

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ М. Є. ЖУКОВСЬКОГО
«ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПОНОЧОВНИЙ ЮРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

УДК [629.78.05.017.1+004.777.052.3+621.311.25:621.039.58](043)

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-
КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ З БАГАТОЦІЛЬОВИМ ОБСЛУГОВУВАННЯМ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології
Галузь знань 12 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

*Ідентифікований
змістом першого
примірного
дисертації завідувачем
Вченої секрета
спеціалізації
вченої ради Д-04.050.07*



Ю.Л. Ю.Л. Поночовний

Науковий консультант
Харченко Вячеслав Сергійович,
доктор технічних наук, професор

Ю.Л. Юрій ДОРОФЕЄВ

Харків – 2021

04.02.2021.

АНОТАЦІЯ

Поночовний Ю. Л. Методологічні основи та інформаційні технології забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем з багатоцільовим обслуговуванням. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології (12 – Інформаційні технології). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021 р.

Об'єкт дослідження – гарантоздатні інформаційно-керуючі системи, процеси забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем, що функціонують в умовах змін вимог, параметрів фізичного та інформаційного середовища, прояву неспецифікованих дефектів й атак на вразливості.

Предмет дослідження – методологічні основи, інформаційна технологія оцінювання та забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем при багатоцільовому обслуговуванні.

Докторська дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, що містить розв'язання важливої науково-прикладної проблеми розроблення методологічних основ та інформаційних технологій забезпечення гарантоздатності та підвищення точності її оцінювання для обслуговуваних або частково обслуговуваних інформаційно-керуючих систем в умовах їх еволюції внаслідок зміни вимог і параметрів фізичного та інформаційного середовища, виникнення неспецифікованих відмов через програмно-апаратні дефекти й атаки на вразливості.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, особистий внесок здобувача в розробку теми дисертаційної роботи. Наведено дані щодо впровадження результатів дисертаційних досліджень, їх апробацію та публікації.

Перший розділ містить аналіз концептуальних підходів до визначення

поняття гарантоздатності та змісту її складових підвластивостей. Визначено, що і тлумачення терміну, і набір первинних властивостей залежать від області застосування інформаційно-керуючих систем, режимів їх експлуатації та видів обслуговування. Запропоновано визначити гарантоздатність як здатність системи виконувати задані функції (надавати потрібні послуги), зберігаючи у часі рівень її визначених показників в заданих межах і умовах експлуатації, а також при зміні вимог, параметрів середовища та виникнення неспецифікованих відмов.

Проаналізовано основні концепції забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем різних галузей застосування (космічних апаратів, вебсервісів, розумних будинків, систем аварійного захисту АЕС). Визначено компоненти архітектури інформаційно-керуючих систем, режими роботи, види відмов (у тому числі і неспецифікованих, зумовлених атаками на вразливості) та процедури багатоцільового обслуговування, які направлені на завчасну (попереджувальну) протидію причинам відмов та усунення їх наслідків.

Другий розділ присвячений розробленню методологічних основ забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем з багатоцільовим обслуговуванням. Запропоновано концепцію забезпечення гарантоздатності обслуговуваних інформаційно-керуючих систем, яка базується на розвитку парадигми Дж. Фон-Неймана – побудови гарантоздатних систем з недостатньо надійних і безпечних компонентів в умовах їх еволюції при багатоцільовому обслуговуванні, і принципи: врахування зміни вимог, процесів оновлення та параметрів фізичного та інформаційного середовища протягом життєвого циклу; адаптації до різних видів відмов, включаючи комбіновані відмови внаслідок фізичних і проєктних дефектів, дефектів старіння, атак на вразливості програмно-апаратних засобів, а також внаслідок впливу змін; багатоцільового обслуговування з метою комплексного забезпечення надійності і безпечності; що надало змогу обґрунтувати структуру і взаємозв'язки моделей та методів оцінювання і вибору стратегій та параметрів їх обслуговування, а також методів підвищення

показників гарантоздатності систем в цілому.

Розроблено стратегії багатоцільового обслуговування інформаційно-керуючих систем, які, на відміну від відомих, базуються на теоретико-множинному описі варіантів обслуговування з урахуванням типів, процесів, властивостей та параметрів для розрахунку показників гарантоздатності і визначають взаємозв'язки між ними, що дозволяє зменшити модельну невизначеність та обґрунтувати вибір засобів для забезпечення гарантоздатності на різних етапах життєвого циклу.

У третьому розділі шляхом розширення простору станів концептуальної моделі гарантоздатних інформаційно-керуючих систем проаналізовані варіанти сценаріїв проведення процедур багатоцільового обслуговування. Одержано системну модель процедур багатоцільового обслуговування, яка, на відміну від відомих, описує множину станів і взаємозв'язки між процесами тестування, онлайн-верифікації та оновлення в рамках базових фрагментів та зв'язки між ними, формує множину багатофрагментних моделей інформаційно-керуючих систем з оновлюваним програмним забезпеченням, яке змінює функції системи відповідно до нових вимог, що дозволяє уніфікувати графічне представлення процедур обслуговування та підвищити гарантоздатність систем на етапі функціонування та супроводу.

Удосконалено метод визначення параметрів гарантоздатних інформаційно-керуючих систем, який базується на статистичній обробці даних про зміни, події та відмови і містить процедури об'єднання даних різних репозиторіїв та пошуку оптимального закону розподілу, що підвищує комплексність та точність оцінювання показників гарантоздатності.

Четвертий розділ присвячений моделюванню інформаційно-керуючих систем з процедурами патчеризації, онлайн-верифікації та профілактичного тестування. Для моделювання процесів встановлення патчів розроблено багатофрагментні моделі корпоративного вебсервісу та системи автоматизації будинку. Побудовано та досліджено типові багатофрагментні моделі оцінювання гарантоздатності, які описують проведення процедур онлайн-верифікації для інформаційно-керуючих систем космічних апаратів. Як

приклад інформаційно-керуючої системи, в якій профілактичне тестування направлене на виявлення та усунення прихованих відмов, розглянуто систему аварійного захисту реактора.

Удосконалено багатофрагментні моделі оцінювання готовності інформаційно-керуючих систем за умов виникнення неспецифікованих відмов, атак на вразливості та зміни параметрів середовища шляхом врахування процедур патчеризації, онлайн-верифікації та профілактичного тестування, а також уніфікації формування множин однотипних станів і переходів між ними, що дозволяє описати поведінку систем у вигляді регулярних марковських графів та підвищити точність оцінювання показників готовності й гарантоздатності.

У п'ятому розділі розроблено моделі гарантоздатних інформаційно-керуючих систем, у яких відсутні обмеження на використання детермінованих подій, а також потоків подій з довільними законами розподілу, що описують зміни вимог, параметрів середовища чи прояв неспецифікованих відмов. Вперше розроблено мультифазну модель оцінювання гарантоздатності інформаційно-керуючої системи, яка, на відміну від відомих, враховує різні стратегії обслуговування з детермінованими періодами і випадковою тривалістю обслуговування, відновлення при відмовах і атаках на систему та її програмно-апаратні компоненти, що дозволяє усереднити показники неготовності та функційної безпечності з заданою похибкою відносно рівня специфікованих вимог.

Удосконалено імітаційні моделі оцінювання гарантоздатності інформаційно-керуючих систем шляхом комплексування з аналітичними моделями і використання запропонованих процедур статистичного оцінювання розподілу результуючих показників для визначення кількості розіграшів, що дозволяє зменшити відхилення (підвищити збіжність) показників гарантоздатності та перевірити адекватність аналітичних моделей.

У шостому розділі представлено удосконалений метод вибору параметрів процедур обслуговування для забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем, який на відміну від відомих, враховує різні

варіанти проведення процедур багатоцільового обслуговування з усуненням дефектів і вразливостей та дозволяє визначити раціональні моменти проведення роздільного або змішаного обслуговування задля підвищення надійності та безпечності і забезпечити необхідний рівень гарантоздатності.

Розроблено інформаційні технології оцінювання показників гарантоздатності критичних інформаційно-керуючих систем при багатоцільовому обслуговуванні та вибору параметрів стратегії багатоцільового обслуговування. Описано інструментальні засоби процесів підтримки інформаційних технологій, розроблені у ході дисертаційних досліджень. Виконано узагальнений аналіз результатів практичного впровадження розроблених методології, моделей і методів, а також отриманих на їх основі інформаційних технологій та інструментальних засобів.

Отримані результати апробовано та впроваджено в організаціях, які займаються проектуванням та супроводом гарантоздатних інформаційно-керуючих систем, зокрема, ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Радікс»» ТОВ «Поларіс-2006», НВП «Радій» і НТ СКБ «Полісвіт» Державного НВП «Об'єднання Комунар»; а також у навчальний процес Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» та інших закладів вищої освіти України.

Ключові слова: гарантоздатна інформаційно-керуюча система, багатоцільове обслуговування, надійність, готовність, функційна безпечність, кібербезпека.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

[1] В. С. Харченко, О. Н. Одарущенко, Ю. Л. Поночовний, Е. Б. Одарущенко и др., *Технологии высокой готовности для программно-технических комплексов космических систем*: монографія, под ред. В. С. Харченко, Б. М. Конорева, Харьков, Украина: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2010.

[2] A. Boyarchuk, V. Kharchenko, O. Odarushchenko and Y. Ponochovny.

“Basic Models for Dependable Web-Services: Technique for Development and Research”, in *Dependability of Networks*: collective monograph, T. Walkowiak, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, W. Zamojski, Eds. Wroclaw, Poland: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2010, pp. 27-38.

[3] Ю. Л. Поночовный и Е. Б. Одарущенко, “Имитационное моделирование процесса оценки надежности отказоустойчивых компьютерных систем информационно-управляющих комплексов”, *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. № 7, с. 68-74, 2007.

[4] А. А. Фурманов, В. С. Харченко и Ю. Л. Поночовный, “Метрики диверсности web-приложений с учётом уязвимостей”, *Вісник Хмельницького національного університету*, №4, с. 239-244, 2008.

[5] Ю. Л. Поночовный и А. О. Ивасюк, “Имитационное моделирование потоков злонамеренных воздействий на информационные системы”, *Системи обробки інформації*, Вип. 3, с. 123-125, 2008.

[6] Ю. Л. Поночовный, “Вибір методу комплексування показників надійності компонент інформаційних систем за похибкою, що вноситься”, *Системи озброєння і військова техніка*, № 4, с. 156-158, 2008.

[7] А. В. Боярчук, Ю. Л. Поночовный и В. С. Харченко, “Разработка и исследование базовых моделей отказоустойчивых Web-сервисов”, *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 5. с. 42-49, 2010.

[8] В. С. Харченко, М. В. Замирець, С. О. Засуха та Ю. Л. Поночовный, “Элементы методологии оперативной коригувальної верифікації програмних засобів інформаційно-управляючих систем космічних апаратів”, *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, № 6, с. 81-95, 2011.

[9] С. А. Засуха и Ю. Л. Поночовный, “Модель готовности двухканальной информационно-управляющей системы космического аппарата с оперативной верификацией программных средств”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 2, с. 144-149, 2011.

[10] С. А. Засуха, Ю. Л. Поночовный и В. С. Харченко, “Методология оперативной верификации программного обеспечения космических систем: модели готовности и выбор сценариев”, *Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна*,

№ 1015, вип. 19, с. 131-147, 2012.

[11] Ю. Л. Поночовный, С. А. Засуха и В. С. Харченко, “Исследование имитационных моделей готовности двухканальной информационно-управляющей системы космического аппарата”, *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 7, с. 41-47, 2012.

[12] А. М. Абдул-Хади, Ю. Л. Поночовный и В. С. Харченко, “Разработка базовых марковских моделей для исследования готовности коммерческих веб-сервисов”, *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 5, с. 186-191, 2013.

[13] В. С. Харченко, А. М. Абдул-Хади и Ю. Л. Поночовный, “Формирование подмножеств уязвимостей доступности коммерческих веб-сервисов”, *Системи обробки інформації*, Вип. 7, с. 112-115, 2013.

[14] Ю. Н. Соколов, В. С. Харченко и Ю. Л. Поночовный, “Инструментированное оценивание надежности программно-технических комплексов при росте интенсивности отказов”, *Системи обробки інформації*, Вип. 2, с. 205-211, 2014.

[15] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi and A. Boyarchuk, “Availability Assessment of Information and Control Systems with Online Software Update and Verification”, *Communications in Computer and Information Science*, vol. 469. pp. 300-324, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-13206-8_15.

[16] Ю. Л. Поночовный, А. А. Сиора и В. С. Харченко, “Модели готовности двухканальной информационно-управляющей системы с учетом обновления программных средств”, *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 6, с. 135-139, 2014.

[17] Ю. Л. Поночовный, В. С. Харченко, Т. П. Межиборец, К. А. Ревенко и К. А. Шуст, “Применение дискретных законов распределения в модели доступности информационного ресурса с профилактическими мерами аудита безопасности”, *Системи обробки інформації*, Вип. 9, с. 111-114, 2014.

[18] Ю. Л. Поночовный, А. В. Боярчук и В. С. Харченко, “Модели готовности веб-системы с учетом программных отказов и атак на уязвимости

конфигурации службы DNS”, *Системи обробки інформації*, Вип. 7, с. 122-127, 2015.

[19] Ю. Л. Поночовний, А. В. Боярчук и В. С. Харченко, “Имитационное моделирование веб-системы при атаках на уязвимости компонент и конфигураций”, *Системи обробки інформації*, Вип. 8, с. 102-105, 2015.

[20] Ю. Л. Поночовний, А. В. Боярчук и В. С. Харченко, “Многофрагментные марковские модели отказоустойчивых Web-сервисов с устранением проектных дефектов”, *Системи обробки інформації*, Вип. 11, с. 140-145, 2015.

[21] В. С. Харченко, Ю. Л. Поночовний, А. А. Фурманов и К. А. Васильев, “Модели развития уязвимостей IT-продуктов: патологические цепочки в контексте марковского анализа”, *Системи обробки інформації*, Вип. 12, с. 114-119, 2015.

[22] А. О. Ивасюк, Ю. Л. Поночовний и Е. Н. Бульба, “Процедуры тестирования модулей информационно-управляющих систем на основе самодиагностируемых программируемых платформ с использованием засева дефектов”, *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 6, с. 82-87, 2016.

[23] В. С. Харченко, Ю. Л. Поночовний, К. С. Вшивцева та К. Д. Безугла, “Розрахунок показників безвідмовності для IT-систем з хмарною послугою NaaS”, *Системи обробки інформації*, Вип. 9, с. 177-181, 2016.

[24] В. С. Харченко, Мустафа Кахтан Абдулмунем Аль-Судани и Ю. Л. Поночовний, “Марковские модели готовности информационно-управляющей системы "умного" дома при раздельном и общем обслуживании по надежности и безопасности”, *Системи управління, навігації та зв'язку*, Вип. 4, с. 88-94, 2015.

[25] Мустафа Кахтан Абдулмунем Аль-Судані, В. С. Харченко та Ю. Л. Поночовний, “Метод мінімізації часу усунення дефектів і вразливостей в інформаційно-управляючій системі "розумного" будинку при загальному обслуговуванні по надійності і безпеці”, *Вісник ХНТУ ім. П. Василенка*,

Вип. 176, с. 63-65, 2016.

[26] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A.-S. M. Q. Abdulmunem and A. Boyarchuk, “Security and availability models for smart building automation systems”, *Computing*, Vol. 16, Issue 4, pp. 194-202, 2017.

[27] В. С. Харченко, Ю. Л. Поночовний, А. В. Боярчук, І. О. Черницька та В. С. Воронянський, “Оцінювання готовності інформаційно-керуючої системи космічного апарату з усуненням програмних дефектів після проведення оперативної онлайн-верифікації”, *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*, № 3, с. 49-55, 2017.

[28] Ю. Л. Поночовний, С. Ю. Рогочий, О. І. Шарай, В. О. Кнуренко та В. С. Воронянський, “Дослідження баз вразливостей для параметризації марковських моделей оцінювання доступності веб-ресурсів”, *Системи та технології*, № 1, с. 68-80, 2019. doi: 10.32836/2521-6643-2019-1-57-5.

[29] Ю. Л. Поночовний, “Аналіз концепцій управління кібербезпекою розподілених ІТ інфраструктур”, *Системи та технології*, № 2, с. 87-101, 2019. doi: 10.32836/2521-6643-2019-2-58-5.

[30] V. Kharchenko, S. Dotsenko, Y. Ponochovnyi and O. Iliashenko, “Cybernetic Approach to Developing Resilient Systems: Concept, Models and Application”, *Information & Security*, vol. 47, Issue 1, pp. 77-90, 2020. doi: 10.11610/isij.4705.

[31] Ю. Л. Поночовний та В. С. Харченко, “Методологія забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем з використанням багатоцільових стратегій обслуговування”, *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*, № 3, с. 43-58, 2020. doi: 10.32620/reks.2020.3.05.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

[32] Ю. Л. Поночовний, С. В. Волошко та А. В. Боярчук, “Дослідження відмовостійких web-сервісів”, на *VI наук.-практ. сем. Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення*, Київ, 2011, с.164.

[33] V. Kharchenko, A.M. Abdul-Hadi, A. Boyarchuk and Y. Ponochovny,

“Web Systems Availability Assessment Considering Attacks on Service Configuration Vulnerabilities”, In *IX Int. Conf. on Dependability and Complex Systems*. Brunów, Poland, 2014, pp. 275-284. doi: 10.1007/978-3-319-07013-1_26.

[34] V. Kharchenko, Y. Ponochovny, A. Boyarchuk and A. Gorbenko, “Scenario-Based Markovian Modeling of Web-System Availability Considering Attacks on Vulnerabilities”, In *XI Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Applications*, Lviv, 2015, pp. 566-577.

[35] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Boyarchuk and E. Brezhnev, “Resilience Assurance for Software-Based Space Systems with Online Patching: Two Cases”, In *XI Int. Conf. on Dependability and Complex Systems*, Brunów, Poland, 2016, pp. 267-278. doi: 10.1007/978-3-319-39639-2_23.

[36] Y. Bulba, Y. Ponochovny, V. Sklyar and A. Ivasiuk, “Classification and Research of the Reactor Protection Instrumentation and Control System Functional Safety Markov Models in a Normal Operation Mode”, In *XII Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Applications*, Kyiv, 2016, pp. 308-321.

[37] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Abdulmunem and A. Andrashov, “Availability Models and Maintenance Strategies for Smart Building Automation Systems Considering Attacks on Component Vulnerabilities”, In *XII Int. Conf. on Dependability and Complex Systems*, Brunów, Poland, 2017, pp. 186-195. doi: 10.1007/978-3-319-59415-6_18.

[38] Ю. Л. Поночовний, “Принцип успадкування характеристик, методів і моделей надійності, функціональної та інформаційної безпеки”, на *69-й наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету*, Полтава, 2017, с.139-140.

[39] Ю. Л. Поночовний, “Принцип динамічного моніторингу і прогнозування параметрів вразливостей компонент ІТ-інфраструктури”, на *VII міжн. наук.-техн. конф. Сучасні напрями розвитку ІКТ та засобів управління*, Кропивницький, 2017, с. 55.

[40] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A.-S.M.Q. Abdulmunem, A. Ivasiuk and O. Ivanchenko, “Model of Information and Control Systems in Smart Buildings

with Separate Maintenance by Reliability and Security”, In *XIV Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Application*, Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 583-595.

[41] Y. Ponochovniy, E. Bulba, A. Yanko and E. Hozbenko, “Influence of diagnostics errors on safety: Indicators and requirements”, In *IX Int. Conf. on Dependable Systems, Services and Technologies*, Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 53-57. doi: 10.1109/DESSERT.2018.8409098.

[42] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Boyarchuk, E. Brezhnev and A. Andrashov, “Monte-Carlo Simulation and Availability Assessment of the Smart Building Automation Systems Considering Component Failures and Attacks on Vulnerabilities”, In *XIII Int. Conf. on Dependability and Complex Systems*, Brunów, Poland, 2018, pp. 270-280. doi: 10.1007/978-3-319-91446-6_26.

[43] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Boyarchuk and A. Andrashov, “Multi-Fragmental Markov Models of Information and Control Systems Safety Considering Elimination of Hardware-Software Faults”, In *XV Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Applications*, Kherson, 2019, pp. 738-748.

[44] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Andrashov, E. Brezhniev and E. Bulba, “Modelling and Safety Assessment of Programmable Platform Based Information and Control Systems Considering Hidden Physical and Design Faults”, In *XIV Int. Conf. on Dependability of Computer Systems*, Brunów, Poland, 2019, pp. 264-273. doi: 10.1007/978-3-030-19501-4_26.

[45] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Boyarchuk, A. Andrashov and I. Rudenko, “Multi-fragmental Markov’s Models for Safety Assessment of NPP I&C System Considering Migration of Hidden Failures”, In *Communications in Computer and Information Science, CCIS-1175*, Kherson, 2020, pp. 302-326. doi: 10.1007/978-3-030-39459-2_14.

[46] V. Kharchenko, Y. Ponochovniy, A. M. Q. Abdulmunem and I. Shulga, “AvTA Based Assessment of Dependability Considering Recovery After Failures and Attacks on Vulnerabilities”, In *X Int. Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, Metz, France, 2019, pp. 1036-1040. doi: 10.1109/IDAACS.2019.8924251.

ABSTRACT

Ponochovnyi Yu. L. Methodological bases and information technologies to assessment the dependability of information and control systems with multi-goal maintenance. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for scientific degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.13.06 “Information Technologies” (12 – Information Technologies). – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Ministry of education and science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The object of research is the dependable information and control systems, processes of ensuring the dependability of information and control systems that operate in conditions of changing requirements, parameters of the physical and information environment, the manifestation of unspecified faults and attacks on vulnerabilities.

The subject of research is the methodological bases, information technology to assessment and ensuring the dependability of information and control systems with multi-goal maintenance.

The doctoral dissertation is a completed research work which contains the solution of an important scientific and applied problem of development methodological bases and information technologies to ensure dependability and increase the accuracy of its assessment for maintained or partially maintained information control systems in terms of their evolution due to changes in requirements and parameters of the physical and information environment, unspecified failures due to software and hardware faults and vulnerabilities.

The introduction validates the relevance of the subject of the dissertation, formulates the purpose and objectives of the research, outlines the scientific novelty and practical value of the results obtained, the personal contribution of the applicant to the development of the subject of the dissertation. The data of the implementation of the results of the dissertation research, their validation and publications are provided.

The first section contains the analysis of the conceptual approaches to defining the dependability and its sub-properties. It is determined that both the interpretation of the term and the set of primary properties depend on the scope of information and control systems, modes of their operation and types of maintenance. It is proposed to define the dependability as the ability of the system to perform specified functions (provide the required services), maintaining over time the level of its defined indicators within the specified limits and operating conditions, as well as changes in requirements, environmental parameters and unspecified failures. The main concepts of ensuring the dependability of information and control systems of various applications (spacecraft, web services, smart houses, emergency protection systems of nuclear power plants) are analyzed. The components of the architecture of information and control systems, modes of operation, types of failures (including unspecified, caused by vulnerability attacks) and multi-goal maintenance procedures, which are aimed at early (preventive) counteraction to the causes of failures and eliminate their consequences.

The second section is devoted to the development of methodological bases for ensuring the dependability of information and control systems with multi-goal maintenance. The concept of ensuring the dependability of maintained information and control systems, based on the development of the paradigm of J. von Neumann “building dependable systems from unreliable and unsafe components in terms of their evolution with multi-goal maintenance”, and the principles of taking into account changing requirements and information environment during the life cycle; adaptation to different types of failures, including combined failures due to physical and design faults, aging faults, attacks on software and hardware vulnerabilities, as well as due to the impact of changes; multi-goal maintenance in order to comprehensively ensure the reliability and security, which allowed to justify the structure and relationships of models and methods of evaluation and selection of strategies and parameters of their maintenance, as well as methods to improve the dependability of systems as a whole.

Strategies for multi-goal maintenance of information and control systems have been developed, which are based on a theoretical-multiple description of maintenance options taking into account types, processes, properties and parameters for calculating dependability indicators and determining relationships between them, which reduces model uncertainty and justify the choice of means to ensure dependability at different stages of the life cycle.

In the third section, by expanding the state space of the conceptual model of dependable information and control systems, the scenarios for multi-goal maintenance procedures are analyzed. A system model of multi-goal maintenance procedures has been obtained. It describes set states and relationships between testing, online verification and update processes within the basic fragments and the relationship between them, forms a set of multi-fragment models of information and control systems with updated software that changes the functions of the system in accordance with the new requirements, which allows you to unify the graphical representation of maintenance procedures and increase the dependability of systems at the stage of operation and support.

Improved method for determining the parameters of dependability information and control systems, which is based on statistical processing of data on changes, events and failures and contains procedures for combining data from different repositories and finding the optimal distribution law, which increases the complexity and accuracy of dependability assessment.

The fourth section is devoted to the modeling of information and control systems with procedures for patching, online verification and proof testing. Multi-fragment models of corporate web service and smart home automation systems have been developed considering patch installation processes. Typical multi-fragment models of dependability assessment are built and studied, which describe the conduct of online verification procedures for information and control systems of spacecraft. As an example of an information and control system in which proof testing is aimed at detecting and eliminating hidden failures, the reactor emergency protection system is considered.

Multi-fragment models of information and control systems were developed to research and assess the availability in the event of unspecified failures, attacks on vulnerabilities and changes in environmental parameters by taking into account the procedures of patching, online verification and proof testing, as well as unification of sets of similar states and transitions between them, systems in the form of regular Markov graphs and increase the accuracy of assessment of availability and dependability.

The fifth section describes models of dependable information and control systems, in which there are no restrictions on the use of deterministic events, as well as event flows with arbitrary distribution laws that describe changes in requirements, environmental parameters or the manifestation of unspecified failures. Multiphase model for assessing the dependability of the information and control system was developed taking into account different maintenance strategies with determined periods and random service duration, recovery in case of failures and attacks on the system and its software and hardware components, functional safety with a given error relative to the level of specified requirements.

Simulation models were developed to assess the dependability of information and control systems by combining with analytical models and using the proposed procedures for statistical evaluation of the distribution of results to determine the number of draws, which reduces deviations (increase convergence) of dependability indicators and verify the adequacy of analytical models.

The sixth section presents an improved method of selecting maintenance procedure parameters to ensure the dependability of information and control systems, which takes into account different options for multi-goal maintenance procedures to eliminate faults and vulnerabilities and allows determining rational moments of separate or mixed maintenance to increase reliability and safety and provide the required level of dependability.

The information technologies of estimation of dependability indicators of critical information and control systems at multi-goal maintenance and a choice of parameters of multi-goal maintenance strategy are developed. The tools of

information technology support processes developed in dissertation research are described. The generalized analysis of results of practical implementation of the developed methodologies, models and methods, and also the information technologies and tools developed on their basis is executed.

The obtained results were probated and implemented in projects of dependable information and control systems. Results were implemented in the practice of enterprises and organizations, in LLC "Research and Production Enterprise "Radix"", LLC "Polaris-2006", RPE "Radiy" and Scientific and Technical Special Design Bureau "Polisvit" of RPE "Communar"; as well as in the educational process of the National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute" and other institutions of higher education in Ukraine.

Keywords: dependable information and control system, multi-goal maintenance, reliability, availability, functional safety, cybersecurity.

LIST OF APPLICANT PUBLICATIONS

Scientific papers, in which the main results of the dissertation are published:

[1] V. S. Kharchenko, O. N. Odarushchenko, Yu. L. Ponochovniy, E. B. Odarushchenko et al., *Tekhnologii vysokoy gotovnosti dlya programmno-tekhnicheskikh kompleksov kosmicheskikh sistem: monografiya*, in ed. V. S. Kharchenko, B. M. Konoreva, Kharkiv, Ukrayina: Nats. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «KhAI», 2010.

[2] A. Boyarchuk, V. Kharchenko, O. Odarushchenko and Y. Ponochovny. "Basic Models for Dependable Web-Services: Technique for Development and Research", in *Dependability of Networks: collective monograph*, T. Walkowiak, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, W. Zamojski, Eds. Wroclaw, Poland: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2010, pp. 27-38.

[3] Yu. L. Ponochovnyi and E. B. Odarushchenko, "Imitatsionnoe modelirovanie protsessa otsenki nadezhnosti otkazoustoychivyykh kompyuternyykh sistem informatsionno-upravlyayushchikh kompleksov", *Radioelektronni i kompiuterni systemy*. no. 7, pp. 68-74, 2007.

[4] A. A. Furmanov, V. S. Kharchenko and Yu. L. Ponochovnyi, “Metriki diversnosti web-prilozheniy s uchetom uyazvimostey”, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, no. 4, pp. 239-244, 2008.

[5] Yu. L. Ponochovnyi, and A. O. Ivasyuk, “Imitatsionnoe modelirovanie potokov zlonamerennykh vozdeystviy na informatsionnye sistemy”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 3, pp. 123-125, 2008.

[6] Yu. L. Ponochovnyi, “Vybir metodu kompleksuvannia pokaznykiv nadiinosti komponent informatsiinykh system za pokhybkoiu, shcho vnosytsia”, *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, no. 4, pp. 156-158, 2008.

[7] A. V. Boyarchuk, Yu. L. Ponochovnyi and V. S. Kharchenko, “Razrabotka i issledovanie bazovykh modeley otkazoustoychivyykh Web-servisov”, *Radioelektronni i kompiuterni systemy* no. 5. pp. 42-49, 2010.

[8] V. S. Kharchenko, M. V. Zamyrets, S. O. Zasukha and Yu. L. Ponochovnyi, “Elementy metodolohii operatyvnoi koryhuvalnoi veryfikatsii prohramnykh zasobiv informatsiino-upravliaiuchykh system kosmichnykh aparativ”, *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia*, no. 6, pp. 81-95, 2011.

[9] S. A. Zasukha and Yu. L. Ponochovnyi, “Model gotovnosti dvukhkanalnoy informatsionno-upravlyayushchey sistemy kosmicheskogo apparata s operativnoy verifikatsiyei programmnykh sredstv”, *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*, no. 2, pp. 144-149, 2011.

[10] S. A. Zasukha, Yu. L. Ponochovnyi and V. S. Kharchenko, “Metodologiya operativnoy verifikatsii programmnoho obespecheniya kosmicheskikh sistem: modeli gotovnosti i vybor stsensariiev”, *Visnyk KhNU im. V. N. Karazina*, no. 1015, vol. 19, pp. 131-147, 2012.

[11] Yu. L. Ponochovnyi, S. A. Zasukha and V. S. Kharchenko, “Issledovanie imitatsionnykh modeley gotovnosti dvukhkanalnoy informatsionno-upravlyayushchey sistemy kosmicheskogo apparata”, *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, no. 7, pp. 41-47, 2012.

[12] A. M. Abdul-Khadi, Yu. L. Ponochovnyi and V. S. Kharchenko, “Razrabotka bazovykh markovskikh modeley dlya issledovaniya gotovnosti

kommercheskikh web-servisov”, *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, no. 5, pp. 186-191, 2013.

[13] V. S. Kharchenko, A. M. Abdul-Khadi and Yu. L. Ponochovnyi, “Formirovanie podmnozhestv uyazvimostey dostupnosti kommercheskikh web-servisov”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 7, pp. 112-115, 2013.

[14] Yu. N. Sokolov, V. S. Kharchenko and Yu. L. Ponochovnyi, “Instrumentirovanoe otsenivanie nadezhnosti programmno-tekhnicheskikh kompleksov pri roste intensivnosti otkazov”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 2, pp. 205-211, 2014.

[15] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi and A. Boyarchuk, “Availability Assessment of Information and Control Systems with Online Software Update and Verification”, *Communications in Computer and Information Science*, vol. 469, pp. 300-324, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-13206-8_15.

[16] Yu. L. Ponochovnyi, A. A. Siora and V. S. Kharchenko, “Modeli gotovnosti dvukhkanalnoy informatsionno-upravlyayushchey sistemy s uchetom obnovleniya programmnykh sredstv”, *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, no. 6, pp. 135-139, 2014.

[17] Yu. L. Ponochovnyy, V. S. Kharchenko, T. P. Mezhiborets, K. A. Revenko and K. A. Shust, “Primenenie diskretnykh zakonov raspredeleniya v modeli dostupnosti informatsionnogo resursa s profilakticheskimi merami audita bezopasnosti”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 9, pp. 111-114, 2014.

[18] Yu. L. Ponochovnyi, A. V. Boyarchuk and V. S. Kharchenko, “Modeli gotovnosti web-sistemy s uchetom programmnykh otkazov i atak na uyazvimosti konfiguratsii sluzhby DNS”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 7, pp. 122-127, 2015.

[19] Yu. L. Ponochovnyy, A. V. Boyarchuk and V. S. Kharchenko, “Imitatsionnoe modelirovanie web-sistemy pri atakakh na uyazvimosti komponent i konfiguratsiy”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 8, pp. 102-105, 2015.

[20] Yu. L. Ponochovnyi, A. V. Boyarchuk and V. S. Kharchenko, “Mnogofragmentnye markovskie modeli otkazoustoychivyykh Web-servisov s

ustraneniem proektnykh defektov”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 11, pp. 140-145, 2015.

[21] V. S. Kharchenko, Yu. L. Ponochovnyi, A. A. Furmanov and K. A. Vasilyev, “Modeli razvitiya uyazvimostey IT-produktov: patologicheskie tsepochki v kontekste markovskogo analiza”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 12, pp. 114-119, 2015.

[22] A. O. Ivasyuk, Yu. L. Ponochovnyi and E. N. Bulba, “Protsedury testirovaniya moduley informatsionno-upravlyayushchikh sistem na osnove samodiagnostiruemyykh programmiruemyykh platform s ispolzovaniem zaseva defektov”, *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, no. 6, pp. 82-87, 2016.

[23] V. S. Kharchenko, Yu. L. Ponochovnyi, K. S. Vshyvtsseva and K. D. Bezuhla, “Rozrakhunok pokaznykiv bezvidmovnosti dlia IT-system z khmarnoiu posluhoiu NaaS”, *Systemy obrobky informatsii*, Vol. 9, pp. 177-181, 2016.

[24] V. S. Kharchenko, Mustafa Kakhtan Abdulmunem Al-Sudani and Yu. L. Ponochovnyi, “Markovskie modeli gotovnosti informatsionno-upravlyayushchey systemy "umnogo" doma pri razdelnom i obshchem obsluzhivannii po nadezhnosti i bezopasnosti”, *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, Vol. 4, pp. 88-94, 2015.

[25] Mustafa Kakhtan Abdulmunem Al-Sudani, V. S. Kharchenko and Yu. L. Ponochovnyi, “Metod minimizatsii chasu usunennia defektiv i vrazlyvostei v informatsiino-upravliaiuchii systemi "rozumnoho" budynku pry zahalnomu obsluhovuvanni po nadiinosti i bezpetsi”, *Visnyk KhNTU im. P. Vasylenka*, Vol. 176, pp. 63-65, 2016.

[26] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A.-S. M. Q. Abdulmunem and A. Boyarchuk, “Security and availability models for smart building automation systems”, *Computing*, Vol. 16, Issue 4, pp. 194-202, 2017.

[27] V. S. Kharchenko, Yu. L. Ponochovnyi, A. V. Boiarchuk, I. O. Chernytska and V. S. Voronianskyi, “Otsiniuvannia hotovnosti informatsiino-keruiuchoi systemy kosmichnoho aparatu z usunenniam prohramnykh defektiv

pislia provedennia operatyvnoi onlain-veryfikatsii”, *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, no. 3, pp. 49-55, 2017.

[28] Yu. L. Ponochovnyi, S. Yu. Rohochyi, O. I. Sharai, V. O. Knurenko and V. S. Voronianskyi, “Doslidzhennia baz vrazlyvostei dlia parametryzatsii markovskyykh modelei otsiniuvannia dostupnosti web-resursiv”, *Systemy ta tekhnolohii*, no. 1, pp. 68-80, 2019. doi: 10.32836/2521-6643-2019-1-57-5.

[29] Yu. L. Ponochovnyi, “Analiz kontseptsii upravlinnia kiberbezpekoiu rozpodilenykh IT infrastruktur”, *Systemy ta tekhnolohii*, no. 2, pp. 87-101, 2019. doi: 10.32836/2521-6643-2019-2-58-5.

[30] V. Kharchenko, S. Dotsenko, Y. Ponochovnyi and O. Illiashenko, “Cybernetic Approach to Developing Resilient Systems: Concept, Models and Application”, *Information & Security*, vol. 47, Issue 1, pp. 77-90, 2020. doi: 10.11610/isij.4705.

[31] Yu. L. Ponochovnyi and V. S. Kharchenko, “Metodolohiia zabezpechennia harantozdatnosti informatsiino-keruiuchykh system z vykorystanniam bahatotsilovykh stratehii obsluhovuvannia”, *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, no. 3, pp. 43-58, 2020. doi: 10.32620/reks.2020.3.05.

Published works of approbatory character:

[32] Yu. L. Ponochovnyi, S. V. Voloshko and A. V. Boiarchuk, “Doslidzhennia vidmovostiikykh web-servisiv”, in *VI nauk.-prakt. sem. Priorytetni napriamky rozvytku telekomunikatsiinykh system ta merezh spetsialnoho pryznachennia*, Kyiv, 2011, p. 164.

[33] V. Kharchenko, A.M. Abdul-Hadi, A. Boyarchuk and Y. Ponochovny, “Web Systems Availability Assessment Considering Attacks on Service Configuration Vulnerabilities”, In *IX Int. Conf. on Dependability and Complex Systems*. Brunów, Poland, 2014, pp. 275-284. doi: 10.1007/978-3-319-07013-1_26.

[34] V. Kharchenko, Y. Ponochovny, A. Boyarchuk and A. Gorbenko, “Scenario-Based Markovian Modeling of Web-System Availability Considering Attacks on Vulnerabilities”, In *XI Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Applications*, Lviv, 2015, pp. 566-577.

[35] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Boyarchuk and E. Brezhnev, “Resilience Assurance for Software-Based Space Systems with Online Patching: Two Cases”, In *XI Int. Conf. on Dependability and Complex Systems*, Brunów, Poland, 2016, pp. 267-278. doi: 10.1007/978-3-319-39639-2_23.

[36] Y. Bulba, Y. Ponochovny, V. Sklyar and A. Ivasiuk, “Classification and Research of the Reactor Protection Instrumentation and Control System Functional Safety Markov Models in a Normal Operation Mode”, In *XII Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Applications*, Kyiv, 2016, pp. 308-321.

[37] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Abdulmunem and A. Andrashov, “Availability Models and Maintenance Strategies for Smart Building Automation Systems Considering Attacks on Component Vulnerabilities”, In *XII Int. Conf. on Dependability and Complex Systems*, Brunów, Poland, 2017, pp. 186-195. doi: 10.1007/978-3-319-59415-6_18.

[38] Yu. L. Ponochovnyi, “Pryntsyp uspadkuvannia kharakterystyk, metodiv i modelei nadiinosti, funktsionalnoi ta informatsiinoi bezpeky”, in *69 nauk. konf. profesoriv, vykladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv universytetu*, Poltava, 2017, pp. 139-140.

[39] Yu. L. Ponochovnyi, “Pryntsyp dynamichnoho monitorynhu i prohnozuvannia parametriv vrazlyvostei komponent IT-infrastruktury”, in *VII mizhn. nauk.-tekhn. konf. Suchasni napriamy rozvytku IKT ta zasobiv upravlinnia*, Kropyvnytskyi, 2017, c. 55.

[40] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A.-S.M.Q. Abdulmunem, A. Ivasiuk and O. Ivanchenko, “Model of Information and Control Systems in Smart Buildings with Separate Maintenance by Reliability and Security”, In *XIV Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Application*, Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 583-595.

[41] Y. Ponochovniy, E. Bulba, A. Yanko and E. Hozbenko, “Influence of diagnostics errors on safety: Indicators and requirements”, In *IX Int. Conf. on Dependable Systems, Services and Technologies*, Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 53-57. doi: 10.1109/DESSERT.2018.8409098.

[42] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Boyarchuk, E. Brezhnev and A. Andrashov, “Monte-Carlo Simulation and Availability Assessment of the Smart

Building Automation Systems Considering Component Failures and Attacks on Vulnerabilities”, In *XIII Int. Conf. on Dependability and Complex Systems*, Brunów, Poland, 2018, pp. 270-280. doi: 10.1007/978-3-319-91446-6_26.

[43] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Boyarchuk and A. Andrashov, “Multi-Fragmental Markov Models of Information and Control Systems Safety Considering Elimination of Hardware-Software Faults”, In *XV Int. Conf. on ICT in Education, Research and Industrial Applications*, Kherson, 2019, pp. 738-748.

[44] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Andrashov, E. Brezhniev and E. Bulba, “Modelling and Safety Assessment of Programmable Platform Based Information and Control Systems Considering Hidden Physical and Design Faults”, In *XIV Int. Conf. on Dependability of Computer Systems*, Brunów, Poland, 2019, pp. 264-273. doi: 10.1007/978-3-030-19501-4_26.

[45] V. Kharchenko, Y. Ponochovnyi, A. Boyarchuk, A. Andrashov and I. Rudenko, “Multi-fragmental Markov’s Models for Safety Assessment of NPP I&C System Considering Migration of Hidden Failures”, In *Communications in Computer and Information Science, CCIS-1175*, Kherson, 2020, pp. 302-326. doi: 10.1007/978-3-030-39459-2_14.

[46] V. Kharchenko, Y. Ponochovniy, A. M. Q. Abdulmunem and I. Shulga, “AvTA Based Assessment of Dependability Considering Recovery After Failures and Attacks on Vulnerabilities”, In *X Int. Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, Metz, France, 2019, pp. 1036-1040. doi: 10.1109/IDAACS.2019.8924251.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ. ПОСТАНОВКА НАУКОВО-ПРИКЛАДНОЇ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
1.1 Сутність концепції гарантоздатності критичних інформаційно-керуючих систем	26
1.1.1 Аналіз існуючих підходів до визначення поняття гарантоздатності інформаційно-керуючих систем та її окремих складових	26
1.1.2 Аналіз показників оцінювання підвластивостей гарантоздатності інформаційно-керуючих систем.....	31
1.1.3 Аналіз наявних джерел інформації щодо способів визначення концепцій забезпечення гарантоздатності у різних галузях життєдіяльності	35
1.1.4 Аналіз наявних концептуальних підходів до забезпечення гарантоздатності для інформаційно-керуючих та інформаційних систем	39
1.2 Аналіз особливостей забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем	40
1.2.1 Аналіз особливостей забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем космічних апаратів	40
1.2.2 Аналіз особливостей забезпечення гарантоздатності системи аварійного захисту атомних електростанцій.....	43
1.2.3 Аналіз особливостей забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем вебсерверів та розумних будинків.....	46
1.2.4 Узагальнення особливостей забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем різних доменів.....	52

1.3	Аналіз методів та інформаційних технологій оцінювання та забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем	53
1.4	Обґрунтування етапів та вибору математичного апарата досліджень	55
1.5	Науково-прикладна проблема та методологія досліджень	61
1.6	Висновки за розділом	67
1.7	Література до розділу	69
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ З БАГАТОЦІЛЬОВИМ ОБСЛУГОВУВАННЯМ.....		
2.1	Концепція гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з багатоцільовим обслуговуванням	85
2.2	Принцип врахування змін в інформаційно-керуючих системах та середовищі протягом життєвого циклу	90
2.3	Принцип комплексного врахування різних видів відмов та впливів змін 94	
2.3.1	Розширення простору видів відмов для їх комплексного врахування	95
2.3.2	Врахування впливу змін на прояви дефектів.....	99
2.4	Формалізація опису багатоцільових стратегій обслуговування.....	102
2.4.1	Формалізований опис цілі обслуговування	103
2.4.2	Формалізація типу обслуговування	104
2.4.3	Формалізація окремих процедур зі складу процесу обслуговування.....	108
2.4.4	Формалізація властивостей та параметрів	109
2.5	Побудова множини стратегій багатоцільового обслуговування.....	117
2.6	Модель ланцюга управління інформаційно-керуючої системи при забезпеченні гарантоздатності через багатоцільові стратегії обслуговування.....	121

2.7	Висновки за розділом	122
2.8	Література до розділу	123
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕДУР БАГАТОЦІЛЬОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ГОТОВНОСТІ ГАРАНТОЗДАТНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ЗМІН ВИМОГ		
3.1	Концептуальний підхід до розширення простору станів системної моделі процедур багатоцільового обслуговування гарантоздатних інформаційно-керуючих систем	127
3.2	Узагальнена системна модель процедур багатоцільового обслуговування гарантоздатних інформаційно-керуючих систем	129
3.3	Систематизація моделей оцінювання показників гарантоздатності.....	132
3.4	Метод визначення параметрів гарантоздатних інформаційно-керуючих систем	139
3.4.1	Узагальнені ідеологія обробки даних та визначення параметрів для моделей оцінювання гарантоздатності інформаційно-керуючих систем	139
3.4.2	Визначення інтенсивності атак на вразливості програмних компонент інформаційно-керуючих систем.....	145
3.4.3	Особливості визначення параметра критичності атак на вразливості	149
3.5	Розроблення та дослідження моделей готовності гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з урахуванням змін вимог при оновленні програмних засобів	153
3.5.1	Розроблення моделі готовності $M_{DEP1.1}$ інформаційно-керуючої системи космічного апарату.....	156
3.5.2	Обґрунтування вхідних параметрів моделі $M_{DEP1.1}$ інформаційно-керуючої системи космічного апарату	159
3.5.3	Дослідження моделі готовності $M_{DEP1.1}$ інформаційно-керуючої системи космічного апарату.....	161

3.5.4 Розроблення моделі готовності $M_{DEP1.2}$ інформаційно-керуючої системи космічного апарату.....	163
3.5.5 Обґрунтування значень вхідних параметрів моделі $M_{DEP1.2}$ інформаційно-керуючої системи космічного апарату	168
3.5.6 Дослідження моделі готовності $M_{DEP1.2}$ інформаційно-керуючої системи космічного апарату.....	169
3.6 Висновки за розділом	171
3.7 Література до розділу	172
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ГОТОВНОСТІ ГАРАНТОЗДАТНИХ інформаційно-керуючих систем З УРАХУВАННЯМ ЗМІН ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩА ТА ПРОЯВУ НЕСПЕЦИФІКОВАНИХ ДЕФЕКТІВ	176
4.1 Розроблення та дослідження моделей доступності гарантоздатних інформаційно-керуючих систем при атаках на вразливості їх компонент	177
4.1.1 Розроблення моделі гарантоздатності $M_{DEP2.1}$	177
4.1.2 Обґрунтування вхідних параметрів моделі $M_{DEP2.1}$ інформаційно-керуючої системи вебсервісу	185
4.1.3 Дослідження моделі гарантоздатності $M_{DEP2.1}$ інформаційно-керуючої системи вебсервісу	187
4.1.4 Розроблення моделі гарантоздатності $M_{DEP2.2}$ інформаційно-керуючої системи розумного будинку.....	189
4.1.5 Обґрунтування вхідних параметрів моделі $M_{DEP2.2}$ інформаційно-керуючої системи розумного будинку.....	196
4.1.6 Дослідження моделі готовності $M_{DEP2.2}$ інформаційно-керуючої системи розумного будинку	198
4.2 Розроблення та дослідження моделей готовності гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з урахуванням змін параметрів середовища та проведення онлайн-верифікації	201
4.2.1 Розроблення моделі готовності $M_{DEP3.1}$ інформаційно-керуючої системи космічного апарату.....	203

4.2.2	Обґрунтування вхідних параметрів моделей $M_{DEP3.1}$	208
4.2.3	Дослідження моделі готовності $M_{DEP3.1}$ інформаційно-керуючої системи космічного апарату.....	209
4.3	Розроблення та дослідження моделей оцінювання функційної безпечності інформаційно-керуючих систем за різними сценаріями виявлення прихованих відмов	213
4.3.1	Обґрунтування значень вхідних параметрів моделей $M_{DEP4.1}$	222
4.3.2	Дослідження моделей гарантоздатності $M_{DEP4.1}$	224
4.4	Висновки за розділом	226
4.5	Література до розділу	228
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИФАЗНИХ ТА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ГОТОВНОСТІ ГАРАНТОЗДАТНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ		
232		
5.1	Розроблення та дослідження мультифазних моделей готовності інформаційно-керуючих систем з онлайн верифікацією.....	232
5.1.1	Побудова моделі гарантоздатності інформаційно-керуючих систем космічних апаратів з процедурами патчеризації за подією прояву відмови	233
5.1.2	Побудова мультифазної моделі гарантоздатності інформаційно-керуючої системи космічного апарату з періодичними процедурами онлайн-верифікації та патчеризації після прояву відмови	238
5.2	Систематизація імітаційних моделей функціонування ІКС в умовах змін вимог, параметрів середовища та прояву неспецифікованих дефектів	244
5.3	Розроблення та дослідження імітаційних моделей гарантоздатних інформаційно-керуючих систем	246
5.3.1	Розроблення базової імітаційної моделі гарантоздатної інформаційно-керуючої системи	246
5.3.2	Розроблення імітаційної моделі гарантоздатної	

інформаційно-керуючої системи без поглинаючих станів для експоненціальних потоків подій.....	251
5.3.3 Розроблення імітаційної моделі гарантоздатних інформаційно-керуючих систем для потоків подій, що зводяться до експоненціальних	254
5.3.4 Розроблення імітаційної моделі гарантоздатних інформаційно-керуючих систем для неекспоненціальних потоків подій	261
5.3.5 Дослідження розподілу оцінок часткових показників гарантоздатності імітаційних моделей інформаційно-керуючих систем	264
5.3.6 Порівняльний аналіз результатів моделювання за допомогою аналітичних та імітаційних моделей гарантоздатності	270
5.4 Висновки за розділом	272
5.5 Література до п'ятого розділу	273
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ СТРАТЕГІЙ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГАРАНТОЗДАТНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ	276
6.1 Метод вибору стратегій та параметрів процедур обслуговування для забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем	276
6.1.1 Етапи вибору стратегій обслуговування	276
6.1.2 Послідовність реалізації етапів вибору стратегії обслуговування.....	278
6.1.3 Максимізація показників гарантоздатності на підставі розроблення комплексної стратегії обслуговування.....	283
6.2 Інформаційна технологія оцінювання показників гарантоздатності інформаційно-керуючих систем.....	285
6.2.1 Діаграми інформаційної технології оцінювання показників гарантоздатності інформаційно-керуючих систем.....	285

6.2.2	Потоки інформаційної технології оцінювання показників гарантоздатності інформаційно-керуючих систем.....	288
6.2.3	Інструментальні засоби підтримки інформаційної технології оцінювання показників гарантоздатності інформаційно-керуючих систем	289
6.3	Інформаційна технологія вибору багатоцільових стратегій обслуговування та їх параметрів	291
6.3.1	Діаграми інформаційної технології вибору стратегій обслуговування та їх параметрів	291
6.3.2	Потоки інформаційної технології вибору стратегій обслуговування та їх параметрів	294
6.3.3	Інструментальні засоби інформаційної технології вибору стратегій обслуговування та їх параметрів	295
6.4	Впровадження результатів дисертаційних досліджень	297
6.5	Висновки за розділом	302
6.6	Література до розділу	303
	ВИСНОВКИ.....	305
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	309
	ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	342
	ДОДАТОК Б. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	348
	ДОДАТОК В. КЛАСИФІКАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ.....	363
	ДОДАТОК Г. ПРОГРАМНИЙ КОД МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ	364
	Г.1. Програмний скрипт функції для моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з процедурою оновлення програмних засобів для моделі $M_{DEP1.1}^{(3)}$	364
	Г.2. Програмний скрипт функції для моделювання гарантоздатних	

інформаційно-керуючих систем з процедурою оновлення для усунення дефектів старіння програмних засобів у моделі M _{DEP} 1.2 ⁽³⁾	364
Г.3. Програмний скрипт функції для моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з процедурами патчеризації та профілактичного тестування вразливостей у моделі M _{DEP} 2.1 ⁽³⁾	364
Г.4. Програмний скрипт функції для моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з процедурами патчеризації вразливостей та дефектів і загального профілактичного обслуговування у моделі M _{DEP} 2.2 ⁽²⁾	365
Г.5. Програмний скрипт функції для моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з процедурами патчеризації вразливостей та дефектів і роздільного профілактичного обслуговування у моделі M _{DEP} 2.2 ⁽³⁾	371
Г.6. Програмний скрипт функції для моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з процедурами онлайн-верифікації у моделі M _{DEP} 3.1 ⁽³⁾	374
Г.7. Програмний скрипт функції для моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з процедурами профілактичного тестування прихованих небезпечних відмов у моделі M _{DEP} 4.1 ⁽³⁾	374
Г.8. Програмний скрипт функції для моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем з детермінованими процедурами онлайн-верифікації у моделі M _{DEP} 5.1 ⁽²⁾	375
Г.9. Програмний скрипт функції для імітаційного моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем у моделі IM _{DEP} 6.1	376
Г.10. Програмний скрипт функції для імітаційного моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем у моделі IM _{DEP} 6.2	377
Г.11. Програмний скрипт функції для імітаційного моделювання гарантоздатних інформаційно-керуючих систем у моделі IM _{DEP} 6.3	378