

УДК 004.5  
МПК 6 G11  
№ держреєстрації 0118U001913  
Інв. №

Національна академія наук України  
Інститут проблем реєстрації інформації (ІПРІ НАН України)

03113, м.Київ, вул. М. Шпака, 2; тел. (044) 456 83 89; E-mail: vvp@ipri.kiev.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Директор ІПРІ НАН України  
академік НАН України

\_\_\_\_\_ В.В. Петров

ЗВІТ  
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ  
«Розробити і дослідити способи, методи і засоби аналізу й підвищення  
живучості систем організаційного управління високотехнологічних об'єктів і  
критичних інфраструктур»  
(«DOMOS – 2018»)  
(заключний)

Науковий керівник НДР:  
завідувач відділу  
д-р техн. наук, професор

О.Г. Додонов

2019.12.31

Рукопис закінчено 23 грудня 2019 року. Результати роботи розглянуті та схвалені Вченою Радою ІПРІ НАН України, протокол №16 від 24.12.2019.

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР (заключний): у 3-х частинах, 136+138+162 с., 30+43+22 рис., 0+5+9 табл., 42+33+128 джерел.

**Тема:** «Розробити і дослідити способи, методи і засоби аналізу й підвищення живучості систем організаційного управління високотехнологічних об'єктів і критичних інфраструктур»

**Державний реєстраційний номер теми:** 0118U0011913

**Об'єкт дослідження:** автоматизовані системи організаційного управління високотехнологічних об'єктів і критичних інфраструктур

**Мета роботи:** Розвиток теоретичних основ створення комп'ютерних моделей та технологій для розробки, впровадження та супроводу автоматизованих систем організаційного управління з розвинутими механізмами підтримки живучості й сталості функціонування високотехнологічних об'єктів та критичних інфраструктур.

**Методи дослідження:** системний аналіз, методи математичного та імітаційного моделювання, теорії графів і мереж, теорії ймовірностей.

**Основні результати:** Обґрунтовано необхідність підвищення живучості систем організаційного управління (СОУ) високотехнологічних об'єктів (ВО) і критичних інфраструктур (КІ) для гарантування керованості ВО й КІ в умовах появи і реалізації загроз. Запропоновано методи моніторингу стану об'єктів критичних інфраструктур (ОКІ), умов їх функціонування, що дозволяють спрогнозувати і виявити загрози інфраструктурі та ВО. Розроблено механізми підвищення живучості СОУ ОКІ, впровадження яких унеможливило втрату керованості ВО та ОКІ навіть в умовах розвитку надзвичайних ситуацій на об'єктах. Запропоновано методологію створення автоматизованих СОУ ОКІ із застосуванням спеціалізованих моделюючих комплексів для відпрацювання проектних рішень, методик дій в штатних і нештатних режимах функціонування СОУ, напрацювання аналітичного ресурсу, навчання й тренажу управлінців.

Результати фундаментальних та прикладних досліджень впроваджено у розробках інформаційно-керуючих систем спеціального призначення, зокрема: комп'ютерних моделюючих комплексів для командних систем управління, системах управління високотехнологічними об'єктами. Результати НДР застосовувались при аналізі порушень у процесах управління на високотехнологічних та життєво небезпечних об'єктах; для напрацювання засобів передбачення та запобігання виникненню надзвичайних ситуацій у критичних інфраструктурах; при розробці засобів підвищення інформаційної безпеки в СОУ.

СИСТЕМА ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ,  
ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ, КРИТИЧНІ ІНФРАСТРУКТУРИ,  
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЖИВУЧІСТЬ.

Умови отримання звіту: за договором.

ІПРІ НАН України, вул. М. Шпака, 2, м. Київ, Україна, 03113

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК І ТЕРМІНІВ.....	13
---	----

### ЧАСТИНА I

#### ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І КРИТИЧНИХ ІНФРАСТРУКТУР

ВСТУП.....	15
1 Дослідження особливостей функціонування систем організаційного управління об'єктів критичних інфраструктур (СОУ ОКІ).....	16
1.1 Організаційне управління і системи організаційного управління високотехнологічними об'єктами і критичними інфраструктурами .....	16
1.2 Функції, задачі і властивості системи організаційного управління.....	25
1.3 Аналіз безпеки критичних інфраструктур і завдання автоматизованих систем організаційного управління .....	31
1.3.1 Основні підходи до оцінки ризиків для критичних систем.....	31
1.3.2 Особливості моделювання критичних інфраструктур в умовах інформаційних впливів.....	33
1.3.3 Завдання автоматизованих СОУ по забезпеченню безпеки ВО і критичних інфраструктур.....	38
1.4 Механізми живучості в системах організаційного управління .....	45
1.5 Оцінка живучості СОУ ОКІ у рамках проблеми безпеки функціонування критичних інфраструктур .....	49
1.6 Приклад застосування механізмів підвищення живучості для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління авіаційним комплексом .....	53
2 Розробка сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій на ОКІ та забезпечення функціональної стійкості автоматизованої СОУ ОКІ в цих умовах .....	69
2.1 Сценарне моделювання надзвичайних ситуацій: базові положення.....	69

2.2	Проблемні питання при розробці сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій на ОКІ.....	75
2.3	Дослідження впливу антропогенного фактору на забезпечення стійкого функціонування СОУ ОКІ.....	78
2.3.1	Антропогенні джерела загроз стійкому функціонуванню СОУ ОКІ.....	81
2.3.1.1	Класифікація основних джерел загроз.....	81
2.3.1.2	Ранжування джерел загроз.....	84
2.3.1.3	Роль та діяльність людини в автоматизованих СОУ ОКІ....	88
2.3.1.4	Показники діяльності оператора та критерії її оцінки.....	91
2.3.2	Моделювання, моніторинг і аналіз поведінки та діяльності людини при виконанні автоматизованих функцій управління в СОУ ОКІ як складові комплексу засобів забезпечення живучості автоматизованих СОУ ОКІ.....	94
2.3.2.1	Забезпечення стійкого функціонування автоматизованої СОУ ОКІ шляхом зменшення негативного впливу антропогенного фактору.....	94
2.3.2.2	Математична модель динаміки медичних та професійних показників оператора.....	95
2.3.2.3	Використання результатів оцінки антропогенного фактору при виборі механізмів забезпечення живучості для підвищення функціональної стійкості СОУ ОКІ.....	100
2.4	Побудова сценарію розвитку надзвичайної ситуації у процесі управління критичним об'єктом і відновлення управління механізмами забезпечення живучості автоматизованої СОУ.....	105
2.4.1	Мета сценарного моделювання.....	106
2.4.2	Загальні положення технології управління польотами і посадкою на плавучій платформі .....	107
2.4.3	Сценарій моделювання нештатної ситуації у процесі посадки ЛАК «вихід з ладу АРМ керівника візуальної посадки» та її	

відпрацювання.....	109
2.5 Моделювання механізму забезпечення живучості автоматизованої СОУ в умовах НС .....	128
3 Методологічні питання та рекомендації щодо створення та впровадження автоматизованих СОУ високотехнологічних об'єктів і критичних інфраструктур .....	132
Висновки до частини I.....	144
Перелік джерел посилання до частини I.....	147

## ЧАСТИНА II

### РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ТА ФАКТОРІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ СТАН І УМОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОУ ОКІ

ВСТУП.....	151
1. Визначення проблемних питань моніторингу показників і факторів, що характеризують стан і умови функціонування СОУ.....	152
1.1 Особливості задачі визначення переліку показників і факторів, що підлягають моніторингу в СОУ ОКІ.....	152
1.2 Аналіз особливостей показників та факторів, що характеризують стан та умови функціонування СОУ ОКІ.....	152
1.3 Узагальнена постановка задачі моніторингу показників та факторів функціонування СОУ ОКІ із метою забезпечення її живучості.....	159
1.4 Аналіз існуючих методів обробки даних щодо показників та факторів, які підлягають моніторингу у СОУ ОКІ.....	165
1.5 Аналіз загальних особливостей СОУ, побудованих за мережецентричною архітектурою. Переваги та недоліки мережецентричної архітектури.....	174
1.6 Особливості обробки інформації в СОУ із мережецентричною архітектурою.....	187

Висновки до розділу 1.....	190
2 Дослідження та розробка методів збору, обробки та агрегування показників та факторів, що визначають стан та умови функціонування СОУ ОКІ .....	196
2.1 Методи збору даних щодо показників та факторів.....	196
2.1.1 Особливості задачі збору показників та підходи до її вирішення .....	196
2.1.2 Формування значень кількісних показників за даними багатьох вимірювань одним засобом .....	203
2.1.3 Підвищення точності оцінки значення параметру, значення якого змінюється стрибкоподібно.....	212
2.1.4 Формування значень якісних показників .....	215
2.2 Методи об'єднання значень показників та факторів, що підлягають моніторингу в СОУ ОКІ.....	222
2.2.1 Формування об'єднаних значень кількісних показників за даними багатьох вимірювань множиною засобів.....	224
2.2.2 Формування об'єднаних значень якісних показників за даними багатьох джерел інформації.....	232
2.2.2.1 Комплексування значень числових показників.....	235
2.2.2.2 Комплексування значень числових діапазонних та лінгвістичних показників.....	240
2.2.2.3 Зведення розрахованого значення достовірності показника до «стандартних» значень.....	244
2.2.2.4 Встановлення «м'якого» пріоритету джерелам інформації.....	247
2.3 Методи агрегування (згортки) значень показників, що характеризують функціонування системи.....	248
2.3.1 Згортка значень числових показників.....	249
2.3.1.1 Види згорткових функцій.....	249
.....	252

2.3.1.2 Обчислення згортки числових показників.....	
2.3.1.3 Згортка значень числових діапазонних та якісних показників .....	254
2.3.2 Використання нечіткого інтегрування для агрегування показників.....	256
2.4 Дослідження та розробка підходів до формування моделей виявлення загроз стійкому функціонуванню СОУ ОКІ.....	259
2.4.1 Загальна методика виявлення (розпізнавання) загроз стійкому функціонуванню СОУ ОКІ.....	260
2.4.2 Формування нечітких еталонів загроз стійкому функціонуванню СОУ ОКІ та процедура «впізнавання» (виявлення) загроз.....	262
2.5 Висновки до розділу 2.....	277
Висновки до частини II.....	286
Перелік джерел посилання до частини II.....	

### **ЧАСТИНА III**

#### **МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНЕ УПРАВЛІННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ТА КРИТИЧНИМИ ІНФРАСТРУКТУРАМИ**

ВСТУП.....	289
1 Мережецентричне управління ВО і критичними інфраструктурами.....	291
1.1 Наукові засади створення мережецентричних СОУ ОКІ.....	291
1.1.1 Парадигма мережецентричного управління.....	297
1.1.2 Базові положення мережецентричного підходу.....	300
1.1.3 Особливості мережецентричного підходу.....	303
1.1.4 Синергетичний ефект в межах мережецентричного підходу.....	305
1.1.5 Мережецентричний підхід до управління високотехнологіч-	

ними об'єктами та критичними інфраструктурами.....	306
1.1.6 Основні проблеми застосування мережецентричних СОУ.....	308
1.1.7 Мультиагентний підхід до реалізації принципів мережецентричного управління.....	312
1.1.8 Формалізація і постановка завдання визначення взаємного впливу компонентів в мережецентричній моделі СОУ ОКІ.....	313
1.1.8.1 Декомпозиція основних компонентів і визначення їх взаємного впливу в мережецентричній моделі СОУ ОКІ.....	313
1.1.8.2 Координація компонентів СОУ ОКІ шляхом урахування їх взаємодії.....	330
1.1.8.3. Дослідження взаємодії компонентів СОУ ОКІ на базі рекурентної моделі.....	334
1.1.9 Побудова мережецентричної СОУ ОКІ.....	341
1.1.9.1 Проектування мережецентричної СОУ ОКІ.....	341
1.1.9.2 Забезпечення безперебійної роботи мережецентричної СОУ.....	345
1.1.9.3 Задача формування конфігурації мережецентричної СОУ ОКІ.....	349
1.1.9.4 Діагностика мережецентричної СОУ ОКІ.....	354
1.1.9.5 Кіберстійкість як показник живучості.....	356
1.1.9.6 Концептуальні засади моделювання роботи СППР щодо забезпечення живучості СОУ ОКІ.....	358
1.1.10 Переваги й недоліки мережецентричного підходу.....	366
1.1.11 Порівняльна оцінка мережецентричного і ієрархічного методів управління.....	369
1.2 Засоби управління ресурсами СОУ ОКІ.....	374
1.2.1 Розробка метапланувальника виконання задач у СОУ ОКІ.....	274
1.2.2 Функціонування метапланувальника задач СОУ ОКІ.....	376
1.2.3 Структурна схема локального агента даних (ЛІАД).....	377
1.2.4 Структура метапланувальника задач у СОУ ОКІ.....	379



1.2.5 Розробка планувальника СОУ ОКІ.....	381
1.2.6 Розробка планувальника СОУ ОКІ ієрархічного типу.....	383
1.2.7 Розробка планувальника СОУ ОКІ на базі мережецентричного підходу.....	385
1.2.8 Оцінювання стану кібервразливості критичних інфраструктур на прикладі систем електропостачання.....	388
1.3 Механізми забезпечення адекватності СОУ ОКІ в умовах надзвичайних ситуацій.....	403
1.3.1 Системи управління реагуванням на надзвичайні ситуації в СОУ ОКІ.....	403
1.3.2 Вимоги до оперативного управління процесом ліквідації надзвичайних ситуацій в СОУ ОКІ.....	409
1.3.3 Мультиагентні технології в завданнях формування сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій на ОКІ.....	413
1.3.4 Формалізація завдання переходу від опису вихідної структури СОУ ОКІ до її математичної моделі.....	414
1.3.5 Оцінка живучості системи за її станом.....	419
1.3.6 Оцінка живучості СОУ ОКІ за результатами виконання завдання.....	425
1.3.7 Оцінка живучості СОУ ОКІ за ціллю функціонування.....	426
Висновки до частини III.....	431
Перелік джерел посилання до частини III.....	435