

## СИНТЕЗ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДОВИХ КОМПЛЕКСУ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ СЕЙСМІЧНИХ ДАТЧИКІВ

*Представлено методику визначення прийнятних для розробника показників ефективності складових системи, в склад якої входять "сейсмічний датчик – пристрій класифікації – радіоканал передавання сигналів – пристрій відображення інформації". Система призначена для комплексу контролю за маршрутом пересування рухомих об'єктів. В основу методика покладено дискретно-неперервні стохастичні моделі реакції комплексу на перетин рухомих об'єктом зон контролю на контрольованому маршруті.*

*Ключові слова – комплекс охоронної сигналізації, синтез показників ефективності складових.*

SERHIY BOHDANOVYCH VOLOCHIIY

National University "Lviv Polytechnic", Lviv

VOLODYMYR ANATOLIYOVYCH ONISHCHENKO

The Petro Sahaidachny National Army Academy of Lviv

### SYNTHESIS OF MEASURES OF EFFICIENCY OF COMPONENTS OF SECURITY ALARM SYSTEM, BASED ON SEISMIC SENSORS

*The report presents applicable for the developer methods for determining factors of efficiency of system components, including "seismic sensor – classification device – radio channel for transmitting signals – device for displaying information". The system is designated for the guard signalling complex (GSC), which controls the route of moving object. On the routes there are control zones where seismic sensors are placed according to a certain layout. Conventional symbols are used for those SS layouts in the form of two components, the first one presents number of SSs in far control zone, and the other presents them in close control zone. The basis of the methods is discrete continuous stochastic models of the complex reaction on crossing control zones by moving objects (MO) which have been worked out for six versions of SSs layouts on the controlled route: {1+0}; {0+1}; {2+0}; {0+2}; {1+1}; {2+1}; {1+2}; {2+2}. Factor of the complex efficiency is probability that the user will receive the message about MO appearance in control zone from at least one SS. This factor will be further called "probability of task fulfilment". The value of this factor depends on efficiency factors of its components: probability of SS reaction on MO appearance in control zone, probability of correct MO classification, and probability of message receiving. There is a risk of imposing steep demands while intuitive (expert) setting (choosing) values of these factors for GSC development, and this fact greatly complicates the developer's work. The aim of the work is demonstrating the possibility of analytic determination of efficiency factor values of GSC components, hardware realization of which will provide the given factor value for GSC efficiency. The principle of the methods lies in the following. At first choose SS for GSC, for this SS determine experimentally its efficiency factor "probability of reaction on MO appearance in control zone". Then by means of the model of GSC reaction with one SS in control zone determine factor values "probability of correct MO classification". Such task is solved for the given value of probability of task fulfilment GSC. If the received factor values are applicable for the GSC developer, then the task of requirements determination is considered to be solved. If with two SSs these factor values are not applicable for the GSC developer, it is necessary to choose another SS and repeat task solution up to receiving necessary values of efficiency factors of GSC components.*

**Keywords:** guard signalling complex, parametric synthesis.

**Вступ.** Аналіз досвіду застосування військових підрозділів в бойових діях переконливо свідчить про постійну необхідність посилення охорони і оборони взводних опорних пунктів на передньому краї лінії зіткнення сторін. Вирішення цієї проблеми можливо частково реалізувати за рахунок застосування на ймовірних маршрутах підходу противника до взводних опорних пунктів комплексу охоронної сигналізації (КОС) на основі сейсмічних датчиків. Створенню КОС передують передпроектні дослідження, в основу яких закладаються завдання визначення прийнятних для проєктанта значень основних показників ефективності складових перспективного комплексу. Розв'язання таких завдань складають відому задачу синтезу показників ефективності складових великих систем і зокрема радіоелектронних комплексів.

Методологічно близькою до теми даної статті є публікація [1]. Автори ставлять за мету створення структурної моделі і подальшого розроблення методика для розв'язання проблеми вибору структури і розмірності парку різних типів літаючих апаратів (ЛА) з широко представленого параметричного ряду по типу і типорозмірах існуючих ЛА і формування вимог до нових типів ЛА та їх модифікацій. В переліку часткових задач, які мають бути вирішені для досягнення поставленої мети, є задача синтезу показників ефективності функціонування підсистем (ЛА, авіаробіт, наземного комплексу). Об'єктом дослідження є авіаційна спеціалізована система (авіапідприємство), а предметом – експлуатаційна ефективність авіапідприємства в цілому.

Автор статті [2] на основі аналізу результатів досліджень, представлених в наукових публікаціях, вважає, що невеликом існуючої методології синтезу систем інформаційної безпеки є високий рівень суб'єктивізму одержуваних оцінок. Крім того, виникають труднощі на етапі узгодження кількісних та якісних показників ефективності. Залишається недосконалою технологія оптимального синтезу показників ефективності систем. В статті представлено вирішення задачі створення нового, формалізованого у чіткій математичній постановці підходу до синтезу систем інформаційної безпеки.

Однак розглянуті в публікаціях [1, 2] підходи і засоби для розв'язання задачі синтезу показників

ефективності складових технічних систем не можуть бути використані для розв'язання задачі синтезу показників ефективності складових КОС.

**Постановка задачі.** В склад КОС мають входити сейсмічні датчики (СД) з автономними системами виявлення, класифікації рухомого об'єкта і передавання радіосигналу (ВКОПР) про виявлений рухомий об'єкт (РО) та система приймання і відображення інформації (СПВІ). Кожна автономна система ВКОПР має безпосередній радіодоступ до СПВІ, тобто структура КОС є зірковою.

Комплекс охоронної сигналізації розгортається на ймовірних маршрутах пересування РО згідно обраної схеми розміщення СД. Для схем розміщення СД використовуємо умовне позначення у вигляді суми двох складових, у якій перша складова представляє кількість СД в дальній зоні контролю, а друга – в ближній зоні контролю. Зони контролю обираються на маршрутах на основі аналізу особливостей місцевості. В даній статті розглянуто вісім варіантів схем розміщення СД на контрольованому маршруті: {1+0}; {0+1}; {2+0}; {0+2}; {1+1}; {2+1}; {1+2}; {2+2}.

Показником ефективності комплексу є ймовірність того, що користувач отримає повідомлення про появу рухомого об'єкта в зоні контролю хоча б від одного СД. Цей показник в подальшому будемо називати "ймовірність виконання завдання". Значення цього показника залежить від значень показників ефективності складових КОС: ймовірності реакції сейсмічного датчика на появу РО в зоні контролю, ймовірності правильної класифікації типу РО, ймовірності приймання повідомлення, а також від використаної схеми розміщення сейсмічних датчиків на ймовірному маршруті пересування РО.

При інтуїтивному (експертному) задаванні (виборі) значень цих показників для проектування КОС існує ризик висування завищених вимог, що суттєво ускладнює роботу розробника.



Рис. 1. Алгоритм розв'язання задачі синтезу показників ефективності складових КОС

Метою роботи є показати можливість аналітичного визначення значень показників ефективності складових КОС, апаратна реалізація яких забезпечить для КОС задане (необхідне) значення показника його ефективності.

**Методика синтезу показників ефективності складових комплексу охоронної сигналізації.**

Методика синтезу показників ефективності складових КОС створена на основі розроблених дискретно-неперервних стохастичних моделей реакції КОС на перетин рухомим об'єктом зон контролю з різними схемами розміщення в них СД [3]. Кожна модель забезпечує можливість визначати залежність ефективності КОС від показників ефективності сейсмічного датчика, пристрою класифікації РО та системи передавання радіосигналів.

Суть методики полягає в наступному.

*Крок 1.* Для КОС, що проектується, вибирається СД, для якого експериментально визначається показник його ефективності "ймовірність реакції на появу РО в зоні контролю". Для такого експерименту вибирається зона контролю з несприятливими (найгіршими) умовами роботи для СД (м'який ґрунт).

*Крок 2.* Для заданого значення ймовірності виконання завдання комплексу, за допомогою моделі реакції КОС з СД біля однієї зони контролю  $\{1+0\}$ , визначаються значення показників "ймовірність правильної класифікації РО" і "ймовірність приймання повідомлення" про появу РО в зоні контролю і його тип.

Якщо отримані значення показників є прийнятними для розробника КОС, то задача визначення вимог вважається вирішеною. В протилежному випадку переходимо на крок 3.

*Крок 3.* Здійснюється повторне вирішення задачі за допомогою моделі реакції КОС з схемою розміщення двох СД біля однієї зони контролю  $\{2+0\}$ .

Якщо отримані значення показників знову є не прийнятними для розробника КОС, то переходимо на крок 4.

*Крок 4.* Здійснюється повторне вирішення задачі за допомогою моделі реакції КОС з двома зонами контролю з несприятливими умовами для роботи СД, біля яких встановлено по одному СД  $\{1+1\}$ . Процес визначення прийнятних для розробника значень показників "ймовірність правильної класифікації РО" і "ймовірність приймання повідомлення" може продовжуватися за допомогою моделей з схемами розміщення СД  $\{1+2\}$ ,  $\{2+1\}$ ,  $\{2+2\}$ .

Якщо і з двома зонами контролю, біля яких встановлено по два СД, отримані значення показників є неприйнятними для розробника КОС, необхідно повернутися на *Крок 1*. Тобто обрати інший СД і повторити розв'язання задачі до отримання прийнятних для розробника значень показників ефективності складових КОС.

Якщо кращого СД не існує, то є можливість визначити значення показника ефективності нового СД і сформулювати завдання на його розроблення.

Алгоритм розв'язання задачі синтезу показників ефективності складових КОС представлено на рис.1, де використані такі позначення:  $P_{рСД}$  – ймовірність реакції СД на появу РО в зоні контролю;  $P_{п.к}$  – ймовірність правильної класифікації РО;  $P_{п.п}$  – ймовірність приймання повідомлення.

Використання методики синтезу показників ефективності складових КОС є можливим за наявності математичних моделей реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю, розроблених для різних варіантів схеми розміщення СД на контрольованому маршруті.

**Математичні моделі реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю.** Припущення та вимоги до технічних рішень, що закладені в математичних моделях реакції КОС на перетин рухомими об'єктами зон контролю:

- в якості датчиків для КОС обґрунтовано використання СД, оскільки пасивність принципу їх функціонування і можливість швидкого встановлення в ґрунті гарантує високий ступінь їх маскуванню;
- тривалості процедури класифікації типу РО та процедури формування і передавання радіосигналу до СПВІ про виявлений РО є малими (мікросекунди) в порівнянні з тривалостями переміщення РО через зони контролю; тому в моделях їх значення прийняті рівними нулю;
- про появу РО в зоні контролю формується одне повідомлення, яке передається один раз закодованим радіосигналом. Багатократне передавання радіосигналів протягом перебування РО в зоні контролю вважаємо недоцільним у зв'язку з необхідністю забезпечення скритності роботи КОС;
- рухомі об'єкти, наближаючись до об'єкта що охороняється, послідовно перетинають дальню і ближню зони контролю;
- апаратні засоби КОС розгортаються на місцевості після попередньої перевірки їх працездатності і готовності до роботи; прийнято, що апаратні засоби на інтервалі часу їх застосування працюють безвідмовно;
- робота автономних систем ВКОПР разом з сейсмічними датчиками в зонах контролю, є незалежною.

Розроблення математичних моделей реакції КОС на перетин РО зон контролю здійснено за допомогою удосконаленого методу простору станів, описаного в монографії [4, с. 59–93]. Суть удосконалення методу простору станів в тому, що багатократне розроблення моделей об'єкта дослідження у вигляді графа станів і переходів здійснюється на основі структурно-автоматної моделі і є автоматизованим. Автоматизація процесу побудови графа станів дає змогу вирішувати задачу синтезу показників ефективності складових КОС через багатоваріантний аналіз. Затрати часу на побудову кожного нового варіанту графа станів після зміни значень показників ефективності складових не перевищують кількох хвилин, в той час як за відомими методиками розроблення моделей поведінки у вигляді графа станів і

переходів займають набагато більше часу [5].

За методикою, представленою в статті [5], здійснюємо розроблення структурно-автоматних моделей реакції КОС на перетин РО зон контролю з різними схемами розміщення СД. На основі кожної структурно-автоматної моделі за алгоритмом представленим в монографії [4, с. 79–81] здійснюється побудова моделі у вигляді графа станів. Отримані графи станів дають змогу формувати математичні моделі у вигляді систем диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена.

Розроблення структурно-автоматних моделей виконується в два етапи. На першому етапі треба здійснити розроблення графа станів і переходів на основі базових подій. В подальшому цей граф станів використовується як тестова модель для валідації структурно-автоматної моделі. На другому етапі здійснюється розроблення структурно-автоматної моделі на основі, розробленого на першому етапі, графа станів.

*4.1. Розроблення структурно-автоматної моделі реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемою розміщення СД {1+1}.*

*4.1.1. Визначення базових подій.* Аналіз реакції КОС на перетин РО зон контролю з схемою встановлення сейсмічних датчиків {1+1} дає для моделі такі базові події (поняття "базові події" в технологію розроблення дискретно-неперервних стохастичних моделей введено в монографії [4, с. 67]):

БП1 – "Закінчення перебування РО поза дальньою зоною контролю";

БП2 – "Закінчення реакції СД<sub>1</sub> на появу РО в дальній зоні контролю";

БП3 – "Закінчення процедури класифікації РО по сигналу від СД<sub>1</sub>";

БП4 – "Закінчення приймання повідомлення в СПВІ від автономної системи ВКОПР<sub>1</sub>";

БП5 – "Закінчення перебування РО поза ближньою зоною контролю";

БП6 – "Закінчення реакції СД<sub>2</sub> на появу РО в ближній зоні контролю";

БП7 – "Закінчення процедури класифікації РО по сигналу від СД<sub>2</sub>";

БП8 – "Закінчення приймання повідомлення в СПВІ від автономної системи ВКОПР<sub>2</sub>".

Приймаємо до уваги, що тривалості реакції сейсмічних датчиків СД<sub>1</sub> і СД<sub>2</sub> на появу в зонах контролю РО, тривалість процедури класифікації РО і тривалість процедури передавання/приймання повідомлення мають значення до ста мікросекунд, а інтервали часу між подіями появи РО в зонах контролю мають значення не менше кількох хвилин. На підставі такого співвідношення між тривалостями, в модель закладаємо рівними нулю тривалості реакції сейсмічних датчиків СД<sub>1</sub> і СД<sub>2</sub>, тривалість процедури класифікації РО і тривалість процедури передавання/приймання радіосигналу. Тому базові події БП2, БП3 і БП4 будуть зведеними з базовою подією БП1 (ЗБП2, ЗБП3, ЗБП4), а базові події БП6, БП7 і БП8 будуть зведеними з базовою подією БП5 (ЗБП6, ЗБП7, ЗБП8).

Після визначення базових подій, для розроблення графа станів необхідно сформулювати вектор стану і задати перелік показників ефективності складових КОС.

*4.1.2. Формування вектора стану.* Стан об'єкта дослідження в розробленій моделі відображає: місце перебування РО на маршруті, що контролюється (поза зонами контролю, в дальній зоні контролю, в ближній зоні контролю); реакцію СД на появу РО в дальній і ближній зонах контролю; результат класифікації РО; стан СПВІ, коли вона приймає радіосигнал з дальньої і ближньої зон контролю. Тому у вектор стану входять сім компонент, а саме:

- компонента  $V_1$  представляє місце перебування РО і може набувати таких значень:  $V_1 = 1$  – РО перебуває поза зонами контролю;  $V_1 = 2$  – РО перебуває в дальній зоні контролю (СД<sub>1</sub>);  $V_1 = 3$  – РО перебуває в ближній зоні контролю (СД<sub>2</sub>); початкове значення  $V_1=1$ ;

- компонента  $V_2$  представляє реакцію СД<sub>1</sub> на появу РО в дальній зоні контролю і може набувати таких значень:  $V_2 = 0$  – початкове значення (СД<sub>1</sub> готовий до роботи, РО відсутній в дальній зоні контролю);  $V_2 = 1$  – СД<sub>1</sub> зреагував на появу РО;  $V_2 = 2$  – СД<sub>1</sub> не зреагував на появу РО;

- компонента  $V_3$  представляє результат роботи класифікатора при появі РО в дальній зоні контролю. Значення компоненти:  $V_3 = 0$  – початкове значення;  $V_3 = 1$  – тип РО визначено правильно;  $V_3 = 2$  – тип РО визначено не правильно;

- компонента  $V_4$  представляє стан СПВІ, коли РО перебуває в дальній зоні;  $V_4 = 0$  – СПВІ знаходиться в режимі очікування (початкове значення);  $V_4 = 1$  – в СПВІ прийнято радіосигнал з дальньої зони контролю;  $V_4 = 2$  – в СПВІ не прийнято радіосигнал з дальньої зони контролю;

- компонента  $V_5$  представляє реакцію СД<sub>2</sub> на появу РО в ближній зоні контролю і може набувати таких значень:  $V_5 = 0$  – початкове значення (СД<sub>2</sub> готовий до роботи, РО відсутній в ближній зоні контролю);  $V_5 = 1$  – СД<sub>2</sub> зреагував на появу РО;  $V_5 = 2$  – СД<sub>2</sub> не зреагував на появу РО;

- компонента  $V_6$  представляє результат роботи класифікатора при появі РО в ближній зоні контролю. Значення компоненти:  $V_6 = 0$  – початкове значення;  $V_6 = 1$  – тип РО визначено правильно;  $V_6 = 2$  – тип РО визначено не правильно;

- компонента  $V_7$  представляє стан СПВІ, коли РО перебуває в ближній зоні;  $V_7 = 0$  – СПВІ знаходиться в режимі очікування (початкове значення);  $V_7 = 1$  – в СПВІ прийнято радіосигнал з ближньої зони контролю;  $V_7 = 2$  – в СПВІ не прийнято радіосигнал з ближньої зони контролю.

*4.1.3. Перелік показників ефективності складових КОС.*

$P_1 (P_7)$  – ймовірність того, що СД<sub>1</sub> (СД<sub>2</sub>) реагує на появу РО в зоні контролю;

$P_3$  ( $P_9$ ) – ймовірність того, що пристрій класифікації автономної систем ВКОПР<sub>1</sub> (ВКОПР<sub>2</sub>) визначить тип РО правильно;

$P_5$  ( $P_{11}$ ) – ймовірність того, що СПВІ приймає повідомлення від автономної системи ВКОПР<sub>1</sub> (ВКОПР<sub>2</sub>).

4.1.4. Розроблення графа станів за методикою його побудови на основі базових подій. Вхідними даними є: базові події реакції КОС на перетин РО зон контролю з схемою встановлення сейсмічних датчиків {1+1}, компоненти вектора стану, показники ефективності складових КОС. Результати побудови заносимо в таблицю 1, де в колонку 1 заносимо номер кроку; в колонку 2 – номер попереднього стану, що розглядається, і номер актуальної базової події; в колонку 3 – ймовірності альтернативного продовження процесу; в колонки 4 - 10 – значення компонент вектора стану, що наступає після базової події; в колонку 11 – присвоєний номер стану; в колонку 12 – номер попереднього стану, з якого здійснюється перехід (номер стану береться з колонки 2), і номер наступного стану, в який здійснюється перехід (номер стану береться з колонки 11); в колонку 13 – формули розрахунку інтенсивностей переходів з стану в стан.

4.1.5. Ідея методики розроблення структурно-автоматних моделей на основі графа станів представлена в статтях [5, 6]. Вхідними даними є: базові події і граф станів, побудований на основі базових подій (табл. 1). Компонентами структурно-автоматної моделі є:

- базові події;
- формалізований опис всіх ситуацій, в яких може відбуватися базова подія (складаємо для кожної базової події);

Таблиця 1

**Модель реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемою розміщення СД {1+1} у вигляді графа станів, розроблена на основі базових подій**

№ кроку	Останній нерозглянутий стан, і актуальна(ні) для нього БП	Ймовірності альтернативного продовження процесу	Сформований вектор стану							№ стану	Перехід з стану в стан	Формули розрахунку інтенсивностей переходів із стану в стан
			V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Початковий стан	–	1	0	0	0	0	0	0	1	–	–
2	1 БП1 (ЗБП2)	(1-P <sub>1</sub> )	2	2	0	0	0	0	0	2	1 → 2	$\lambda_1 (1-P_1)$
	(ЗБП3)	P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> P <sub>5</sub>	2	1	1	1	0	0	0	3	1 → 3	$\lambda_1 P_1 P_3 P_5$
	(ЗБП4)	P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> (1-P <sub>5</sub> )	2	1	1	2	0	0	0	4	1 → 4	$\lambda_1 P_1 P_3 (1-P_5)$
		P <sub>1</sub> (1-P <sub>3</sub> )P <sub>5</sub>	2	1	2	1	0	0	0	5	1 → 5	$\lambda_1 P_1 (1-P_3) P_5$
3	2 БП5 (ЗБП6)	P <sub>1</sub> (1-P <sub>3</sub> )(1-P <sub>5</sub> )	2	1	2	2	0	0	0	6	1 → 6	$\lambda_1 P_1 (1-P_3) (1-P_5)$
	(ЗБП7)	(1-P <sub>7</sub> )	3	2	0	0	2	0	0	7	2 → 7	$\lambda_2 (1-P_7)$
	(ЗБП8)	P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> P <sub>11</sub>	3	2	0	0	1	1	1	8	2 → 8	$\lambda_2 P_7 P_9 P_{11}$
		P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> (1-P <sub>11</sub> )	3	2	0	0	1	1	2	9	2 → 9	$\lambda_2 P_7 P_9 (1-P_{11})$
4	3 БП5 (ЗБП6)	P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )P <sub>11</sub>	3	2	0	0	1	2	1	10	2 → 10	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) P_{11}$
	(ЗБП7)	P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )(1-P <sub>11</sub> )	3	2	0	0	1	2	2	11	2 → 11	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) (1-P_{11})$
	(ЗБП8)	(1-P <sub>7</sub> )	3	1	1	1	2	0	0	12	3 → 12	$\lambda_2 (1-P_7)$
		P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> P <sub>11</sub>	3	1	1	1	1	1	1	13	3 → 13	$\lambda_2 P_7 P_9 P_{11}$
5	4 БП5 (ЗБП6)	P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> (1-P <sub>11</sub> )	3	1	1	1	1	1	2	14	3 → 14	$\lambda_2 P_7 P_9 (1-P_{11})$
	(ЗБП7)	P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )P <sub>11</sub>	3	1	1	1	1	2	1	15	3 → 15	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) P_{11}$
	(ЗБП8)	P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )(1-P <sub>11</sub> )	3	1	1	1	1	2	2	16	3 → 16	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) (1-P_{11})$
		(1-P <sub>7</sub> )	3	1	1	2	2	0	0	17	4 → 17	$\lambda_2 (1-P_7)$
6	5 БП5 (ЗБП6)	P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> P <sub>11</sub>	3	1	1	2	1	1	1	18	4 → 18	$\lambda_2 P_7 P_9 P_{11}$
	(ЗБП7)	P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> (1-P <sub>11</sub> )	3	1	1	2	1	1	2	19	4 → 19	$\lambda_2 P_7 P_9 (1-P_{11})$
	(ЗБП8)	P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )P <sub>11</sub>	3	1	1	2	1	2	1	20	4 → 20	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) P_{11}$
		P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )(1-P <sub>11</sub> )	3	1	1	2	1	2	2	21	4 → 21	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) (1-P_{11})$
7	6 БП5 (ЗБП6)	(1-P <sub>7</sub> )	3	1	2	1	2	0	0	22	5 → 22	$\lambda_2 (1-P_7)$
	(ЗБП7)	P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> P <sub>11</sub>	3	1	2	1	1	1	1	23	5 → 23	$\lambda_2 P_7 P_9 P_{11}$
	(ЗБП8)	P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> (1-P <sub>11</sub> )	3	1	2	1	1	1	2	24	5 → 24	$\lambda_2 P_7 P_9 (1-P_{11})$
		P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )P <sub>11</sub>	3	1	2	1	1	2	1	25	5 → 25	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) P_{11}$
7	6 БП5 (ЗБП6)	P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )(1-P <sub>11</sub> )	3	1	2	1	1	2	2	26	5 → 26	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) (1-P_{11})$
	(ЗБП7)	(1-P <sub>7</sub> )	3	1	2	2	2	0	0	27	6 → 27	$\lambda_2 (1-P_7)$
	(ЗБП8)	P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> P <sub>11</sub>	3	1	2	2	1	1	1	28	6 → 28	$\lambda_2 P_7 P_9 P_{11}$
		P <sub>7</sub> P <sub>9</sub> (1-P <sub>11</sub> )	3	1	2	2	1	1	2	29	6 → 29	$\lambda_2 P_7 P_9 (1-P_{11})$
7	6 БП5 (ЗБП6)	P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )P <sub>11</sub>	3	1	2	2	1	2	1	30	6 → 30	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) P_{11}$
	(ЗБП8)	P <sub>7</sub> (1-P <sub>9</sub> )(1-P <sub>11</sub> )	3	1	2	2	1	2	2	31	6 → 31	$\lambda_2 P_7 (1-P_9) (1-P_{11})$

- формули розрахунку інтенсивностей для кожної базової події з урахуванням ймовірностей альтернативного продовження процесу;
- правила модифікації компонент вектора стану (правила складаються (формулюються) для кожного альтернативного продовження процесу).

Для складання формалізованого опису всіх ситуацій, в яких може відбуватися базова подія, необхідно їх виявити. Виявлення ситуацій здійснюється на основі вибору наступного після БП і попереднього станів та їх порівняння. Вибір цих пар станів здійснюється за такими двома ознаками:

- 1) вибираються стани, що утворюються (формулюються) після базової події, яким відповідають однакові формули розрахунку інтенсивності цієї БП;
- 2) із вибраних станів для складання опису ситуації залишаються ті, у яких зміна стану відносно попереднього стану обумовлена зміною однакових компонент вектора стану.

Зауважимо, що кількість варіантів наступного стану, після того як відбулася базова подія залежить від кількості альтернативних продовжень випадкового процесу. В даному випадку, після того як відбулася базова подія БП1 існує 5 альтернативних продовжень випадкового процесу. Альтернативні продовження обумовлені зведеними базовими подіями ЗБП2, ЗБП3, ЗБП4. Після того, як відбулася базова подія БП5, існує також 5 альтернативних продовжень випадкового процесу. Альтернативні продовження обумовлені зведеними базовими подіями ЗБП6, ЗБП7, ЗБП8.

Визначені компоненти структурно-автоматної моделі заносимо в таблицю 2:

- в колонку 1 заносимо базові події БП1 і БП5 і зведені з ними базові події ЗБП2, ЗБП3, ЗБП4 та ЗБП6, ЗБП7, ЗБП8 відповідно;
- в колонку 2 – формалізований опис ситуації для кожної базової події (опис ситуації служить ознакою стану, в якому відбувається базові події БП1 і БП5);
- в колонку 3 – формули розрахунку інтенсивності переходу в наступний стан (ФРПВНС);
- в колонку 4 – правила модифікації компонент вектора стану (ПМКВС).

Така форма представлення структурно-автоматної моделі відповідає формі діалогового вікна програмного засобу ASNA [7].

Таблиця 2

**Структурно-автоматна модель реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемою розміщення СД {1 + 1}**

БП	Опис ситуації	ФРПВНС	ПМКВС
1	2	3	4
БП1 (ЗБП2) (ЗБП3) (ЗБП4)	(V <sub>1</sub> =1)	$\lambda_1(1 - P_1)$	$V_1:= 2; V_2:= 2$
		$\lambda_1 P_1 P_3 P_5$	$V_1:= 2; V_2:= 1; V_3:= 1; V_4:= 1$
		$\lambda_1 P_1 P_3 (1 - P_5)$	$V_1:= 2; V_2:= 1; V_3:= 1; V_4:= 2$
		$\lambda_1 P_1 (1 - P_3) P_5$	$V_1:= 2; V_2:= 1; V_3:= 2; V_4:= 1$
		$\lambda_1 P_1 (1 - P_3) (1 - P_5)$	$V_1:= 2; V_2:= 1; V_3:= 2; V_4:= 2$
БП5 (ЗБП6) (ЗБП7) (ЗБП8)	(V <sub>1</sub> =2)	$\lambda_2(1 - P_7)$	$V_1:= 3; V_5:= 2$
		$\lambda_2 P_7 P_9 P_{11}$	$V_1:= 3; V_5:= 1; V_6:= 1; V_7:= 1$
		$\lambda_2 P_7 P_9 (1 - P_{11})$	$V_1:= 3; V_5:= 1; V_6:= 1; V_7:= 2$
		$\lambda_2 P_7 (1 - P_9) P_{11}$	$V_1:= 3; V_5:= 1; V_6:= 2; V_7:= 1$
		$\lambda_2 P_7 (1 - P_9) (1 - P_{11})$	$V_1:= 3; V_5:= 1; V_6:= 2; V_7:= 2$

На основі графа станів і переходів формуємо математичну модель реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемою розміщення СД {1 + 1} у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена:

$$\frac{dQ_1(t)}{dt} = -\lambda_1(1 - P_1) + P_1 P_3 P_5 + P_1 P_3 (1 - P_5) + P_1 (1 - P_3) P_9 + P_1 (1 - P_3) (1 - P_5) Q_1(t)$$

$$\frac{dQ_2(t)}{dt} = \lambda_1(1 - P_1) Q_1(t) - \lambda_2((1 - P_7) + P_7 P_9 P_{11} + P_7 P_9 (1 - P_{11}) + P_7 (1 - P_9) P_{11} + P_7 (1 - P_9) (1 - P_{11})) Q_2(t)$$

$$\frac{dQ_7(t)}{dt} = \lambda_2(1 - P_7) Q_2(t)$$

$$\frac{dQ_{31}(t)}{dt} = \lambda_2 P_7 (1 - P_9) (1 - P_{11}) Q_6(t)$$

де  $Q_1(t), \dots, Q_{31}(t)$  – ймовірності перебування об'єкта дослідження в станах від першого до тридцять першого.

Аналогічно здійснюється розроблення математичних моделей реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемами розміщення СД {1+2}, {2+1}, {2+2},

{1+0}, {2+0} на маршруті ймовірного пересування РО. Розмірності графів станів і переходів представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

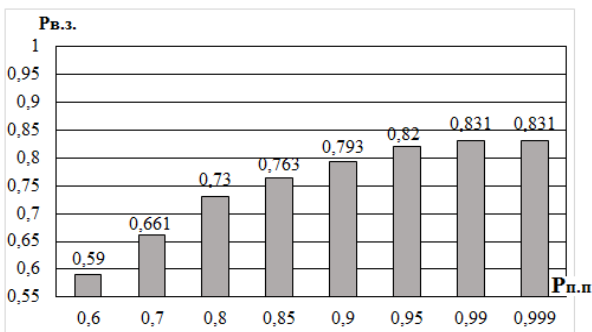
**Розмірності моделей реакції КОС на перетин РО зон контролю (моделі у вигляді графа станів і переходів)**

Базові схеми розміщення СД	Розмірність моделі	Базові схеми розміщення СД	Розмірність моделі
КОС зі схемою {1 + 0}	6 станів і 5 переходів	КОС зі схемою {2 + 1}	151 стан і 150 переходів
КОС зі схемою {2 + 0}	26 станів і 25 переходів	КОС зі схемою {1 + 2}	131 стан і 130 переходів
КОС зі схемою {1 + 1}	31 стан і 30 переходів	КОС зі схемою {2 + 2}	651 стан і 650 переходів

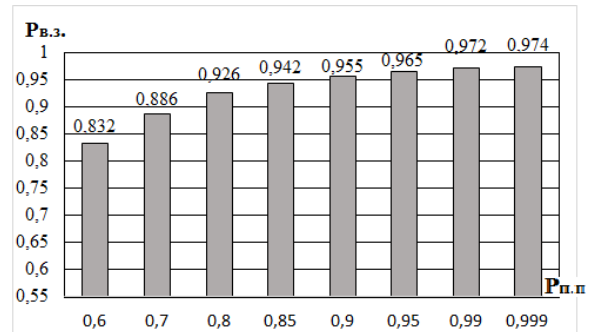
**Розв'язання задачі синтезу показників ефективності складових комплексу охоронної сигналізації.** Визначимо показники ефективності складових перспективного зразка КОС, який би забезпечував ймовірність виконання завдання не менше 0,96 ( $P_{в.з} \geq 0,96$ ) при встановленні СД біля зон контролю з м'яким ґрунтом. Вважаємо, що в цьому КОС будуть використані СД з ймовірністю реакції на появу РО в зоні контролю 0,6 ( $P_{р.сд} = 0,6$ ). Це значення отримано експериментально.

Розрахунки, виконані за допомогою дискретно-неперервних стохастичних моделей реакції КОС з схемами розміщення СД {0+1}, {0+2} і {1+1} показали, що вибір значень показників "ймовірність правильної класифікації РО" і "ймовірність приймання повідомлення" як загодно близькими до одиниці не забезпечують необхідне значення "ймовірності виконання завдання" ( $P_{в.з} = 0,96$ ). Результати розрахунку показані на рис. 2.

Поставлена задача на м'якому ґрунті має вирішення, якщо в кожній зоні контролю встановити по 2 СД. Залежність ефективності КОС від значення ймовірності приймання повідомлення в СПВІ з схемою розміщення СД {2+2}, яка представлена на рис. 3, показує, що необхідне значення показника "ймовірність виконання завдання" буде забезпечено при наступних значеннях показників ефективності складових:  $P_{п.п} \geq 0,95$ ;  $P_{п.к} = 0,8$ ;  $P_{р.сд} = 0,6$ .



**Рис. 2.** Залежність ефективності КОС від ймовірності приймання повідомлення в СПВІ для схеми {1+1} при значеннях ймовірності реакції СД на появу РО  $P_{р.сд} = 0,6$  та ймовірності правильної класифікації РО  $P_{п.к} = 0,8$



**Рис. 3.** Залежність ефективності КОС від ймовірності приймання повідомлення в СПВІ для схеми {2+2} при значеннях ймовірності реакції СД на появу РО  $P_{р.сд} = 0,6$  та ймовірності правильної класифікації РО  $P_{п.к} = 0,8$

**Висновки.** 1. Запропонована методика синтезу і розроблені математичні моделі реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю дозволяють обґрунтовувати значення основних показників ефективності складових комплексу охоронної сигналізації на етапі системотехнічного проектування. Проектант може вибирати прийнятні для розроблення значення показників ефективності складових КОС, виходячи з заданого замовником значення показника ефективності КОС – ймовірності виконання завдання.

2. Для практичного використання запропонованої методики синтезу необхідно здійснити розроблення програмного засобу, який має забезпечувати часткову або повну автоматизацію виконання етапів технології аналітичного моделювання, а саме:

- а) розроблення графа станів на основі базових подій;
- б) розроблення структурно-автоматної моделі на основі графа станів;
- в) виконання верифікації і валідації структурно-автоматних моделей;
- г) побудову графа станів і переходів на основі структурно-автоматної моделі об'єкта дослідження;
- д) компонування формул для визначення показників ефективності складових об'єкта дослідження;
- е) представлення значень показників ефективності складових об'єкта дослідження для розв'язання задачі їх синтезу.

Такий програмний засіб буде служити інструментом розв'язання задач синтезу через

багатоваріантний аналіз.

### Література

1. Портников Б.А. Структурная модель авиапредприятия как авиационной специализированной системы / Б.А. Портников, Н.З. Султанов // Вестник Оренбургского государственного университета. – Россия, Оренбург. – 2006. – № 4. – С. 141–150.
2. Грищук Р. В. Синтез систем інформаційної безпеки за заданими властивостями / Р. В. Грищук // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування/ – 2012. – № 741. – С. 271–276.
3. Волочій С.Б. Методика визначення прийнятних для розробника показників ефективності комплексу охоронної сигналізації / С.Б. Волочій, В.А. Онищенко // V<sup>th</sup> International Scientific Practical Conference "Physical and technological problems of transmission, processing and storage of information in infocommunication systems" 3–5 November 2016, Chernivtsi, Ukraine. – 2016. – P. 64–65.
4. Волочій Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / Б.Ю. Волочій. – Львів : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.
5. Федасюк Д. В. Методика розроблення структурно-автоматних моделей дискретно-неперервних стохастичних систем / Д. В. Федасюк, С. Б. Волочій // Науково-технічний журнал "Радіоелектронні і комп'ютерні системи". – Харків : "ХАІ", 2016. – № 6 (80). – С. 24–34.
6. Fedasyuk D. Method of developing the behavior models in form of states diagram for complex information systems / D. Fedasyuk, S. Volochiy // Computer science and information technologies: Proceedings of the X International Scientific and Technical Conference CSIT 2015. – Lviv, 2015. – P. 5–8.
7. Волочій Б.Ю. Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж. Практикум : навчальний посібник / Б.Ю. Волочій, Л.Д. Озірковський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 128 с.

Рецензія/Peer review : 28.11.2016 р.

Надрукована/Printed :6.2.2017 р.  
Рецензент: д.т.н. Яковина В.С.