

УДК 623.09

Б.Ю. Волочій, В.А. Онищенко

*Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

## МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКЦІЇ КОМПЛЕКСУ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА ПОЯВУ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА СЕЙСМОДАТЧИКАМИ, РОЗМІЩЕНИМИ У ДАЛЬНІЙ ТА БЛИЖНІЙ ЗОНАХ КОНТРОЛЮ

*З використанням методу простору станів розроблена математична модель реакції комплексу охоронної сигналізації на появу рухомого об'єкта при попарному розміщенні чотирьох сейсмічних датчиків у дальній та ближній зонах контролю.*

**Ключові слова:** комплекс охоронної сигналізації, сейсмічні датчики.

### Вступ

Створенню нових перспективних зразків комплексів охоронної сигналізації (КОС), на початковому етапі, передують проектні дослідження ефективності їх застосування. В ході цих досліджень вивчаються питання щодо виявлення рухомих об'єктів (РО) по сейсмічних сигналах з великою вірогідністю ідентифікації РО та передачі повідомлень сигналом по радіоканалу від автономних систем виявлення, класифікації об'єктів і передавання радіосигналів (ВКОПР) до системи прийому і відображення інформації (СПВІ) КОС.

### Аналіз досліджень і публікацій

Проблеми щодо створення систем охоронної сигналізації розглянуті в публікаціях [1 - 9].

У статтях [1, 2] наведено опис існуючих радіоелектронних охоронних систем. Серед інших представлені радіоелектронні охоронні мережі, в яких використовуються сейсмічні датчики (СД). Відзначено, що для охорони складів з ядерною зброєю широко застосовуються сейсмоелектромагнітні мережі. Вони забезпечують виявлення порушника, що пересувається повільним кроком або переповзанням. Для швидкого розгортання охоронних систем застосовуються розвідувально-сигналізаційні системи, які мають у своєму складі СД. Сейсмічні датчики також мають системи охорони по периметру.

Для створення адаптивних алгоритмів виявлення РО сейсмічними засобами охорони у статті [3] розглянуто метод автономних блоків, який дозволяє моделювати процес розповсюдження сейсмічних хвиль. Проводиться дослідження, яке має на меті вивчення особливостей формування і розповсюдження сейсмічних хвиль у ґрунті, вплив характеристик СД на процес утворення сигналів.

До систем охоронної сигналізації ставиться вимога щодо проведення обробки сейсмосигналу з метою виявлення і класифікації РО у реальному

часі. В статті [4] така задача вирішується методом експрес-оцінювання спектральних характеристик сейсмічних сигналів на основі їх екстремальної фільтрації. Як стверджують автори, запропонований метод оцінювання спектральних характеристик є ефективним, простим і нетрудомістким. Параметри виділених знакозмінних складових дозволяють сформувати діагностичні ознаки з необхідними властивостями, а саме: мати фізичну інтерпретацію, описувати певні властивості сигналу; бути стійкими (не сильно змінюватися при незначній зміні властивостей сигналу); піддаватися обчисленню в реальному часі.

Питання розробки систем охорони територій і об'єктів стратегічного значення розглянуто в статті [5], де вирішується задача сумісної обробки сейсмічного, акустичного та магнітометричного сигналів, що надходять від датчиків. Для комплексного аналізу отриманої інформації запропоновано використовувати алгоритм, в основу якого покладено метод комбіновано впорядкованого моделювання. Цей метод дозволяє реалізувати можливість самонавчання в процесі виявлення та розпізнавання РО, а також зменшити кількість хибних тривог від КОС.

У довіднику [6, с. 307] наведена модель, якою можна представити реакцію КОС на пересування об'єкта через контрольовані зони. Однак ступінь адекватності такої моделі не дозволяє диференційовано представити такі особливості, як виявлення сейсмодатчиком появу РО в зоні контролю, успішну класифікацію РО, правильне приймання радіосигналів СПВІ.

Для дослідження ефективності КОС у статтях [7, 8] запропоновано математичну модель реакції КОС на пересування РО через дальню і ближню зони контролю при розміщенні двох СД послідовно вздовж маршруту.

У дисертаційному дослідженні [9] запропоновано математичні моделі аналізу просторово-організаційної структури об'єкта охорони та моделі прийняття проектних рішень під час розробки складу комплексу технічних засобів.

Таким чином, у відомих публікаціях, в яких розглядаються питання підвищення ефективності КОС, основна увага приділяється розробці і удосконаленню методів класифікації РО. Існує ще одна можливість підвищення ефективності КОС – через вибір раціональної схеми розміщення сейсмодатчиків.

Метою роботи є розробка математичної моделі реакції КОС на появу РО при попарному розміщенні СД в дальній і ближній зонах контролю для проведення досліджень залежності ефективності КОС від чутливості СД, від ефективності методу класифікації РО та від ефективності системи передавання радіосигналів.

### Математична модель реакції комплексу охоронної сигналізації на появу рухомого об'єкта

Комплекс охоронної сигналізації за допомогою СД автономних систем ВКОПР виявляє РО, пристрій класифікації ідентифікує його, а передавач автономної системи передає радіосигнал про тип РО на СПВІ.

Ефективність роботи такого комплексу залежить від схеми розміщення СД автономних систем ВКОПР, їх чутливості, методу класифікації РО, системи передавання радіосигналів. Ця залежність обумовила необхідний ступінь адекватності математичної моделі реакції КОС на появу РО при попарному розміщенні СД у дальній і ближній зонах контролю.

Модель надає можливість дослідити оптимальний склад та технічні характеристики комплексу апаратури, яка буде використовуватись за різних умов її розгортання [1, 2].

Комплекс охоронної сигналізації встановлюється на ймовірних маршрутах несанкціонованого пересування РО (рис.). В даному дослідженні розглядається такий варіант розгортання автономних систем ВКОПР: на дальньому і ближньому рубежах встановлюються по два СД з автономними системи ВКОПР<sub>1</sub> і ВКОПР<sub>2</sub> та ВКОПР<sub>3</sub> і ВКОПР<sub>4</sub>, що утворюють відповідні зони контролю. Зони чутливості СД кожної пари автономних систем ВКОПР частково перекриваються одна з одною. Такий варіант дає можливість визначати напрямок пересування РО.

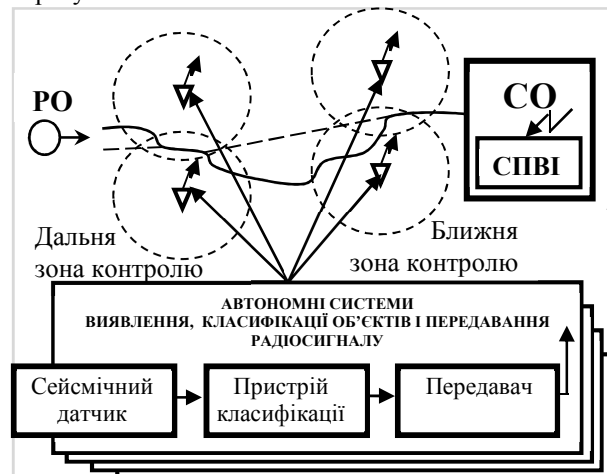


Рис. Схема розміщення систем КОС

Для створення математичної моделі була використана технологія моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем [9, 10], яка передбачає формування моделі у вигляді графа станів та переходів і складання системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена [6, с. 297-328]. Метод розробки графа станів і переходів передбачає розроблення формалізованого представлення об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі (САМ). Процес формування графа станів та переходів на основі САМ є формалізованим і здійснюється за допомогою програмного модуля ASNA-1.

Компонентами САМ є:

- 1) параметри об'єкта дослідження, що внесені в його математичну модель;
- 2) вектор стану об'єкта дослідження;
- 3) базові події (БП);
- 4) формалізований опис ситуацій, в яких відбуваються БП (умови, за яких відбувається БП, та обставини, що приймаються до уваги для даної БП);
- 5) формули розрахунку інтенсивностей БП для кожної ситуації, в якій вони відбуваються;
- 6) правила модифікації компонент вектора стану.

*Параметри реакції СД автономних систем ВКОПР<sub>1,2,3,4</sub> на появу РО* (визначаються з урахуванням типу ґрунту, рельєфу місцевості, віддалення РО від СД, ваги та швидкості РО):

$P_1$  ( $P_2$ ) – ймовірність того, що обидва СД автономних систем ВКОПР<sub>1</sub> та ВКОПР<sub>2</sub> не реагують (реагують) на появу РО в дальній зоні контролю;

$P_3$  ( $P_4$ ) – ймовірність того, що СД автономної системи ВКОПР<sub>1</sub> не реагує (реагує) на РО, а СД автономної системи ВКОПР<sub>2</sub> реагує (не реагує) на РО, коли той з'явиться в дальній зоні контролю;

$P_{13}$  ( $P_{14}$ ) – ймовірність того, що обидва СД автономних систем ВКОПР<sub>3</sub> та ВКОПР<sub>4</sub> не реагують (реагують) на появу РО в ближній зоні контролю;

$P_{15}$  ( $P_{16}$ ) – ймовірність того, що СД автономної системи ВКОПР<sub>3</sub> не реагує (реагує) на РО, а СД автономної системи ВКОПР<sub>4</sub> реагує (не реагує) на РО, коли той з'явиться в ближній зоні контролю.

*Параметри пристроїв класифікації автономних систем ВКОПР<sub>1</sub>, ВКОПР<sub>2</sub>, ВКОПР<sub>3</sub> та ВКОПР<sub>4</sub>*

Так як СД автономних систем ВКОПР встановлюються в різні ґрунти, ймовірності правильного визначення класу РО пристроями класифікації будуть відрізнятися одна від одної:

$P_5$  ( $P_6$ ) – ймовірність того, що пристрій класифікації автономної системи ВКОПР<sub>1</sub> визначить клас РО неправильно (правильно);

$P_7$  ( $P_8$ ) – ймовірність того, що пристрій класифікації автономної системи ВКОПР<sub>2</sub> визначить клас РО неправильно (правильно);

$P_{17}$  ( $P_{18}$ ) – ймовірність того, що пристрій класифікації автономної системи ВКОПР<sub>3</sub> визначить клас РО неправильно (правильно);

$P_{19}$  ( $P_{20}$ ) – ймовірність того, що пристрій класифікації автономної систем ВКОПР<sub>4</sub> визначить клас РО неправильно (правильно).

*Оскільки СД автономних систем ВКОПР розташовуються на місцевості в різних умовах (різна віддаленість від СПВІ, рельєф місцевості), ймовірності прийому радіосигналу СПВІ від автономних систем ВКОПР можуть бути різними:*

$P_9$  ( $P_{10}$ ) – ймовірність того, що СПВІ приймає (не приймає) радіосигнал від автономної системи ВКОПР<sub>1</sub>;

$P_{11}$  ( $P_{12}$ ) – ймовірність того, що СПВІ приймає (не приймає) радіосигнал від автономної системи ВКОПР<sub>2</sub>;

$P_{21}$  ( $P_{22}$ ) – ймовірність того, що СПВІ приймає (не приймає) радіосигнал від автономної системи ВКОПР<sub>3</sub>;

$P_{23}$  ( $P_{24}$ ) – ймовірність того, що СПВІ приймає (не приймає) радіосигнал від автономної системи ВКОПР<sub>4</sub>.

Стан об'єкта дослідження представлено вектором, який має 7 компонент, що забезпечує необхідний ступінь адекватності моделі, а саме:

– компонента  $V_1$  представляє розміщення РО на місцевості і може набувати таких значень:  $V_1=1$  – РО поза зоною чутливості СД<sub>1</sub>, СД<sub>2</sub>, СД<sub>3</sub> та СД<sub>4</sub>;  $V_1=2$  – РО в дальній зоні контролю (зони чутливості СД<sub>1</sub> та СД<sub>2</sub>);  $V_1=3$  – РО в ближній зоні контролю (зони чутливості СД<sub>3</sub> та СД<sub>4</sub>). Початкове значення  $V_1=1$ ;

– компонента  $V_2$  представляє стан автономної системи ВКОПР<sub>1</sub> (характеризує взаємодію автономної системи ВКОПР<sub>1</sub> з РО). Значення цієї компоненти:  $V_2=0$  – автономна система ВКОПР<sub>1</sub> справна і готова до роботи, РО відсутній в зоні чутливості СД<sub>1</sub>;  $V_2=1$  – автономна система ВКОПР<sub>1</sub> не реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>1</sub>;  $V_2=2$  – автономна система ВКОПР<sub>1</sub> реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>1</sub>, але не класифікує його правильно;  $V_2=3$  – автономна система ВКОПР<sub>1</sub> реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>1</sub> та класифікує його правильно. Початкове значення  $V_2=0$ ;

– компонента  $V_3$  представляє стан автономної системи ВКОПР<sub>2</sub> (характеризує реакцію автономної системи ВКОПР<sub>2</sub> на РО). Значення цієї компоненти:  $V_3=0$  – автономна система ВКОПР<sub>2</sub> справна і готова до роботи, РО відсутній в зоні чутливості СД<sub>2</sub>;  $V_3=1$  – автономна система ВКОПР<sub>2</sub> не реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>2</sub>;  $V_3=2$  – автономна система ВКОПР<sub>2</sub> реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>2</sub>, але не класифікує його правильно;  $V_3=3$  – автономна система ВКОПР<sub>2</sub> реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>2</sub> та класифікує його правильно. Початкове значення  $V_3=0$ ;

– компонента  $V_4$  представляє стан автономної системи ВКОПР<sub>3</sub>. Значення цієї компоненти:  $V_4=0$  – автономна система ВКОПР<sub>3</sub> справна та готова до

роботи, РО відсутній в зоні чутливості СД<sub>3</sub>;  $V_4=1$  – автономна система ВКОПР<sub>3</sub> не реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>3</sub>;  $V_4=2$  – автономна система ВКОПР<sub>3</sub> реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>3</sub>, але не класифікує його правильно;  $V_4=3$  – автономна система ВКОПР<sub>3</sub> реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>3</sub> та класифікує його правильно. Початкове значення  $V_4=0$ ;

– компонента  $V_5$  представляє стан автономної системи ВКОПР<sub>4</sub>. Значення компоненти  $V_5$ :  $V_5=0$  – автономна система ВКОПР<sub>4</sub> справна і готова до роботи, РО відсутній в зоні чутливості СД<sub>4</sub>;  $V_5=1$  – автономна система ВКОПР<sub>4</sub> не реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>4</sub>;  $V_5=2$  – автономна система ВКОПР<sub>4</sub> реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>4</sub>, але не класифікує його правильно;  $V_5=3$  – автономна система ВКОПР<sub>4</sub> реагує на перебування РО в зоні чутливості СД<sub>4</sub> та класифікує його правильно. Початкове значення  $V_5=0$ ;

– компонента  $V_6$  представляє стан СПВІ, коли РО знаходиться в дальній зоні контролю (зони чутливості СД<sub>1</sub> та СД<sub>2</sub>). Значення компоненти  $V_6$ :  $V_6=0$  – СПВІ ввімкнена та перебуває у черговому режимі;  $V_6=1$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>1</sub>;  $V_6=2$  – СПВІ не спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>1</sub>;  $V_6=3$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>2</sub>;  $V_6=4$  – СПВІ не спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>2</sub>;  $V_6=5$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналів автономних систем ВКОПР<sub>1</sub> та ВКОПР<sub>2</sub>;  $V_6=6$  – СПВІ не спрацьовує від радіосигналів автономних систем ВКОПР<sub>1</sub> та ВКОПР<sub>2</sub>;  $V_6=7$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>1</sub> та не спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>2</sub>;  $V_6=8$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>2</sub> та не спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>1</sub>. Початкове значення  $V_6=0$ ;

– компонента  $V_7$  представляє стан СПВІ, коли РО знаходиться в ближній зоні контролю (зони чутливості СД<sub>3</sub> і СД<sub>4</sub>) і може набувати таких значень:  $V_7=0$  – СПВІ ввімкнена та перебуває у черговому режимі;  $V_7=1$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>3</sub>;  $V_7=2$  – СПВІ не спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>3</sub>;  $V_7=3$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>4</sub>;  $V_7=4$  – СПВІ не спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>4</sub>;  $V_7=5$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналів автономних систем ВКОПР<sub>3</sub> та ВКОПР<sub>4</sub>;  $V_7=6$  – СПВІ не спрацьовує від радіосигналів автономних систем ВКОПР<sub>3</sub> та ВКОПР<sub>4</sub>;  $V_7=7$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>3</sub> та не спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>4</sub>;  $V_7=8$  – СПВІ спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>4</sub> та не спрацьовує від радіосигналу автономної системи ВКОПР<sub>3</sub>. Початкове значення  $V_7=0$ .

Базовими подіями в об'єкті дослідження є:

– кінець перебування РО поза дальньою зоною контролю (поява РО в зоні чутливості СД<sub>1</sub> та СД<sub>2</sub>) (БП1). З цієї БП1 є зведеними базові події ЗБП3 – “Кінець реакції СД<sub>1</sub> на появу РО”, ЗБП4 – “Кінець реакції СД<sub>2</sub> на появу РО”, ЗБП5 – “Кінець приймання радіосигналу СПВІ від автономної системи ВКОПР<sub>1</sub>”, ЗБП6 – “Кінець приймання радіосигналу СПВІ від автономної системи ВКОПР<sub>2</sub>”;

– кінець перебування РО в дальній зоні контролю (поява РО в зоні чутливості СД<sub>3</sub> та СД<sub>4</sub>) (БП2). З цієї БП2 є зведеними базові події ЗБП7 – “Кінець реакції СД<sub>3</sub> на появу РО”, ЗБП8 – “Кінець реакції СД<sub>4</sub> на появу РО”, ЗБП9 – “Кінець приймання радіосигналу СПВІ від автономної системи ВКОПР<sub>3</sub>”, ЗБП10 – “Кінець приймання радіосигналу СПВІ від автономної системи ВКОПР<sub>4</sub>”.

Зведеною називаємо таку базову подію, що закінчує виконання відповідної процедури, тривалість якої прямує до нуля. Але виконання процедури може бути успішним або неуспішним.

Дерево правил модифікації компонент вектора стану будується на основі визначених БП і служить основою для побудови моделі об'єкта дослідження у вигляді графа станів і переходів.

При розробці дерева правил модифікації компонент вектора стану вирішено завдання: надано формалізований опис ситуацій, за яких відбуваються БП; скомпоновані формули розрахунку інтенсивностей базових подій (ФРІБП) (в цих формулах  $\lambda_1, \lambda_2$  – інтенсивності появи РО в дальній та ближній зонах контролю відповідно); встановлені правила модифікації компонент вектора (ПМКВС). Розроблене дерево ПМКВС представлено в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1

**Дерево правил модифікації компонент вектора стану для БП1**

<b>БП1. Кінець перебування РО поза дальньою зоною контролю</b> (поява РО в зоні чутливості СД <sub>1</sub> та СД <sub>2</sub> ) (ЗБП3, ЗБП4, ЗБП5, ЗБП6)	
Опис ситуації, в якій відбувається БП1: $V_1=1$	
ФРІБП	ПМКВС
$\lambda_1 \cdot P_1$	$V_1=2; V_2=1; V_3=1$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_5 \cdot P_7 \cdot P_9 \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=2; V_6=5$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_5 \cdot P_7 \cdot P_{10} \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=2; V_6=6$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_5 \cdot P_7 \cdot P_9 \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=2; V_6=7$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_5 \cdot P_7 \cdot P_{10} \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=2; V_6=8$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=3; V_6=5$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot P_8 \cdot P_{10} \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=3; V_6=6$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=3; V_6=7$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot P_8 \cdot P_{10} \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=3; V_6=8$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_5 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=3; V_6=5$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_5 \cdot P_8 \cdot P_{10} \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=3; V_6=6$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_5 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=3; V_6=7$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_5 \cdot P_8 \cdot P_{10} \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=3; V_6=8$

Продовж. табл. 1

$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_9 \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=2; V_6=5$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_{10} \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=2; V_6=6$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_9 \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=2; V_6=7$
$\lambda_1 \cdot P_2 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_{10} \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=2; V_6=8$
$\lambda_1 \cdot P_3 \cdot P_7 \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=1; V_3=2; V_6=3$
$\lambda_1 \cdot P_3 \cdot P_7 \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=1; V_3=2; V_6=4$
$\lambda_1 \cdot P_3 \cdot P_8 \cdot P_{11}$	$V_1=2; V_2=1; V_3=3; V_6=3$
$\lambda_1 \cdot P_3 \cdot P_8 \cdot P_{12}$	$V_1=2; V_2=1; V_3=3; V_6=4$
$\lambda_1 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_9$	$V_1=2; V_2=2; V_3=1; V_6=1$
$\lambda_1 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_{10}$	$V_1=2; V_2=2; V_3=1; V_6=2$
$\lambda_1 \cdot P_4 \cdot P_6 \cdot P_9$	$V_1=2; V_2=3; V_3=1; V_6=1$
$\lambda_1 \cdot P_4 \cdot P_6 \cdot P_{10}$	$V_1=2; V_2=3; V_3=1; V_6=2$

Таблиця 2

**Дерево правил модифікації компонент вектора стану для БП2**

<b>БП2. Кінець перебування РО в дальній зоні контролю</b> (поява РО в зоні чутливості СД <sub>3</sub> та СД <sub>4</sub> ) (ЗБП7, ЗБП8, ЗБП9, ЗБП10)	
Опис ситуації, в якій відбувається БП2: $V_1=2$	
ФРІБП	ПМКВС
$\lambda_2 \cdot P_{13}$	$V_1=3; V_4=1; V_5=1$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{17} \cdot P_{19} \cdot P_{21} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=2; V_7=5$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{17} \cdot P_{19} \cdot P_{22} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=2; V_7=6$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{17} \cdot P_{19} \cdot P_{21} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=2; V_7=7$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{17} \cdot P_{19} \cdot P_{22} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=2; V_7=8$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{18} \cdot P_{20} \cdot P_{21} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=3; V_7=5$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{18} \cdot P_{20} \cdot P_{22} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=3; V_7=6$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{18} \cdot P_{20} \cdot P_{21} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=3; V_7=7$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{18} \cdot P_{20} \cdot P_{22} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=3; V_7=8$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{17} \cdot P_{20} \cdot P_{21} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=3; V_7=5$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{17} \cdot P_{20} \cdot P_{22} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=3; V_7=6$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{17} \cdot P_{20} \cdot P_{21} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=3; V_7=7$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{17} \cdot P_{20} \cdot P_{22} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=3; V_7=8$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{18} \cdot P_{19} \cdot P_{21} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=2; V_7=5$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{18} \cdot P_{19} \cdot P_{22} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=2; V_7=6$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{18} \cdot P_{19} \cdot P_{21} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=2; V_7=7$
$\lambda_2 \cdot P_{14} \cdot P_{18} \cdot P_{19} \cdot P_{22} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=2; V_7=8$
$\lambda_2 \cdot P_{15} \cdot P_{19} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=1; V_5=2; V_7=3$
$\lambda_2 \cdot P_{15} \cdot P_{19} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=1; V_5=2; V_7=4$
$\lambda_2 \cdot P_{15} \cdot P_{20} \cdot P_{23}$	$V_1=3; V_4=1; V_5=3; V_7=3$
$\lambda_2 \cdot P_{15} \cdot P_{20} \cdot P_{24}$	$V_1=3; V_4=1; V_5=3; V_7=4$
$\lambda_2 \cdot P_{16} \cdot P_{17} \cdot P_{21}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=1; V_7=1$
$\lambda_2 \cdot P_{16} \cdot P_{17} \cdot P_{22}$	$V_1=3; V_4=2; V_5=1; V_7=2$
$\lambda_2 \cdot P_{16} \cdot P_{18} \cdot P_{21}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=1; V_7=1$
$\lambda_2 \cdot P_{16} \cdot P_{18} \cdot P_{22}$	$V_1=3; V_4=3; V_5=1; V_7=2$

Розробка САМ завершується її верифікацією. Суть методу верифікації САМ у виявленні невідповідностей при порівнянні тестової моделі об'єкта дослідження у вигляді графа станів і переходів з графом станів та переходів, який формує програмний модуль ASNA-1 на основі САМ, та усунення помилок, які спричиняють ці невідповідності. Розробка тестової моделі здійснюється методом аналізу станів для актуальних БП [11] і представлена в таблиці 3.

Таблиця 3

## Тестова модель реакції комплексу охоронної сигналізації на появу рухомого об'єкта

№ з/п	Стан і БП, що розглядається	Вектор стану							№ стану	Перехід із стану в стан	Інтенсивність БП, $\lambda$
		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	ПС	1	0	0	0	0	0	0	1	-	-
2	1БП1	2	1	1	0	0	0	0	2	1→2	$\lambda_1$
3	2БП2	3	1	1	1	1	0	0	3	2→3	$\lambda_2$
4	2БП2	3	1	1	2	2	0	5	4	2→4	$\lambda_2$
5	2БП2	3	1	1	2	2	0	6	5	2→5	$\lambda_2$
6	2БП2	3	1	1	2	2	0	7	6	2→6	$\lambda_2$
7	2БП2	3	1	1	2	2	0	8	7	2→7	$\lambda_2$
8	2БП2	3	1	1	3	3	0	5	8	2→8	$\lambda_2$
9	2БП2	3	1	1	3	3	0	6	9	2→9	$\lambda_2$
10	2БП2	3	1	1	3	3	0	7	10	2→10	$\lambda_2$
11	2БП2	3	1	1	3	3	0	8	11	2→11	$\lambda_2$
12	2БП2	3	1	1	2	3	0	5	12	2→12	$\lambda_2$
13	2БП2	3	1	1	2	3	0	6	13	2→13	$\lambda_2$
14	2БП2	3	1	1	2	3	0	7	14	2→14	$\lambda_2$
15	2БП2	3	1	1	2	3	0	8	15	2→15	$\lambda_2$
16	2БП2	3	1	1	3	2	0	5	16	2→16	$\lambda_2$
17	2БП2	3	1	1	3	2	0	6	17	2→17	$\lambda_2$
18	2БП2	3	1	1	3	2	0	7	18	2→18	$\lambda_2$
19	2БП2	3	1	1	3	2	0	8	19	2→19	$\lambda_2$
20	2БП2	3	1	1	1	2	0	3	20	2→20	$\lambda_2$
21	2БП2	3	1	1	1	2	0	4	21	2→21	$\lambda_2$
22	2БП2	3	1	1	1	3	0	3	22	2→22	$\lambda_2$
23	2БП2	3	1	1	1	3	0	4	23	2→23	$\lambda_2$
24	2БП2	3	1	1	2	1	0	1	24	2→24	$\lambda_2$
25	2БП2	3	1	1	2	1	0	2	25	2→25	$\lambda_2$
26	2БП2	3	1	1	3	1	0	1	26	2→26	$\lambda_2$
27	2БП2	3	1	1	3	1	0	2	27	2→27	$\lambda_2$
28	1БП1	2	2	2	0	0	5	0	28	1→28	$\lambda_1$
29	28БП2	3	2	2	1	1	5	0	29	28→29	$\lambda_2$
30	28БП2	3	2	2	2	2	5	5	30	28→30	$\lambda_2$
...											
649	626 БП2	3	3	1	2	1	2	2	649	626→649	$\lambda_2$
650	626 БП2	3	3	1	3	1	2	1	650	626→650	$\lambda_2$
651	626 БП2	3	3	1	3	1	2	2	651	626→651	$\lambda_2$

Сформований граф має 651 стан і 676 переходів. На основі графа станів і переходів сформовано математичну модель реакції КОС на появу РО при розміщенні СД в дальній і ближній зонах контролю у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена.

$$\frac{dQ_1(t)}{dt} = -\lambda_1 Q_1(t)(P_1 + (P_2(P_5 + P_6)(P_9 + P_{10}) + P_3) \times (P_7 + P_8)(P_{11} + P_{12}) + P_4(P_5 + P_6)(P_9 + P_{10}))$$

$$\frac{dQ_2(t)}{dt} = \lambda_1 Q_1(t)P_1 - \lambda_2 Q_2(t)(P_{13} + (P_{14}(P_{21} + P_{22}) \times (P_{17} + P_{18}) + P_{15})(P_{23} + P_{24})(P_{19} + P_{20}) + P_{16} \times (P_{21} + P_{22})(P_{17} + P_{18}))$$

$$\frac{dQ_3(t)}{dt} = \lambda_2 Q_2(t)P_{13}$$

$$\frac{dQ_4(t)}{dt} = \lambda_2 Q_2(t)P_{14}P_{17}P_{19}P_{21}P_{23}$$

...

$$\frac{dQ_{648}(t)}{dt} = \lambda_2 Q_{626}(t)P_{16}P_{17}P_{21}$$

$$\frac{dQ_{649}(t)}{dt} = \lambda_2 Q_{626}(t)P_{16}P_{17}P_{22}$$

$$\frac{dQ_{650}(t)}{dt} = \lambda_2 Q_{626}(t)P_{16}P_{18}P_{21}$$

$$\frac{dQ_{651}(t)}{dt} = \lambda_2 Q_{626}(t)P_{16}P_{18}P_{22}$$

де  $dQ_1(t)$ , ...,  $dQ_{651}(t)$  – ймовірності перебування об'єкта дослідження в станах від першого до шістсот п'ятдесят першого.

### Висновки

Запропонована математична модель реакції КОС на появу РО при попарному розміщенні СД в дальній і ближній зонах контролю має необхідний рівень адекватності і дозволяє обмежити кількість і обсяг натурних випробувань роботи КОС. При цьому отримати достовірні результати щодо ефективності і надійності його роботи та визначити вимоги до методу класифікації РО і до системи передавання радіосигналу за умови заданої чутливості СД з урахуванням типу ґрунту, рельєфу місцевості, віддалення РО від СД, ваги та швидкості РО.

Запропонована модель буде покладена в основу методики, яка дасть можливість визначити параметри пристрою класифікації рухомих об'єктів та системи передавання радіосигналів при заданій чутливості датчиків за найгірших умов їх застосування і, навпаки, визначити чутливість сейсмічних датчиків при заданих значеннях параметрів пристрою класифікації і системи передавання радіосигналів.

У наступних публікаціях планується представити результати досліджень ефективності комплексу охоронної сигналізації для чотирьох схем розміщення сейсмічних датчиків (двох попарно на дальньому і ближньому рубежах маршруту, двох на одному рубежі маршруту, двох послідовно на дальньому і ближньому рубежах маршруту та одного сейсмічного датчика на маршруті). Результати планується представити у вигляді залежностей ймовірності успішного виконання

завдання КОС від ймовірності правильної класифікації рухомого об'єкта та ймовірності правильного приймання радіосигналу.

### Список літератури

1. В. Мосалев. Радиоэлектронные средства охраны ВС США и перспективы их развития. Зарубежное военное обозрение. – М.: Издательство газеты “Красная звезда” 2001, № 3.- С. 26-29, № 4.- С. 23-26. – 64 с.
2. Д. Хорошев. “Разведывательно-сигнализационные охраняемые системы и средства обнаружения сухопутных войск США”. – М.: Издательский дом “Красная звезда”, “Зарубежное военное обозрение” №4. 2011, – С. 45-53.
3. Голованов О.А. Декомпозиционный подход в моделировании распространения сейсмоакустических волн в земной поверхности / О.А. Голованов, А.А. Кичкидов, Н.В. Прокина, С.А. Тарасов // Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Датчики и системы – 2012): Междунар. науч.-техн. конф. с элементами научной школы для молодых ученых (г. Пенза, 22–26 октября 2012 г.) / под ред. Е.А. Ломтева, А.Г. Дмитриенко. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – С. 149 – 153.
4. Мясникова Н.В. Экспресс-анализ сейсмических сигналов / Н.В. Мясникова, М.П. Берестень, В.А. Дудкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2007. – №7.
5. Котельников А.В. Обработка информации с датчиков системы обнаружения объектов методом теории решеток / А.В. Котельников, В.Б. Лебедев // Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Датчики и системы – 2012): Междунар. науч.-техн. конф. с элементами научной школы для молодых ученых (г. Пенза, 22–26 октября 2012 г.) / под ред. Е.А. Ломтева, А.Г. Дмитриенко. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – С. 157–161.
6. Абчук В.А. Справочник по исследованию операций / В.А. Абчук, Ф.А. Матвейчук, Л.П. Томашевский. – М.: Военное издательство МО СССР, 1979. – 868 с.
7. Волочий Б.Ю. Модель процесса взаимодействия разведывательно-сигнализационного комплекса с объектом выявления с учетом особенностей оперативно-тактической обстановки / Б.Ю. Волочий, В.А. Онищенко // Військово-технічний збірник № 8(1) / Академія сухопутних військ. – Львів: АСВ, 2013. – С. 50 – 57.
8. Волочий Б.Ю. Математическое моделирование процесса обнаружения движущихся объектов комплексом охранной сигнализации стационарных объектов / Б.Ю. Волочий, В.А. Онищенко // Труды международного симпозиума “Надежность и качество”. Том 1 / Под ред. Н.К. Юркова. – Россия, Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2013. – С. 156–159.
9. Аль Мохадмех Зафель. Підсистема підтримки прийняття проектних рішень при створенні систем безпеки об'єктів невиробничої сфери. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. 05.13.12 – системи автоматизації проектних робіт. Харків: Державний технічний ун-т радіоелектроніки. 2001. – 20 с.
10. Волочий Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем: монографія. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2004. – 220 с.
11. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія / Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочий, О.Ю. Лозинський, Б.А. Мандзій, Л.Д. Озірковський, Д.В. Федасюк, С.В. Щербовських, В.С. Яковина. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 300 с.
12. Волочий Б.Ю. Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж. Практикум: навч. посібник / Б.Ю. Волочий, Л.Д. Озірковський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 128 с.

**Рецензент:** д.т.н., с.н.с. М.Ю. Яковлев, Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

### Моделирование реакции комплекса охранной сигнализации на появление движущегося объекта сейсмическими датчиками, размещенными в дальней и ближней зонах

Б.Ю. Волочий, В.А. Онищенко

Используя метод пространства состояния, разработана математическая модель реакции комплекса охранной сигнализации на появление движущегося объекта при попарном размещении четырех сейсмических датчиков в дальней и ближней зонах контроля.

**Ключевые слова:** комплекс охранной сигнализации, сейсмические датчики.

### Modeling the reaction of guard signaling complex on appearance of moving object when seismosensors located in far and close control zones

B. Volochii, V. Onyshchenko

Using state-in-space method the authors developed mathematical model of the reaction of the guard signaling complex on the appearance of moving object with pairwise placement of four seismic sensors in far and close control zones.

**Key words:** guard signaling complex, seismic sensors.