

УДК 004.75:004.942
№ держреєстрації 0119U001095
Інв. №

Національна академія наук України
Інститут проблем реєстрації інформації
(ІПРІ НАН України)
03113, м. Київ, вул. Шпака, 2
тел. (044) 456-83-89, факс (044) 456-33-18, e-mail ipri@ipri.kiev.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора інституту
з наукової роботи
член-кореспондент НАН України
Андрій КРЮЧИН
“ _____ ” _____ 2021

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**Розробити і дослідити моделі функціонування та методи оцінки
ефективності систем моніторингу рухомих об’єктів з мережецентричною
архітектурою в умовах впливу навмисних завад
(шифр “Модель-Мережа”)**

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ВИЗНАЧЕНИХ
ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ
РУХОМИХ ОБ’ЄКТІВ І ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОЇ
АРХІТЕКТУРИ КОМПЛЕКСНОЇ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПР СМРО**

(заключний)

Науковий керівник:
Директор Інституту проблем реєстрації
інформації НАН України
академік НАН України

Вячеслав ПЕТРОВ

2021

Рукопис закінчено 20 грудня 2021

Результати роботи розглянуто та схвалено Вченою радою ІПРІ НАН України,
протокол від 28.12.2021 № ____

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 159 сторінок, 41 рисунок, 5 таблиць, 5 джерела.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНА АРХІТЕКТУРА, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МОДЕЛЬ РУХУ, МОНІТОРИНГ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ, ВПЛИВ НАВМИСНИХ ЗАВАД, МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ.

Об'єкт дослідження – просторово-розподілені системи моніторингу рухомих об'єктів (ПР СМРО) з мережецентричною архітектурою.

Процес дослідження – ефективність функціонування системи моніторингу з мережецентричною архітектурою в умовах впливу навмисних завад з урахуванням засобів захисту СМРО від завад.

Мета роботи – розробка архітектурних рішень для створення імітаційної моделі системи моніторингу рухомих об'єктів, розробка методики оцінки ефективності функціонування ПР СМРО в умовах завад різного походження.

У роботі використано методи математичного моделювання, системного аналізу, аналітичні та статистичні методи, а також методи теорії імовірності та теорії радіолокації.

Матеріали звіту «Розробка методики розрахунку визначених показників ефективності систем моніторингу рухомих об'єктів і програмно-технічної архітектури комплексної імітаційної моделі для дослідження ефективності ПР СМРО» викладено в одній книзі в 5-и розділах.

У розділі 1 «Підхід до оцінки ефективності функціонування просторово-розподілених систем моніторингу рухомих об'єктів. Визначення показників ефективності» обрано та обґрунтовано підхід до оцінки ефективності функціонування просторово-розподілених СМРО, а також обґрунтовано та обрано показники ефективності функціонування просторово-розподілених СМРО. Показано, що методом дослідження ефективності ПР СМРО є метод імітаційного моделювання.

У розділі 2 «Склад та структура імітаційної моделі для дослідження ефективності функціонування просторово-розподілених СМРО» визначено основні завдання, що вирішуються системою, розроблено концепцію моделювання процесу функціонування розподіленої системи моніторингу рухомих об'єктів, а також склад та функціональну структуру імітаційної моделі.

У розділі 3 «Математичні моделі дій повітряних, наземних, надводних та космічних рухомих об'єктів у просторі та часі» розроблено моделі руху аеродинамічних об'єктів, балістичних (аеробалістичних) об'єктів, а також

наземних, надводних і космічних об'єктів. Крім того, запропоновано рішення зі створення сценаріїв імітації космічної, повітряної, наземної та надводної обстановки, у яких математична формалізація траєкторії руху маневруючих рухомих об'єктів передбачає введення лише точок зміни характеру їх руху (дій) замість задавання усієї траєкторії.

У Розділі 4 «Математичні моделі процесу виявлення рухомих об'єктів і вимірювання їх координат засобами СМРО в умовах впливу навмисних завад» здійснено моделювання процесу функціонування засобів виявлення СМРО в умовах впливу маскуючих завад, пасивних завад. Показано, що одним з ключових моментів при реалізації імітаційної моделі оцінювання ефективності є моделювання процесу виявлення рухомих об'єктів, оскільки всі показники якості інформації, що видаються радіоелектронними засобами (РЕЗ) СМРО, в тій чи іншій мірі залежать від точності відтворення можливостей по виявленню РО.

У Розділі 5 «Методика розрахунку визначених показників ефективності СМРО в умовах навмисних завад з використанням комплексної імітаційної моделі» розроблено функціонально-алгоритмічну схему моделюючого комплексу (МК), а також загальний алгоритм роботи МК у режимах «Моделювання», «Імітація» та «Розрахунок показників ефективності», показано приклад моделювання функціонування угруповання джерел інформації зі складу СМРО. У роботі наведено алгоритми оцінки ефективності основних показників, здійснено верифікацію результатів моделювання дій об'єктів спостереження, а також процесу функціонування джерел інформації.

У Висновках наведено основні результати роботи.

Отримані результати рекомендуються як методична основа для розроблення перспективних СМРО військового призначення, удосконалення існуючих СМРО, а також розроблення вимог до основних напрямків їхнього розвитку. Запропоновані методи та алгоритми обробки інформації в інтересах споживачів можуть удосконалюватись з урахуванням вимог конкретних систем.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОСТОРОВО-РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	16
1.1 Загальні положення.....	16
1.2 Вибір та обґрунтування підходу до оцінки ефективності функціонування просторово-розподілених СМРО.....	20
1.3 Обґрунтування та вибір показників ефективності функціонування просторово-розподіленої СМРО.....	25
1.4 Висновки до розділу 1.....	27
РОЗДІЛ 2. СКЛАД ТА СТРУКТУРА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОСТОРОВО- РОЗПОДІЛЕНИХ СМРО.....	29
2.1 Призначення імітаційної моделі. Основні завдання, що вирішуються...29	
2.2 Концепція моделювання процесу функціонування розподіленої системи моніторингу рухомих об'єктів.....	30
2.2.1 Особливості застосування імітаційного моделювання для дослідження складних систем.....	31
2.2.2 Технологія імітаційного моделювання.....	33
2.3 Склад та функціональна структура імітаційної моделі.....	34
2.3.1 Модуль управління ІМ.....	36
2.3.2 Модуль імітації зовнішнього середовища.....	37
2.3.3 Модуль представлення результатів моделювання.....	40
2.3.4 Модуль оптимізації топології ПР СМРО.....	40
2.3.5 Модуль оцінки показників ефективності ПР СМРО.....	42
2.3.6 База даних ІМ.....	42
2.4 Висновки до розділу 2.....	43
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДІЙ ПОВІТРЯНИХ, НАЗЕМНИХ, НАДВОДНИХ ТА КОСМІЧНИХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ У ПРОСТОРИ ТА ЧАСІ.....	46
3.1 Математична формалізація руху аеродинамічних об'єктів.....	46
3.2 Математична формалізація руху балістичних (аеробалістичних) об'єктів	61
3.3 Особливості формалізації руху повітряних об'єктів, що рухаються з огинанням рельєфу.....	68
3.4 Математична формалізація наземних, надводних і космічних об'єктів.73	
3.4.1 Математична формалізація руху наземних об'єктів.....	73
3.4.2 Математична формалізація руху надводних об'єктів.....	75

3.4.3	Моделювання руху космічних об'єктів.....	77
3.5	Рішення по створенню сценаріїв імітації космічної, повітряної, наземної та надводної обстановки.....	81
3.6	Висновки до розділу 3.....	82
РОЗДІЛ 4. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ВИЯВЛЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ І ВИМІРЮВАННЯ ЇХ КООРДИНАТ ЗАСОБАМИ СМРО В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД.....		84
4.1	Моделювання процесу функціонування засобів виявлення СМРО в умовах впливу активних маскуючих завад.....	84
4.1.1	Загальна структурна схема моделювання процесу функціонування засобів виявлення СМРО в умовах впливу завад.....	85
4.1.2	Формалізація задачі моделювання засобів виявлення рухомих об'єктів.....	87
4.1.3	Модель контрастності об'єкта виявлення та характеристик спрямованості антени ЗВ.....	92
4.1.4	Методика моделювання функціонування ЗВ в умовах радіопротидії.....	102
4.2	Моделювання процесу функціонування засобів виявлення СМРО в умовах впливу пасивних завад.....	104
4.3	Висновки до розділу 4.....	116
РОЗДІЛ 5. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВИЗНАЧЕНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СМРО В УМОВАХ НАВМИСНИХ ЗАВАД З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНОЇ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ.....		117
5.1	Моделювання ієрархічної та мережевої структури угруповання СМРО.....	117
5.1.1	Функціонально-алгоритмічна схема МК.....	118
5.1.2	Загальний алгоритм роботи МК у режимі «Моделювання».....	122
5.1.3	Моделювання функціонування угруповання джерел інформації зі складу СМРО.....	127
5.2	Алгоритми оцінки ефективності функціонування підсистем моніторингу СМРО.....	129
5.2.1	Алгоритм розрахунку середнього рубежу виявлення рухомих ОС та середнього рубежу початку видачі трасової інформації.....	130
5.2.2	Алгоритм розрахунку середнього часу зав'язки (автозахоплення) траси рухомого об'єкта.....	133
5.2.3	Алгоритм розрахунку показників ефективності проведення трас рухомих об'єктів, середнього часу безперервного супроводу та середньої тривалості розривів трас.....	136
5.2.4	Алгоритм розрахунку середньоквадратичних помилок визначення (оцінки) координат ОС.....	141
5.3	Результати оцінки ефективності СМРО в умовах завад.....	143
5.3.1	Верифікація моделей руху ОС, що використовуються в МК.....	143
5.3.2	Верифікація моделей ДІ, що використовуються в МК.....	147
5.4	Висновки до розділу 5.....	150

ВИСНОВКИ.....	152
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	156