

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2019-1-57-4>
УДК 004.942 + 621.398

Б. Ю. Волочій, доктор технічних наук,
професор кафедри теоретичної
радіотехніки та радіовимірювань
Національного університету
“Львівська політехніка”

М. М. Змісний, кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри теоретичної
радіотехніки та радіовимірювань
Національного університету
“Львівська політехніка”

В. А. Онищенко, кандидат технічних наук,
провідний науковий співробітник
Наукового центру Академії сухопутних
військ імені Петра Сагайдачного

Ю. П. Сальник, кандидат технічних наук,
заступник начальника наукового центру
Академії сухопутних військ
імені Петра Сагайдачного

О. П. Шкілюк, кандидат технічних наук,
асистент кафедри теоретичної радіотехніки
та радіовимірювань Національного
університету “Львівська політехніка”

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ КОМПЛЕКСУ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ З РІЗНОЮ КІЛЬКІСТЮ СЕЙСМІЧНИХ ДАТЧИКІВ БІЛЯ ЗОНИ КОНТРОЛЮ

Ефективність комплексів охоронної сигналізації, якщо важлива достовірність класифікації рухомих об'єктів, оцінюється такими показниками: ймовірність виконання завдання; ймовірність часткового виконання завдання; ймовірність “обману” оператора; ймовірність невиконання завдання. Відповідно, показники ефективності комплексів охоронної сигналізації, залежать від показників функціональності його складових: ймовірнос-

© **Б. Ю. Волочій, М. М. Змісний, В. А. Онищенко, Ю. П. Сальник,
О. П. Шкілюк, 2019**

ті фіксації рухомого об'єкта сейсмічним датчиком, ймовірності правильної класифікації типу рухомого об'єкта та ймовірності приймання радіосигналу системою приймання та відображення інформації. В статті описується дискретно-неперервна стохастична модель реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зони контролю, біля якої встановлено три сейсмічні датчики. На приймальній стороні комплексу використано мажоритарний принцип прийняття рішення про тип рухомого об'єкта. Здійснено порівняльний аналіз ефективності комплексів охоронної сигналізації з установленням одного, двох або трьох сейсмічних датчиків біля зони контролю.

Ключові слова: сейсмічний датчик; комплекс охоронної сигналізації.

Эффективность комплексов охранной сигнализации, когда важна достоверность классификации подвижных объектов, оценивается следующими показателями: вероятность выполнения задания; вероятность частичного выполнения задания; вероятность “обмана” оператора; вероятность невыполнения задачи. Соответственно, показатели эффективности комплексов охранной сигнализации зависят от показателей функциональности его составляющих: вероятности фиксации движущегося объекта сейсмическим датчиком, вероятности правильной классификации типа подвижного объекта и вероятности принятия радиосигнала системой приема и отображения информации. В статье описывается дискретно-непрерывная стохастическая модель реакции комплекса охранной сигнализации на пересечение движущимся объектом зоны контроля, возле которой установлены три сейсмических датчика. На приемной стороне комплекса использовано мажоритарный принцип принятия решения о типе подвижного объекта. Осуществлен сравнительный анализ эффективности комплексов охранной сигнализации с установлением одного, двух или трех сейсмических датчиков у зоны контроля.

Ключевые слова: сейсмический датчик; комплекс охранной сигнализации.

The efficiency of guard signaling complexes (GSC), when a validity of classification of moving objects (MO) is very important, is evaluated by the following indexes: probability of GSC task execution; probability of partial execution of the task; probability of user's “deception”. Accordingly, the performance indicators of the GSC, in turn, depend on the indexes of the functionality of its constituents: probability of fixation of moving object by seismic sensor, probability of correct classification of MO type and probability of receiving radio signal by the system of receiving and displaying information (RDI).

The discrete-continuous stochastic model of GSC reaction to moving object which crosses control zone, where three seismic sensors are installed, was developed. Majority principle of identifying the type of moving object was used in the receiver of GSC. A comparative analysis of the efficiency of guard signaling complexes using one, two and three sensors in control zone are carried out.

The GSC reaction is described by these procedures:

Procedure 1 – detecting of moving object by seismic sensor. A moving object may be detected or not detected, however, the autonomous system of detection, object classification and transmitting radio signals with seismic sensors in control zone, is workable. A moving object may not be detected in the following cases: it passed a seismic sensor at a safe distance; a moving object used special equipment that cannot be detected or was wearing special uniform; unsuitable place of seismic sensor location.

Procedure 2 – classification of moving object. Alternative events are inherent in classification procedure, so can be performed correctly or incorrectly. The error in classification may be caused by corrupted method of processing seismic signal in autonomous system of detection, object classification and transmitting radio signals. Message with the result of MO classification is transmitted.

Procedure 3 – delivering message with information about MO to system of RDI. The process of delivering radio signal about MO may be successful or not. Failure of message delivery to RDI may be caused by conditions of radio-wave transmission, presence of radio interference of natural and enemy-caused character.

Procedure 4 – taking decision about type of moving object in RDI using majority principle 2 out of 3.

In the model of GSC reaction to MO control zone crossing it is taken into account the that a message about MO from different seismic sensors comes to SRDI not at the same time. That is why the process of forming states of majority element, where a corresponding decision is formed, has certain duration.

A comparative analysis of the effectiveness of guard signaling complexes using one, two and three sensors in control zone are carried out.

Key words: seismic sensor; guard signaling complex.

Постановка проблеми. На етапі системотехнічного проектування комплексу охоронної сигналізації (КОС) необхідно провести дослідження ефективності його застосування з різними варіантами його реалізації. Відповідно до результатів дослідження треба сформулювати вимоги до складових КОС. Проектований КОС повинен: виконувати фіксацію рухомих об'єктів (РО) сейсмічним датчиком, за сейсмічними сигналами здійснювати класифікацію типів РО та передавати повідомлення через радіоканал від автоном-

них систем виявлення, класифікацію об'єктів і передавання радіосигналів (ВКОПР) до системи приймання і відображення інформації (СПВІ).

У практиці проектування КОС широко застосовується використання сейсмічних датчиків (СД) [1; 2]. Основні переваги використання СД: експлуатаційні умови передбачають приховане розміщення СД у ґрунті; принцип фіксації рухомих об'єктів СД пасивний, бо не передбачає випромінення енергії в навколишнє середовище тощо [3; 4].

Ефективність КОС (рис. 1) оцінюється такими показниками ефективності: ймовірність виконання завдання системою; ймовірність часткового виконання завдання системою; ймовірність “обману” оператора; ймовірність невиконання завдання КОС. Вищезгадані показники ефективності КОС так само залежать від значень показників функціональності його складових: ймовірності фіксації рухомого об'єкта СД, ймовірності правильної класифікації типу РО та ймовірності приймання радіосигналу системою приймання та відображення інформації. Під “виконанням завдання” розуміємо подію, коли РО перебуває в зоні контролю і оператор КОС отримує повідомлення про РО. Часткове виконання завдання властиве КОС зі встановленням двох або трьох СД. Під частковим виконанням завдання розуміємо подію, коли РО перебуває в зоні контролю, а схема збігу або мажоритарний елемент не видають (оператор не отримує) будь-яке повідомлення (правильне чи неправильне). Скажімо, у СПВІ надійшло одне повідомлення з правильним або неправильним визначенням типу РО. Під “обманом” користувача розуміємо подію, коли РО перебуває в зоні контролю, а схема збігу або мажоритарний елемент формують (оператор КОС отримує) повідомлення з неправильно визначеним типом РО. Під “невиконанням завдання” розуміємо подію, коли РО перебуває в зоні контролю, а до СПВІ не надійшли повідомлення від жодного СД. У всіх випадках повідомлення про РО доставляється оператору з певною ймовірністю. Ефективність комплексу охоронної сигналізації зі встановленням одного і двох СД біля зони контролю досліджена в попередніх працях [5–7].

Для проведення порівняльних досліджень необхідно розробити модель реакції КОС на перетин РО зони контролю з розміщеннями в ній трьох сейсмічних датчиків. Для підвищення достовірності класифікації РО запропоновано використати на приймальній стороні КОС мажоритарний принцип “2 із 3” прийняття рішення про тип РО [8, 9]. Таким чином, актуальним є завдання розроблення моделі реакції КОС на перетин рухомих об'єктом зони контролю з розміщеннями біля неї трьох сейсмічних датчиків. Розроблена модель дасть можливість провести дослідження ефективності КОС від чутливості сейсмічного датчика (ймовірність фіксації РО), від ефективності методу класифікації (ймовірність правильної класифікації) та від ефектив-

ності системи передавання радіосигналів (ймовірність отримання радіосигналу). Крім цього, розроблена модель дасть можливість підтвердити очікувану перевагу КОС із використанням мажоритарного принципу прийняття рішення про тип РО. Отже, об'єктом дослідження є реакція КОС на перетин РО зони контролю, біля якої встановлено три СД.

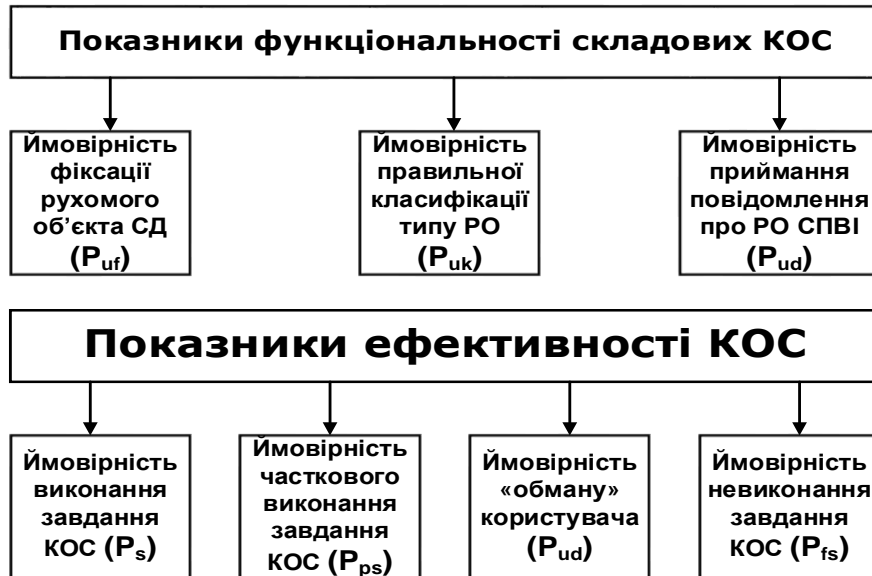


Рис. 1. Показники ефективності комплексу охоронної сигналізації та показники функціональності його складових

Складне завдання розроблення методу класифікації РО з використанням сигналів від сейсмічних датчиків. Тому необхідно шукати такі принципи побудови КОС (технічні рішення), щоб знизити вимоги до методу класифікації (до значення показника функціональності методу класифікації).

У зв'язку із цим порушуються два питання. Наскільки можна знизити значення показника функціональності методу класифікації, якщо:

1) замість одного СД установлювати біля зони контролю два СД і на приймальній стороні використати схему збігу для прийняття рішення про тип РО;

2) замість двох СД установлювати біля зони контролю три СД й на приймальній стороні використати мажоритарний принцип прийняття рішення про тип РО за правилом голосування “2 із 3”?

Експериментальні дослідження проведено методом комп'ютерного моделювання з використанням програмного засобу ASNA [10, 109–121] і

формалізованого представлення об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі [11]. Програмний засіб ASNA виконує такі функції:

1) на основі структурно-автоматної моделі здійснює побудову моделі об'єкта дослідження у вигляді графа станів і переходів;

2) на основі графа станів здійснює формування системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена; результатом розв'язання системи диференціальних рівнянь є розподіл імовірностей перебування в станах;

3) з урахуванням необхідних станів визначає показники надійності, функціональності та ефективності об'єкта дослідження.

Мета статті – здійснити порівняльний аналіз ефективності КОС з використанням одного, двох або трьох СД. Для цього необхідно здійснити розроблення структурно-автоматної моделі реакції КОС на перетин РО зони контролю з використанням трьох СД та мажоритарного принципу прийняття рішення про тип РО за правилом голосування “2 із 3” на приймальній стороні. Структурно-автоматні моделі реакції КОС із встановленням у зоні контролю одного і двох СД розроблені авторами подані в [5; 6; 12].

Виклад основного матеріалу. 1. *Реакція комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зони контролю, коли біля неї встановлено три сейсмічні датчики*

До складу КОС входять: система приймання і відображення інформації та три СД з автономними системами ВКОПР. Структурну схему КОС подано на рис. 2. До системи приймання й відображення інформації для прийняття рішення про правильність класифікації типу РО включено (введено) й використано програмно-апаратний модуль, у якому реалізовано мажоритарний принцип прийняття рішення з правилом голосування “2 із 3”. Реакцію КОС на перетин РО зони контролю подано таким чином. Рухомий об'єкт пересувається через зону контролю. Навколо зони контролю розташовані три СД (СД1, СД2, СД3), які мають фіксувати появу РО в зоні контролю. Зокрема, кожен із СД з певною ймовірністю може зафіксувати або не зафіксувати РО. Тобто на РО можуть зреагувати всі три СД, або тільки два СД, або тільки один СД. Не виключається ситуація, коли пересування РО може бути не зафіксовано жодним СД. Це обумовлюється кількома чинниками, такими як різна відстань проходження РО від СД, станом ґрунту, способом пересування РО. Після того, як СД відреагував на РО, його автономна система ВКОПР виконує завдання класифікації РО. Класифікація може бути правильною або неправильною. Після здійснення класифікації передавач автономної системи відправляє повідомлення про РО до СПВІ. Проте повідомлення може бути доставлено або не доставлено. Слід зазначити, що мажоритарний елемент зможе видати правильне повідомлення про тип РО тільки тоді, коли надійдуть сигнали з правильною класифікацією або від

трьох, або від двох автономних систем ВКОПР. Якщо сигнал від одного СД не надходить, а два інших сигнали надходять з правильною і неправильною класифікацією РО, то в СПВІ формується повідомлення “тип РО не визначено”.

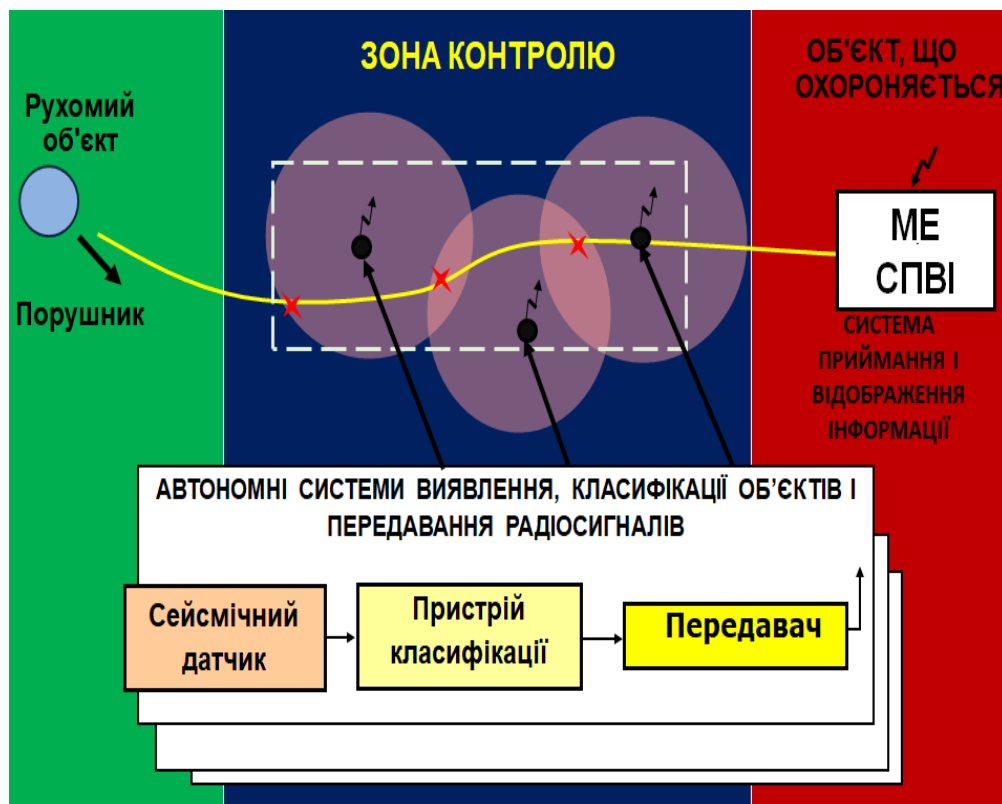


Рис. 2. Розміщення трьох сейсмотатчиків у зоні контролю біля маршруту пересування РО і структура автономної системи ВКОПР для кожного з них

У розробленій моделі враховано такі процедури, які формують поведінку КОС у процесі перетину РО зони контролю.

Процедура 1. Фіксація сейсмічним датчиком рухомого об'єкта.

Рухомий об'єкт може бути зафіксований або не зафіксований СД, при цьому автономна система ВКОПР із СД, установлена в зоні контролю, технічно справна і готова до роботи.

Рухомий об'єкт може бути не зафіксованим СД у таких випадках: РО пройшов на безпечній відстані від СД, РО використовував спеціальне обладнання проти виявлення або був одягнений у спеціальну форму, специфічне (невдале) місце розташування СД.

Процедура 2. Класифікація рухомого об'єкта.

Процедурі класифікації властиві альтернативні події, тобто вона може бути виконана правильно або неправильно. Помилка в класифікації РО може бути через недосконалість методу оброблення сейсмічного сигналу в автономній системі ВКОПР. Повідомлення з результатом класифікації РО передається до системи передавання радіосигналів.

Процедура 3. Доставлення радіосигналів з інформацією про рухомий об'єкт до системи приймання та відображення повідомлення.

Процедура доставлення радіосигналу про РО може бути або успішною або ні. Недоставлення повідомлення про РО в СПВІ може бути спричинено умовами поширення радіохвиль, наявністю радіозавад природного й техногенного характеру.

Процедура 4. Прийняття в системі приймання та відображення інформації рішення про тип рухомого об'єкта з використанням мажоритарного принципу.

Правильне рішення у СПВІ приймається в таких ситуаціях:

1. Коли на мажоритарний елемент (МЕ) надійшли сигнали від усіх трьох СД, при цьому РО був правильно класифікований.

2. На МЕ надійшли сигнали з правильною класифікацією з першого та другого СД. Третій СД або не зафіксував РО, або від нього не доставлено повідомлення з правильною класифікацією, або доставлено повідомлення з неправильною класифікацією.

3. На МЕ надійшли сигнали з правильною класифікацією від першого та третього СД. Із сигналом від другого СД трапилися ситуації, описані у пункті 2.

4. На МЕ надійшли сигнали з правильною класифікацією від другого та третього СД. Із сигналом від першого СД трапилися ситуації, описані у пункті 2.

2. Розроблення структурно-автоматної моделі реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зони контролю

Для розроблення структурно-автоматної моделі [13] реакції КОС на перетин РО зони контролю необхідно здійснити розроблення опорного графа станів та переходів [14]. Для розроблення опорного графа необхідно насамперед обрати актуальні показники функціональності складових КОС та визначити базові події, які представляють усі процеси й процедури, закладені в алгоритм її поведінки, а також показати зовнішні і внутрішні процеси, з якими взаємодіє кожен канал КОС протягом часу виконання завдання. Необхідно також обґрунтувати компоненти вектора стану, який представлятиме зміну станів у реакції КОС.

**Пари подій, які фіксують початок і закінчення процедур,
що формують реакцію КОС на перетин РО зони контролю**

№ з/п	Подія-початок	Подія-закінчення	Середні значення тривалостей процедур
1	Початок перебування РО в зоні контролю	Подія 1: фіксація РО першим СД	T_{f1}
2	Початок процедури класифікації РО, зафіксованого першим СД	Подія 2: закінчення процедури класифікації РО, зафіксованого першим СД	$t_c \ll T_{f1}$
3	Початок процедури доставлення повідомлення про РО, зафіксованого першим СД	Подія 3: закінчення процедури доставлення повідомлення про РО, зафіксованого першим СД	$t_d \ll T_{f1}$
4	Момент фіксації РО першим СД	Подія 4: фіксація РО другим СД	T_{f2}
5	Початок процедури класифікації РО, зафіксованого другим СД	Подія 5: закінчення процедури класифікації РО, зафіксованого другим СД	$t_c \ll T_{f2}$
6	Початок процедури доставлення повідомлення про РО, зафіксованого другим СД	Подія 6: закінчення процедури доставлення повідомлення про РО, зафіксованого другим СД	$t_d \ll T_{f2}$
7	Момент фіксації РО другим СД	Подія 7: фіксація РО третім СД	T_{f3}
6	Початок процедури класифікації РО, зафіксованого третім СД	Подія 8: закінчення процедури класифікації РО, зафіксованого третім СД	$t_c \ll T_{f3}$
7	Початок процедури доставлення повідомлення про РО, зафіксованого третім СД	Подія 9: закінчення процедури доставлення повідомлення про РО, зафіксованого третім СД	$t_d \ll T_{f3}$
8	Початок процедури прийняття рішення мажоритарним елементом	Подія 10: Закінчення процедури прийняття рішення мажоритарним елементом	$t_{me} \ll T_{f1} + T_{f2} + T_{f3}$

2.1. Визначення базових подій

Згідно з процедурами, які виконуються в КОС, складаємо перелік подій. Події потрібно відображати попарно, фіксуючи початок і закінчення відповідної процедури (табл. 1). Події, що відповідають закінченню процедур, є базовими подіями для розроблення моделі.

Оскільки тривалості процедур: класифікації РО t_c та доставлення повідомлення про РО t_d є значно меншими від тривалості перебування РО в зоні контролю T_{f1} , T_{f2} , T_{f3} , то в моделі їх значення прийнято рівними нулю. Тому далі події 1, 4, 7 вважатимуться базовими, а події 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10 зведеними до них відповідно. Виходячи із цього, під час розроблення САМ використано такі базові події:

- Базова подія 1 “Фіксація РО першим СД” та зведені з нею: подія 2 “Закінчення процедури класифікації рухомого об’єкта сейсмічним датчиком 1”; подія 3 “Закінчення процедури доставлення повідомлення про рухомий об’єкт сейсмічним датчиком 1”.

- Базова подія 4 “Фіксація РО другим СД” та зведені з нею: подія 5 “Закінчення процедури класифікації рухомого об’єкта сейсмічним датчиком 2”; подія 6 “Закінчення процедури доставлення повідомлення про рухомий об’єкт сейсмічним датчиком 2”.

- Базова подія 7 “Фіксація РО третім СД” та зведені з нею: подія 8 “Закінчення процедури класифікації рухомого об’єкта сейсмічним датчиком 3”; подія 9 “Закінчення процедури доставлення повідомлення про рухомий об’єкт сейсмічним датчиком 3”.

- Базова подія 10 “Видача рішення мажоритарним елементом”. Беручи до уваги, що тривалість процедури “прийняття рішення мажоритарним елементом” набагато менша від інтервалів часу між моментами фіксації рухомого об’єкта сейсmodатчиком, у моделі БП10 вона зведена з базовою подією БП7.

2.2. Показники функціональності складових КОС, представлені в розробленій моделі

У моделі реакції КОС на перетин РО зони контролю з мажоритарним принципом прийняття рішення про правильність класифікації типу РО представлено такі показники функціональності:

- P_{uf} – ймовірність фіксації сейсмічним датчиком рухомого об’єкта.
- P_{uk} – ймовірність правильної класифікації рухомого об’єкта.
- P_{ud} – ймовірність доставлення повідомлення про рухомий об’єкт.

- T_{f1} – середнє значення інтервалу часу від моменту появи РО в зоні контролю до моменту, коли РО має бути зафіксованим СД1.

- T_{f2} – середнє значення інтервалу часу від моменту фіксації РО сейсмотатчиком СД1 до моменту, коли РО має бути зафіксованим СД2.

- T_{f3} – середнє значення інтервалу часу від моменту фіксації РО сейсмотатчиком СД1 до моменту, коли РО має бути зафіксованим СД3.

2.3. Призначення компонент вектора стану

Під час побудови графа станів кожен стан КОС описуватимемо вектором, який складається з таких компонентів:

V1 – ця компонента вектора стану показує можливу реакцію КОС після БП1, ЗБП2 та ЗБП3: V1 = 1 – рухомий об'єкт зафіксовано СД1, правильно класифіковано, успішно доставлено повідомлення про РО в СПВІ; V1 = 2 – рухомий об'єкт зафіксовано СД1, неправильно класифіковано, успішно доставлено повідомлення про РО в СПВІ; V1 = 3 – рухомий об'єкт не зафіксовано СД1.

V2 – Ця компонента вектора стану показує можливу реакцію КОС після БП4, ЗБП5 та ЗБП6: V2 = 1 – рухомий об'єкт зафіксовано СД1, правильно класифіковано, успішно доставлено повідомлення про РО в СПВІ; V2 = 2 – рухомий об'єкт зафіксовано СД1, неправильно класифіковано, успішно доставлено повідомлення про РО в СПВІ; V2 = 3 – рухомий об'єкт не зафіксовано СД1. У початковому стані V2 = 0.

V3 – Ця компонента вектора стану показує можливу реакцію КОС після БП7, ЗБП8 та ЗБП9: V3 = 1 – рухомий об'єкт зафіксовано СД1, правильно класифіковано, успішно доставлено повідомлення про РО в СПВІ; V3 = 2 – рухомий об'єкт зафіксовано СД1, не правильно класифіковано, успішно доставлено повідомлення про РО в СПВІ; V3 = 3 – рухомий об'єкт не зафіксовано СД1. У початковому стані V3 = 0.

V4 – Ця компонента вектора стану показує можливі стани КОС про виконання завдання: (V4 = 1) – оператор отримав повідомлення з правильно визначеним типом РО; (V4 = 2) – обман оператора (оператор отримав повідомлення з неправильно визначеним типом РО); (V4 = 3) – оператор отримав повідомлення про наявність (присутність) РО в зоні контролю без визначення його типу; (V4 = 4) – оператор не отримав жодного повідомлення, хоча РО перетнув зону контролю. В початковому стані V4 = 0.

Формалізоване подання об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі в діалогових вікнах програмного засобу ASNA зображено на рис. 3, 4, 5.

Project Output Help

Input Output

Constants and info Vectors and refuse expression Events tree

Математична модель реакції комплексу охоронної сигналізації (КОС) на перетин рухомих об'єктом (РО) зони контролю з розміщення біля зони контролю 3-х сейсмотатчиків (СД). На прийнятній стороні для прийняття рішення про тип РО використано мажоритарний принцип {2 із 3}. Математична модель включає в себе: структурно-автоматну модель, модель у вигляді графа станів та переходів, модель у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова - Чепмена.

Name	Value	Info
L1	6	Інтенсивність фіксації РО СД1 -- L1 визначається через середнє значення інтервалу часу від моменту появи РО в зоні контролю до моменту, коли РО має бути зафік...
L2	3	Інтенсивність фіксації РО СД2 -- L2 визначається через середнє значення інтервалу часу від моменту, коли РО має бути зафіксованим СД1 до моменту, коли РО має ...
L3	2	Інтенсивність фіксації РО СД3 -- L3 визначається через середнє значення інтервалу часу від моменту, коли РО має бути зафіксованим СД2 до моменту, коли РО має ...
Puf	0.9	Ймовірність успішної фіксації рухомого об'єкта (РО) сейсмотатчиком
Puk	0.7	Ймовірність успішної класифікації рухомого об'єкта
Pud	0.99	Ймовірність успішного доставлення повідомлення про рухомих об'єкт (при значенні показника Pud=1, він в САМ не фігурує)

Рис. 3. Введені показники функціональності складових комплексу охоронної сигналізації, їх значення та коментар

Project Output Help

Input Output

Constants and info Vectors and refuse expression Events tree

Name	Value	Info
V1	0	Ця компонента вектора стану показує можливі стани комплексу охоронної сигналізації (КОС) в процесі перетину рухомих об'єктом зони контролю після БП1, 3БП2 та 3БП3
V2	0	Ця компонента вектора стану показує можливі стани КОС в процесі перетину рухомих об'єктом зони контролю після БП4, 3БП5 та 3БП6
V3	0	Ця компонента вектора стану показує можливі стани КОС в процесі перетину рухомих об'єктом зони контролю після БП7, 3БП8 та 3БП9
V4	0	Ця компонента вектора стану показує можливі стани КОС про виконання завдання: (V4=1) -- оператор отримав правильне повідомлення про РО; (V4=2) -- обман оператора; (V4=3) -- до операт...

Рис. 4. Введені компоненти вектора стану, їх значення в початковому стані та коментар

2.4. Визначення компонент структурно-автоматної моделі

Для побудови моделі базовими є визначені 3 події. Наслідки, до яких приводить та чи інша подія, залежать від умов і обставин, за яких ця подія реалізується. Умова – це складова опису ситуації, обов'язкова для даної події. Обставина – це складова опису ситуації, яка може супроводжувати, а може й не супроводжувати дану подію. Тому кожній базовій події ставлять у відповідність логічні вирази, що представляють усі актуальні для неї ситуації.

ASNA 2000 v1.1 - [CAM_04_3_СД+МЕ_виконання_завдання.apf] - □ X

Project Output Help

Input Output

Constants and info Vectors and refuse expression Events tree

Event	Condition	Formula	Alternative:	Modification	Info
Базова подія 1	(V1=0) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L1*PuF*Puk	1	V1:=1	З базовою подією 1 зведені базові події 2 (завершення процедури класифікації РО) і 3 (завершення процедури класифікації РО СД1, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення)
	(V1=0) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L1*PuF*(1-Puk)	1	V1:=2	фіксація РО СД1, не успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення
	(V1=0) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L1*(1-PuF)	1	V1:=3	РО не зафіксовано СД1
Базова подія 4	(V1=1) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L2*PuF*Puk	1	V2:=1	З базовою подією 4 зведені базові події 5 (завершення процедури класифікації РО) і 6 (завершення процедури класифікації РО СД2, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення)
	(V1=1) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L2*PuF*(1-Puk)	1	V2:=2	фіксація РО СД2, не успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення
	(V1=1) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L2*(1-PuF)	1	V2:=3	РО не зафіксовано СД3
	(V1=2) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L2*PuF*Puk	1	V2:=1	фіксація РО СД2, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення
	(V1=2) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L2*PuF*(1-Puk)	1	V2:=2	фіксація РО СД2, не успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення
	(V1=2) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L2*(1-PuF)	1	V2:=3	РО не зафіксовано СД3
	(V1=3) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L2*PuF*Puk	1	V2:=1	фіксація РО СД2, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення
	(V1=3) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0)	L2*PuF*(1-Puk)	1	V2:=2	фіксація РО СД2, не успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення
Базова подія 7	(V1=1) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*Puk	1	V3:=1; V4:=1	З базовою подією 7 зведені базові події 8 (завершення процедури класифікації РО) і 9 (завершення процедури класифікації РО СД3, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення, оператор отримав права)
	(V1=1) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*(1-Puk)	1	V3:=2; V4:=1	фіксація РО СД3, не успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення, оператор отримав права
	(V1=1) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*(1-PuF)	1	V3:=3; V4:=1	РО не зафіксовано СД3, оператор отримав правильне повідомлення про РО
	(V1=1) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*Puk	1	V3:=1; V4:=1	фіксація РО СД3, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення, оператор отримав права
	(V1=1) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*(1-Puk)	1	V3:=2; V4:=2	фіксація РО СД3, не успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення, обман оператора
	(V1=1) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*(1-PuF)	1	V3:=3; V4:=3	РО не зафіксовано СД3, до оператора не надійшло повідомлення про РО
	(V1=1) AND (V2=3) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*Puk	1	V3:=1; V4:=1	фіксація РО СД3, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення, оператор отримав права
	(V1=1) AND (V2=3) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*(1-Puk)	1	V3:=2; V4:=3	фіксація РО СД3, не успішна класифікація типу РО, до оператора не надійшло повідомлення про РО
	(V1=1) AND (V2=3) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*(1-PuF)	1	V3:=3; V4:=3	РО не зафіксовано СД3, до оператора не надійшло повідомлення про РО
	(V1=2) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*Puk	1	V3:=1; V4:=1	фіксація РО СД3, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення, оператор отримав права
	(V1=2) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*(1-Puk)	1	V3:=2; V4:=2	фіксація РО СД3, не успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення, обман оператора
	(V1=2) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*(1-PuF)	1	V3:=3; V4:=3	РО не зафіксовано СД3, до оператора не надійшло повідомлення про РО
	(V1=3) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0)	L3*PuF*Puk	1	V3:=1; V4:=2	фіксація РО СД3, успішна класифікація типу РО, успішне доставлення повідомлення, обман оператора

* Event: * Condition: * Formula: * Alternative: Add

* Modification: Info: Insert Replace

Рис. 5. Фрагмент уведеної структурно-автоматної моделі реакції КОС на перетин РО зони контролю, біля якої встановлено 3 СД

2.5. Формування моделі у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена

Математична модель КОС із 3 СД та мажоритарним принципом прийняття рішення про тип РО зображена у вигляді системи лінійних однорідних диференціальних рівнянь першого порядку (1). Математична модель формується згідно з графом станів і переходів, який має 34 стани та 37 переходів.

2.6. Валідація дискретно-неперервної стохастичної моделі реакції КОС на перетин зони контролю з трьома СД і з мажоритарним принципом прийняття рішення про тип рухомого об'єкта

Значення показників функціональності складових КОС, що використані в проведених дослідженнях 1–3:

- Ймовірність фіксації РО сейсмічним датчиком – $P_{uf} = 0.9$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda_1 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} + \lambda_1 \cdot P_{uf} \cdot (1 - P_{uk}) + \lambda_1 \cdot (1 - P_{uf})) \cdot P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -(\lambda_2 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} + \lambda_2 \cdot P_{uf} \cdot (1 - P_{uk}) + \lambda_2 \cdot (1 - P_{uf})) \cdot P_2(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(\lambda_2 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} + \lambda_2 \cdot P_{uf} \cdot (1 - P_{uk}) + \lambda_2 \cdot (1 - P_{uf})) \cdot P_3(t); \\ \dots \\ \frac{dP_{12}(t)}{dt} = -(\lambda_3 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} + \lambda_3 \cdot P_{uf} \cdot (1 - P_{uk}) + \lambda_3 \cdot (1 - P_{uf})) \cdot P_{12}(t); \\ \dots \\ \frac{dP_{34}(t)}{dt} = \lambda_3 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} \cdot P_5(t) + \lambda_3 \cdot P_{uf} \cdot (1 - P_{uk}) \cdot P_6(t) + \lambda_3 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} \cdot P_7(t) + \\ + \lambda_3 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} \cdot P_8(t) + \lambda_3 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} \cdot P_{11}(t) + \lambda_3 \cdot P_{uf} \cdot P_{uk} \cdot P_8(t) \end{array} \right. \quad (1)$$

- Ймовірність правильної класифікації типу РО – ($P_{uk} = \text{var}$)
- Ймовірність приймання радіосигналу системою приймання та відображення інформації – $P_{ud} = 1$.
- Середнє значення інтервалу часу від моменту появи РО в зоні контролю до моменту, коли РО має бути зафіксованим СД1 – $T_{f1} = 10$ хв.
- Середнє значення інтервалу часу від моменту фіксації РО сейсмічним датчиком СД1 до моменту, коли РО має бути зафіксованим СД2 – $T_{f2} = 20$ хв.
- Середнє значення інтервалу часу від моменту фіксації РО сейсмічним датчиком СД2 до моменту, коли РО має бути зафіксованим СД3 – $T_{f3} = 30$ хв.

Дослідження 1. Визначення залежності зміни показника ефективності КОС (ймовірність виконання завдання КОС) за різних значень ймовірності успішної класифікації рухомого об'єкта.

Результат проведеного дослідження (рис. 6) показав, що для забезпечення високого значення ймовірності виконання КОС, значення ймовірності успішної класифікації має бути не нижче 0,99. Підвищення вимог до пристрою класифікації не дає значного покращання показника ефективності КОС.

Дослідження 2. Визначення залежності зміни показника ефективності КОС (ймовірність часткового виконання завдання КОС) за різних значень ймовірності успішної класифікації рухомого об'єкта.

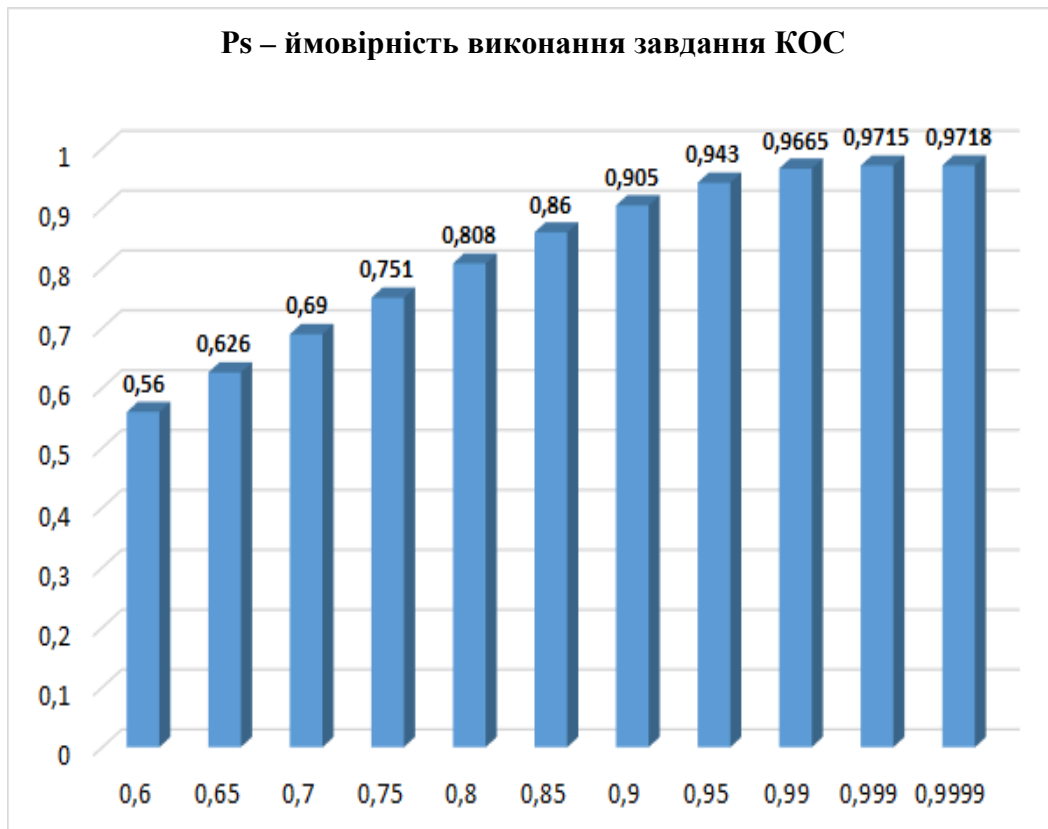


Рис. 6. Залежність ймовірності виконання завдання КОС від зміни значення ймовірності успішної класифікації рухомого об'єкта



Рис. 7. Залежність ймовірності часткового виконання завдання КОС від зміни ймовірності успішної класифікації рухомого об'єкта

Результат проведеного дослідження (рис. 7) свідчить, що для забезпечення низького значення ймовірності часткового виконання КОС значення ймовірності успішної класифікації має бути не нижче 0,99. Подальше підвищення вимог до пристрою класифікації не дає значного зниження ймовірності часткового виконання завдання.

Дослідження 3. Визначення залежності зміни показника ефективності КОС (ймовірність “обману” оператора) за різних значень ймовірності успішної класифікації рухомого об'єкта.

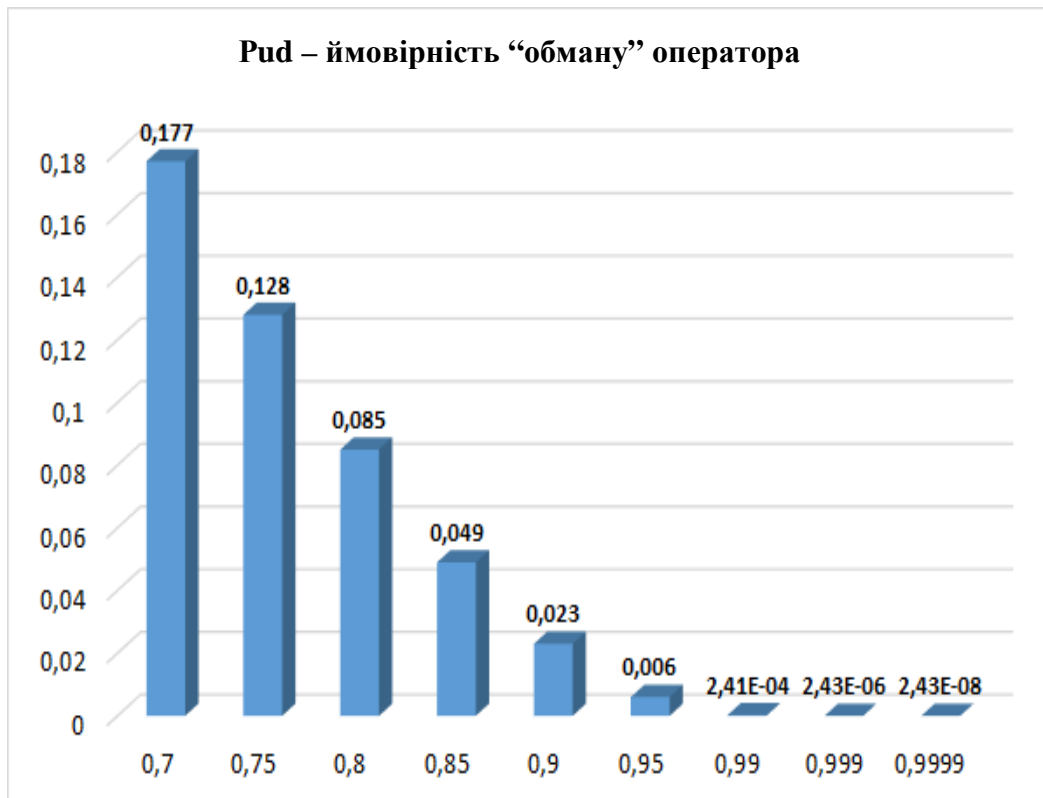


Рис. 8. Залежність ймовірності “обману” оператора від зміни ймовірності успішної класифікації рухомого об’єкта

Результат проведеного дослідження (рис. 8) свідчить, що для забезпечення низького значення ймовірності “обману” користувача КОС значення ймовірності успішної класифікації має бути не нижче 0,95. Підвищення вимог до пристрою класифікації не дають значного покращання показника ефективності КОС.

Дослідження 4. Порівняльне дослідження ефективності КОС із трьома варіантами кількості сейсмічних датчиків біля зони контролю

Дослідження проводилося за таких значень показників функціональності складових КОС:

- ймовірність фіксації РО сейсмічним датчиком у зоні контролю – $P_{uf} = 0,9$;
- ймовірність правильної класифікації РО – $P_{uk} = 0,9$;
- ймовірність приймання радіосигналу СПВІ – $P_{ud} = 1$.

Результати дослідження подано на рис. 9.

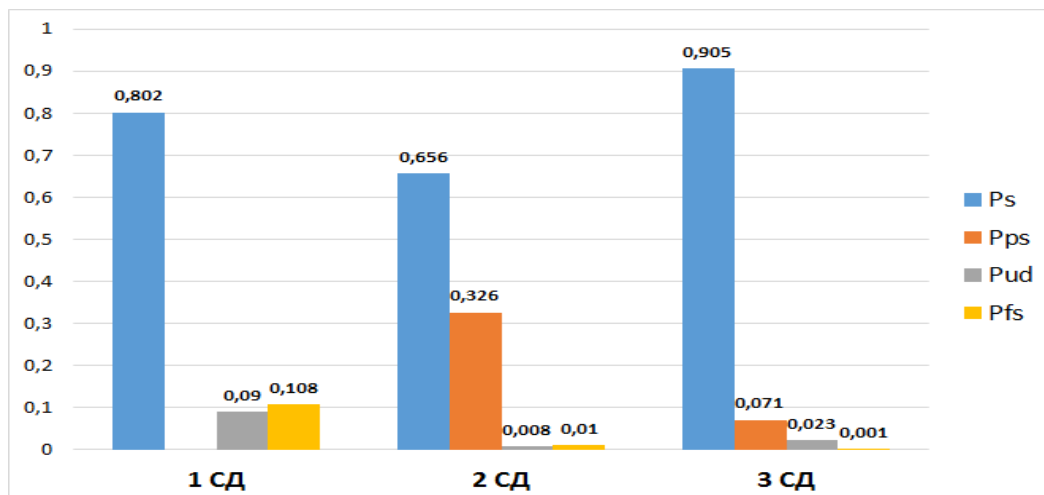


Рис. 9. Порівняння ефективності КОС із встановленням 1, 2 або 3 сейсмічних датчиків біля зони контролю

Отримані результати дослідження підтвердили ефективність використання КОС із розміщенням у зоні контролю трьох СД з мажоритарним принципом прийняття рішення про тип РО. Застосування КОС із трьома СД у зоні контролю і мажоритарним принципом прийняття рішення про тип РО в порівнянні КОС із одним та двома СД забезпечує: найбільше значення ймовірності виконання завдання КОС; зниження значення ймовірності невиконання завдання КОС у порівнянні КОС із одним СД на два порядки, а в порівнянні КОС із двома СД – на один порядок; зниження значення ймовірності “обману” оператора (P_{ud}) майже в 4 рази. Крім того, використання КОС із розміщенням у зоні контролю трьох СД з мажоритарним принципом прийняття рішення в порівнянні КОС із двома СД і прийняттям рішення про тип РО за збігом сигналів знижує ймовірність часткового виконання завдання більше ніж у 3 рази.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Проведені дослідження показали, що комплекс охоронної сигналізації з використанням у зоні контролю одного сейсмічного датчика має високе значення ймовірності “обману” оператора, ймовірності невиконання завдання КОС та водночас відносно низьке значення ймовірності виконання завдання КОС. Використання в зоні контролю двох СД дає можливість приймати рішення про тип РО через збіг повідомлень. Такий спосіб забезпечує найменше значення ймовірності “обману” оператора в порівнянні з двома іншими варіантами реалізації КОС, проте суттєво знижує ймовірність виконання завдання КОС, а також має досить велике значення ймовірності часткового виконання КОС.

Запропоновано встановлювати в зоні контролю три СД, що дає можливість використовувати мажоритарний принцип для прийняття рішення про тип РО. Отримані результати дослідження підтвердили ефективність і надійність використання такого КОС.

Продовження досліджень будуть проведені з метою врахування впливу ненадійності сейсмічних датчиків та автономних систем виявлення, класифікації об'єктів і передавання радіосигналів на значення показників ефективності комплексу охоронної сигналізації. Це питання важливе для довготривалої експлуатації комплексу охоронної сигналізації.

Список використаних джерел:

1. *Zvezhynskii S. S.* Perimeter concealed seismic detection means // *Special equipment*. 2004. № 2. P. 20–28; № 3. P. 26–37.
2. *Zvezhynskii S. S.* Problem of choosing perimeter detection means // *BDI*. 2002. № 4 (44). P. 36–41.
3. Pricon. Technical Information. URL: http://www.signalsecurity.gr/html/pdf/brochures/psicon_brochure.pdf
4. Quantum multichannel seismic-acoustic system. URL: <http://qtsi.com/wpcontent>
5. *Volochiy B. Yu., Onishchenko V. A.* Research of the dependence of the guard signaling complex on the location of seismic sensors // *Східноєвропейський журнал передових технологій. Інформаційно-керуючі системи*. 2014. Том 2. № 9 (68). С. 54–60.
6. *Волочій Б. Ю., Онищенко В. А.* Моделювання реакції комплексу охоронної сигналізації на появу рухомого об'єкту при розміщенні сейсмодатчиків в дальній та ближній зонах контролю // *Воєнно-технічний збірник*. 2014. № 1 (10). С. 7–13.
7. *Volochiy B. Yu., Onishchenko V. A.* Modelling the reaction of guard signaling complex on appearance of moving object when seismosensors are deployed in far and close control zones // *Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University, Lviv-Slavske, Ukraine: Publishing House of National University "Lviv Polytechnic"*, 2014. P. 252–254.
8. *Koren Israel, Krishna C. Mani.* Fault tolerant systems // *Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier*. 2007. 378 p.
9. *Shooman Martin L.* Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design. John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002. 528 p.
10. *Волочій Б. Ю., Озірковський Л. Д.* Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж: Практикум. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 128 с.

11. Федасюк Д. В., Волочий С. Б. Методика розроблення структурно-автоматних моделей відмовостійких систем з альтернативними продовженнями випадкових процесів після процедур контролю, перемикання і відновлення // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” : “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. 2017. № 864. С. 49–62.

12. Волочий Б. Ю., Онищенко В. А., Сальник Ю. П. Методика синтезу комплексу охоронної сигналізації при розміщенні сейсмоматчиків в дальній та ближній зонах контролю // Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. 2015. № 818. С. 32–40.

13. Fedasiuk D. V., Volochiy S. B. Method of development of structural automaton models of discrete continuous stochastic systems // Scientific journal “Radioelectronic and computer systems”. 2016. № 6 (80). P. 24–34.

14. Волочий Б. Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. Львів: “Львівська політехніка”, 2004. 220 с.

15. Volochiy B., Onishchenko V., Zmysnyi M., Kulyk I. Assessment of potential capabilities of guard signaling complex using seismic sensors // IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT’2018. P. 460–467.

REFERENCES

1. Zvezhynskii S. S. (2004), “Perimeter concealed seismic detection means”, Journal Special equipment. vol. 2, pp. 20–28; vol. 3, pp. 26–37.

2. Zvezhynskii S. S. (2002), Problem of choosing perimeter detection means, Journal BDI, vol. 4 (44), pp. 36–41.

3. Pricon. Technical Information, available at: http://www.signalsecurity.gr/html/pdf/brochures/psicon_brochure.pdf

4. Quantum multichannel seismic-acoustic system, available at: <http://qtsi.com/wpcontent/>

5. Volochiy B. Yu. and Onyshchenko V. A. (2014), “Research of the dependence of the guard signaling complex on the location of seismic sensors”, *Skhidnoyevropeys’kyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy. Informatsiyno-keruyuchi systemy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], vol 2, No. 9 (68), pp. 54–60 [Ukraine].

6. Volochiy B. Yu. and Onyshchenko V. A. (2014), “Modeliuvannia reaktsii kompleksu okhoronnoi syhnalizatsii na poiavu rukhomoho obyektu pry rozmishchenni seismodatchyktiv v dalnii ta blyzhnii zonakh kontroliu” [“Simulation of the reaction of the alarm system complex to the appearance of a moving object during the deployment of seismic sensors in the distant and near-control areas”], *Voienno-tekhnichnyi zbirnyk* [Military-technical collection], vol 1 (10), ASV, Lviv, pp. 7–13 [Ukraine].

7. Volochiy B. Yu. and Onyshchenko V. A. (2014), Modelling the reaction of guard signaling complex on appearance of moving object when seismosensors are deployed in far and close control zones, Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University, Lviv-Slavske, Publishing House of National University "Lviv Polytechnic", pp. 252–254 [Ukraine].

8. Koren Israel and Krishna C. Mani (2007), Fault tolerant systems, Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier, 378 p.

9. Shooman Martin L. (2002), Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design, John Wiley & Sons, Inc., New York, 528 p.

10. Volochiy B. Yu. and Ozirkovskiy L. D. (2012), *Systemotekhnichne proektuvannia telekomunikatsiinykh merezh* [System engineering design of telecommunication networks], Workshop, Press NU «L'vivs'ka politekhnika», Lviv, 128 p. [Ukraine].

11. Fedasiuk D. V. and Volochiy S. B. (2017), "*Metodyka rozroblennia strukturno-avtomatnykh modelei vidmovostiikykh system z al'ternatyvnymy prodovzhenniamy vypadkovykh protsesiv pislia protsedur kontroliu, peremykannia i vidnovlennia*" ["Methods of developing structural automaton models of fault-tolerant systems with alternative continuation of random processes after control, switching and restoration procedures"], *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika"*, series "*Komp'yuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii*" [Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic", series "Computer Science and Information Technologies", vol. 864, pp. 49–62 [Ukraine].

12. Volochiy B. Yu., Onyshchenko V. A. and Salnyk Yu. P. (2015), "*Metodyka syntezy kompleksu okhoronnoyi syhnalizatsiyi pry rozmishchenni seysmodatchyviv v dal'niy ta blyzhniy zonakh kontrolyu*" ["The method of synthesis of the alarm system complex for the deployment of seismic sensors in the far and near areas of control"], *Bulletin of L'viv Polytechnic National University "Radioelektronika ta telekomunikatsiyi"* [Electronics and Telecommunications], vol. 818, pp. 32–40 [Ukraine].

13. Fedasiuk D. V. and Volochiy S. B. (2016), "Method of development of structural automaton models of discrete continuous stochastic systems", *Scientific journal "Radioelectronic and computer systems"*, vol. 6 (80), pp. 24–34.

14. Volochiy B. Yu. (2004), *Tekhnolohiya modelyuvannya alhorytmiv povedinky informatsiinykh system* [Technology of modeling of algorithms of behavior of information systems], Press NU "L'vivs'ka politekhnika", L'viv, 220 p. [Ukraine].

15. Volochiy B., Onyshchenko V., Zmysnyi M. and Kulyk I. (2018), Assessment of potential capabilities of guard signaling complex using seismic sensors, IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018, pp. 460–467.