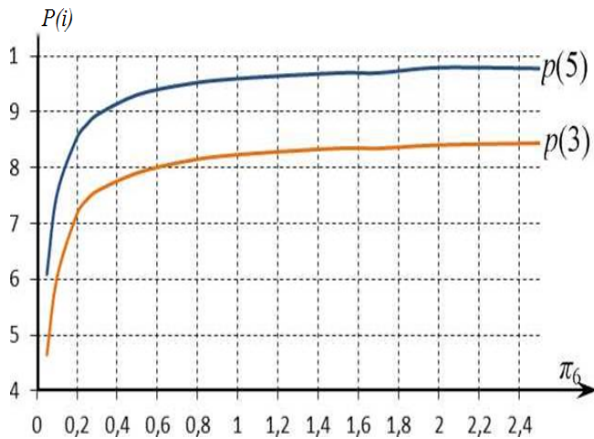


Рис. 22. Графік залежності рівнів ймовірностей ситуації СЗО  $p(3)$  і  $p(5)$  при зміні  $\pi_6$

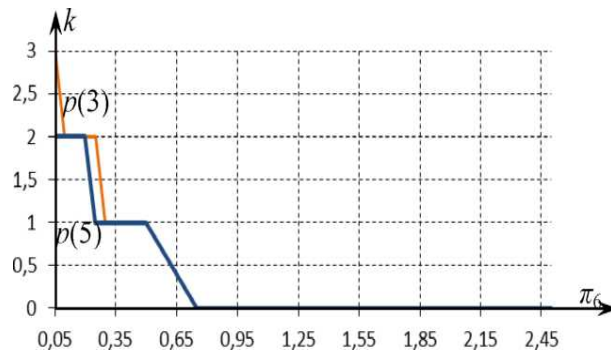


Рис. 23. Графік залежності швидкодії розпізнавання ситуації СЗО  $p(3)$  і  $p(5)$  при зміні  $\pi_6$

Зворотний бік використання інформації індикаторів супутніх ознак при розпізнаванні ситуації СЗО проявляється при помилковому спрацьовуванні індикаторів. Для правильного призначення вагових коефіцієнтів індикаторів слід враховувати внесок, внесений відповідним індикатором у ймовірності ситуацій СЗО. У таблиці 6 представлені результати дослідження впливу індикаторів  $\pi_1$  і  $\pi_6$  на ймовірності  $p(3)$  і  $p(5)$  при помилковому спрацьовуванні в момент дії першої ситуації СЗО.

Передбачається, що помилкове спрацьовування індикаторів може відбутися тільки по черзі. Одночасне спрацьовування індикаторів супутніх ознак свідчить швидше про закономірний зміні ситуації СЗО, ніж про випадкове спрацьовування індикатора.

Значення вагових коефіцієнтів індикаторів  $\pi_1$  і  $\pi_6$  враховуються в формулі розрахунку апостеріорних ймовірностей ситуацій (1) однаково, а тому, при зміні значень вагових коефіцієнтів і внесок індикаторів  $\pi_1$  і  $\pi_6$  в ймовірність ситуацій буде однаковий. Тому дослідження впливу значень індикаторів  $\pi_1$  і  $\pi_6$  можна замінити одним загальним дослідженням.

Таблиця 6

Зміна ймовірностей ситуацій  $p(1)$  і  $p(5)$  від значень індикаторів  $\pi_1, \pi_6$  при помилковому спрацьовуванні

№ Дослідду	Значення коефіцієнта індикатора ознаки $\pi_1$ та $\pi_6$	Ймовірність 1 ситуації $p(1)$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Швидкодія розпізнавання ситуації 5, $k$
1	0,05	0,6862	0,004	2
2	0,1	0,6835	0,0081	2
3	0,5	0,6623	0,0392	2
4	1	0,6377	0,0754	2
5	1,5	0,6149	0,1088	2
6	2	0,5937	0,1399	2
7	2,5	0,5739	0,1689	2

З графіка  $p(1)$  рис. 24 видно, що при помилковому спрацьовуванні індикаторів  $\pi_1, \pi_6$  відбувається зниження ймовірності правильного прийняття рішення алгоритмом менш ніж на 0,1, що не є суттєвим для достовірного розпізнавання першої ситуації СЗО, так як рівень ймовірності залишається на рівні понад 0,6

Графік, що ілюструє зміну швидкодії розпізнавання ситуацій  $p(1)$ , показаний на рис. 25. З графіка видно, що затримка розпізнавання настання першої ситуації СЗО залишається на попередньому рівні.

Аналізуючи графіки на рисунках 19–24, можна зробити висновок, що значення вагових коефіцієнтів індикаторів супутніх ознак забезпечують підвищення швидкодії і достовірності розпізнавання ситуації СЗО. При помилковому спрацьовуванні індикаторів спостерігається незначне зниження ймовірності правильного прийняття рішення алгоритмом, залишаючи ймовірність ситуації СЗО на рівні достовірного розпізнавання. Це забезпечує коректне і більш ефективне, порівняно з аналогами, розпізнавання ситуації СЗО.

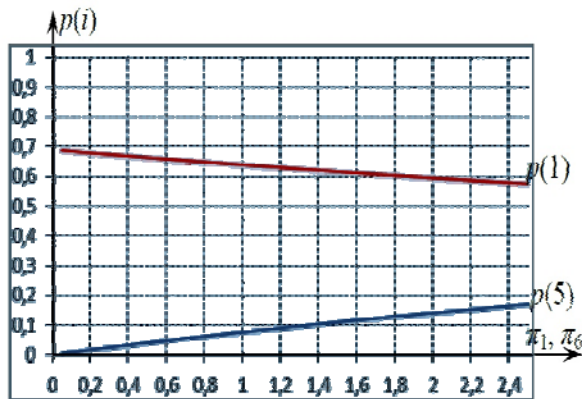


Рис. 24. Графік залежності рівнів ймовірностей ситуацій СЗО  $p(1)$  і  $p(5)$  від зміни  $\pi_1, \pi_6$  при помилковому спрацьовуванні

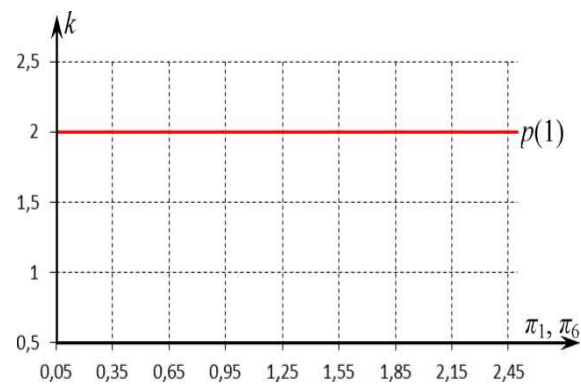


Рис. 25. Графік залежності швидкодії розпізнавання ситуації  $p(1)$  ситуації СЗО при помилковому спрацьовуванні  $\pi_1, \pi_6$

**Висновки.** Оцінка показників ефективності проводиться за результатами імітації роботи алгоритмічного забезпечення ІВКС каналами передачі даних ЦРПС, що виконує розпізнавання ситуації СЗО. Найбільш важливими критеріями ефективності є швидкість та достовірність розпізнавання ситуації СЗО. Скорочення тривалості затримки у виявленні дії імітаційних завад в деяких випадках досягає 50%, а в середньому становить 16,2% порівняно з аналогічним алгоритмом без використання інформації індикаторів супутніх ознак. Підвищення рівнів ймовірностей правильного прийняття рішення модернізованим алгоритмічним забезпеченням в середньому становить 12,5% в порівнянні з базовим алгоритмічним забезпеченням. Для коректності роботи алгоритмічного забезпечення значення вагових коефіцієнтів повинні бути адекватними небезпеки відповідних ситуації СЗО, надавати помірний вплив на ймовірність ситуації при помилковому спрацьовуванні. При помилковому спрацьовуванні індикаторів спостерігається незначне зниження ймовірності правильного прийняття рішення алгоритмом, залишаючи ймовірність діючої ситуації СЗО на рівні достовірного розпізнавання.

### Література

1. Павлов В.И. Оптимизация функционирования измерительных систем / В.И. Павлов, В.В. Аксенов, Т.В. Белова // Известия Томского политехнического университета. – Томск : Изд-во «Известия ТПУ», 2010. – Т. 317. № 4. – С. 104–106.
2. Крухмалев В.В. Цифровые системы передачи / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов. – М. : Горячая линия - Телеком, 2007. – 351 с.
3. Бойко Ю.М. Дослідження способів завадостійкого кодування для захисту від помилок у цифрових каналах передавання інформації / Ю.М. Бойко, Д.А. Макаришкін // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. Радіотехніка, електроніка та телекомунікації. – 2013. – № 2. – С. 123–130.
4. Бойко Ю. М. Підвищення завадостійкості блоків оброблення сигналів супутникових засобів телекомунікацій на основі модифікованих схем синхронізації / Ю. М. Бойко // Вісник НТУУ КПІ. Телекомунікації, радіолокація і навігація, електроакустика. – К., 2015. – № 61. – С. 91–107.
5. Карпова Л.В. Дослідження ефективної ширини спектру вузькосмугового імпульсного сигналу в умовах нелінійної частотної модуляції / О.М. Шинкарук, І.І. Чесановський, Л.В. Карпова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2016. – № 2. – С. 14–18
6. J.M. Boiko, A.I. Eromenko, "Solutions Improve Signal Processing In Digital Satellite Communication Channels", 20th International IEEE conference on microwaves, radar and wireless communications. MIKON-2014. June, Gdansk – Poland, pp. 126–129.
7. Иванов В.И. Цифровые и аналоговые системы передачи : учебник для вузов / В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др. ; под ред. В.И. Иванова. – 2-е изд. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 232 с.
8. Бухалев В.А. Распознавание, оценивание и управление в системах случайной скачкообразной структурой / Бухалев В.А. – М. : Наука. Физматлит, 1996. – 288 с.
9. Аксенов В.В. Функционирование радиоканала передачи данных при действии имитационных помех В.В. Аксенов // Информационные технологии XXI века : материалы международной научной конференции, Хабаровск, 20–24 мая 2013 г. – Хабаровск : Изд.-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 182–187.

Рецензія/Peer review : 3.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Мартинюк В.В.