

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТУ**

ГОЛУБ ГАЛИНА МИХАЙЛІВНА



УДК 004.891.3:621.311

**МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ
ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕДУР УПРАВЛІННЯ І ОПТИМІЗАЦІЇ
РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Спеціальність 05.13.05 – «комп'ютерні системи та компоненти»

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

КИЇВ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному економіко-технологічному університеті транспорту Міністерства освіти і науки України, м. Київ

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України
в галузі науки та техніки
Стасюк Олександр Іонович,
Державний економіко-технологічний
університет транспорту
в.о. проректора з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Квасніков Володимир Павлович,
Національний авіаційний університет,
завідувач кафедри комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій

кандидат технічних наук, доцент
Душеба Валентина Віталіївна,
Інститут проблем моделювання
в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,
в.о. завідувача відділу математичного та
комп'ютерного моделювання

Захист дисертації відбудеться 12 вересня 2017 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.820.04 у Державному економіко-технологічному університеті транспорту за адресою: 03049, м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного економіко-технологічного університету транспорту за адресою: 03049, м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19.

Автореферат розісланий «_10_» серпня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 26.820.04



О. А. Герцій

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку електроенергетики спрямований на модернізацію електричних мереж на основі технологічної платформи SmartGrid, з використанням новітніх інформаційних і комунікаційних технологій, що дозволять підвищити рівень автоматичної оптимізації, моніторингу та контролю режимів електричних мереж, удосконалення засобів релейного захисту, а також пов'язаний з «інтелектуалізацією» швидкоплинних технологічних процесів генерації електроенергії, її передачі, розподілу, керування комерційним споживанням в умовах ринку та сервісного обслуговування. Пошук нових шляхів розв'язання проблеми інтелектуалізації режимів функціонування електричних мереж залізничного транспорту стимулював проведення ряду наукових досліджень у сфері створення нових принципів організації комп'ютерних середовищ, математичних моделей, методів і комп'ютерно-орієнтованих алгоритмів оптимального функціонування системи електропостачання.

Перспективний напрямок, пов'язаний із надійністю та захистом електричних мереж, що базується на використанні сучасних мікропроцесорних пристроїв, в яких завдяки спроможності логічної обробки інформації відкриваються широкі функціональні можливості: реалізувати захист практично будь-якої складності, організувати динамічне формування керуючих впливів з необхідною селективністю, а для більш глибокої достовірності розпізнавання, в реальному часі, аварійних та аномальних режимів, забезпечити виділення симетричних або інших складових аварійного режиму, поклав початок переходу до децентралізованого управління, що забезпечило можливість автоматизації управління територіально-розподіленими об'єктами, до яких належать залізниці.

У зв'язку з цим виникла потреба в організації комп'ютерно-інтегрованих систем інтелектуалізації процедур управління електричними мережами та оптимізації режимів електропостачання залізничного транспорту з метою формування сукупності методів синтезу інтегрованих комп'ютерних систем моніторингу, діагностики і визначення технічного стану силового електричного обладнання залізниць на застосуванні уніфікованого середовища первинного вимірювання електричних параметрів з єдиних інформаційних позицій.

Основою для рішення поставлених у дисертації задач стали роботи відомих вчених: Г. Е. Пухова, Б. С. Стогнія, А. В. Кириленка, О. І. Стасюка, О. Г. Корченка, М. А. Віноградова, М. Ф. Сопеля, Р. В. Грищука, Яндутьського О.С., Л.Ф. Мараховського, С. М. Білана, А.М. Шіліна, Є.П.Фігурнова, О.В. Палагіна, Л. Хоффмана, Д. Морейса, Р. Айзекса, Д. Неша, Ж. Макліна та багатьох інших вчених та їх наукових шкіл.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася згідно з тематичним планом виконання наукових досліджень та розробок Державного економіко-технологічного університету транспорту в рамках держбюджетних наукових тем № 0113U003210 «Теоретичні дослідження і розробка методів комп'ютеризації мереж електропостачання залізниць України як основи енергозбереження та безпеки руху», № 0113U003211 «Теоретичні дослідження і розробка принципів та методів синтезу інтелектуальних

електроенергетичних мереж залізниць України», № 0114U004348с «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютеризованої системи оптимізації, енергозбереження та інтелектуалізації процедур управління залізничним транспортом України», № 0115U002476 «Наукові засади створення сучасних розподілених комп'ютерних мереж оптимізації електроспоживання та управління енергозбереженням залізниць України», № 00115U000394 «Теоретичні дослідження і розробка сучасних комп'ютерно-орієнтованих технологій оптимізації режимів електропостачання, енергозбереження і безпеки руху залізниць України», № 0115U000396 «Теоретико-методологічні принципи комерціалізації об'єктів інтелектуальної власності залізниць України як основи інвестиційно-інноваційного розвитку», № 0116U004689 «Теоретичні дослідження розподілених комп'ютерних мереж оптимізації електропостачання і інтелектуалізації енергозберігаючих безаварійних технологій перевезень залізниць України», № 0117U002445 «Теоретичні дослідження інтелектуальних мережевих технологій оптимізації режимів електропостачання, енергозбереження і безпеки руху залізниць України» в яких автор був співвиконавцем та № 0117U002447 «Теоретичні дослідження розподілених комп'ютерних мереж оптимізації електроспоживання і інтелектуальних технологій енергозбереження та безпеки руху залізниць України», в якій автор є відповідальним виконавцем. А також результати дисертаційної роботи включені в НДР «Розробка концепції побудови оперативно-інформаційного комплексу автоматизованого управління режимами роботи локальних та технологічних електричних мереж залізниць України» (ДР №0113U003985), яка виконувалася за договором № 5.2-37/2013-ЦТЕХ-105/203-ЦЮ з Департаментом електрифікації та електропостачання ПАТ «Укрзалізниця».

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка методів синтезу розподілених комп'ютерних систем і мережевих технологій моніторингу, ідентифікації, оптимізації та інтелектуалізації процедур управління режимами енергозбереження систем електроспоживання залізниць для підвищення ефективності, надійності та захисту системи електропостачання, безпеки експлуатації тягових електричних мереж.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз особливостей функціонування та управління електричними мережами залізничного транспорту, дослідження проблеми і нових можливостей інтелектуалізації процедур управління режимами електричних мереж, організації інтелектуальних технологій, а також способів організації єдиного інформаційного простору первинної інформації, що відображає стан мережі електропостачання, щоб реалізувати оптимізацію електропостачання та покращити рівень безпеки руху.

2. Розробити методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць і на їх базі – методологію синтезу інформаційно-керуючих систем дослідження режимів функціонування електричних мереж.

3. Удосконалити математичні моделі та комп'ютерно-орієнтовані методи режимів функціонування мереж залізниць в процесі постачання електроенергії на тягу поїздів, в режимі реального часу, для проведення безперервного моніторингу, контролю та діагностики режимів роботи електричних мереж та силового

обладнання, ідентифікації аварійних та аномальних режимів роботи електричних мереж, визначення відстані до короткого замикання.

4. Розробити математичні моделі і методи синтезу мікропроцесорних архітектур з широкими функціональними можливостями та гнучкою логікою для захисту, в реальному часі, електричних тягових мереж залізниць.

5. Розробити моделі та методи оцінки кібербезпеки розподілених комп'ютерних мереж управління електроспоживанням дистанцій електропостачання для визначення рівня захищеності інформації, відповідно до характеристик комп'ютерної мережі.

6. Дослідити та удосконалити архітектурні рішення комп'ютерної системи управління режимами електричних мереж залізниць, яка орієнтована на вирішення комплексу задач технологічного, експлуатаційного та диспетчерського управління.

7. Дослідити методи ідентифікації аварійних режимів електричних мереж на тяговій підстанції.

8. Провести комп'ютерне моделювання, експериментальні дослідження, аналіз та обробку отриманих результатів.

Об'єктом дослідження є процеси комп'ютеризації, інтелектуалізації та оптимізації процедур управління режимами постачання електроенергії на тягу поїздів залізничного транспорту.

Предмет досліджень це методи синтезу комп'ютерно-інтегрованих технологій оптимізації управління режимами електропостачання та архітектур мікропроцесорних систем захисту тягових мереж, методи захисту інформації в комп'ютерних системах та мережах.

Методи дослідження. Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач базується на використанні методів теорії множин, нечіткої логіки, методів інтелектуальної обробки даних, теорії диференціальних ігор та диференціальних перетворень, методи теорії графів, надійності, методів комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

- Уперше запропоновано методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць і на їх базі розроблено методологію синтезу комп'ютерних інформаційно-керуючих систем дослідження режимів функціонування електричних мереж, які стали основою організації комп'ютерної архітектури, орієнтованої на дослідження та керування електропостачанням залізниць на всіх рівнях ієрархії.

- Одержано математичні моделі та комп'ютерно-орієнтовані методи моніторингу та ідентифікації режимів функціонування мереж залізниць в процесі постачання електроенергії на тягу, завдяки яким, на відміну від існуючих, відкривається можливість аналізувати доаварійні, аварійні і післяаварійні процеси функціонування електричної мережі синхронно за часом і роботою системи захисту.

- Розроблено нові аналітичні вирази для визначення оцінки кібербезпеки розподілених комп'ютерних мереж управління електроспоживання дистанцій електропостачання, які відкривають можливість у процесі реєстрації, передачі та обробки інформації, в режимі управління електропостачання, реалізовувати періодичний і епізодичний контроль і оцінку надійності системи, програмно-апаратних засобів та інформації.

- Удосконалено метод синтезу архітектур мікропроцесорної системи захисту фідерів електричних тягових мереж залізниць з розширеними функціональними можливостями, який, на відміну від існуючих, за рахунок введення нових блоків і зв'язків між ними та гнучкої логіки відкриває можливість розпізнавання аномальних і аварійних режимів функціонування систем електропостачання, що проводиться шляхом організації ковзкого моніторингу параметрів режимів одночасно фідерів тягових мереж і високовольтних комутаційних апаратів, формування аварійних даних і передача їх на вищі рівні оперативно-інформаційного керування електропостачанням.

- Дістали подальшого розвитку методи архітектурних рішень комп'ютерної системи управління режимами роботи електричних мереж на всіх рівнях ієрархії, відкритість архітектури якої, на відміну від існуючої, повинна забезпечити можливість розвитку функціональності шляхом налаштування додаткових програм, впровадження єдиної бази даних нормативно-довідкової інформації, ведення оперативних електронних журналів з електронним підписом для автоматизації роботи диспетчерського персоналу та інших служб, що беруть участь у процесах управління режимами роботи електричних мереж; інтеграцію з геоінформаційною системою, WEB -доступ до даних через інтернет, on-line ретрансляція оперативної інформації в SQL-сумісну базу даних та ін.

Практичне значення отриманих результатів:

- Розроблено модель комп'ютерної інтелектуалізації електричних мереж залізниць і алгоритми для формування інтелектуальних процедур електропостачання, енергозбереження та накопичення нових знань на основі організації єдиного інформаційного простору інтелектуальної комп'ютерної мережі керування електропостачанням, базуючись на глибокій взаємоінтеграції обчислювальної архітектури розподіленого комп'ютерного середовища і топології тягової електричної мережі залізниць для подальшої оптимізації електроспоживання, створення енергозберігаючих технологій і забезпечення високого рівня безаварійних перевезень.

- На основі математичних моделей режимів функціонування тягових мереж залізниць запропоновані комп'ютерно-орієнтовані методи та алгоритми ідентифікації аварійних та аномальних режимів електричних мереж, що дозволяють проводити в реальному часі оптимізацію швидкоплинних технологічних процесів електропостачання, ідентифікувати місце аварійного режиму між тяговими підстанціями і формувати експрес-інформацію про аварійні та аномальні режими всім рівням оперативного керування для проведення аналізу аварій, прогнозу даних режимів і мінімізації втрат.

- На базі удосконаленого методу синтезу архітектур мікропроцесорної системи захисту фідерів електричних мереж залізниць розроблено структурну схему мікропроцесорної системи захисту фідерів електричних тягових мереж залізниць та блок-схему алгоритму роботи даної системи, яка дозволить покращити рівень надійності і діагностування технічного стану систем електропостачання у процесі роботи завдяки функціонуванню нових пристроїв. А також дозволить розширити функціональні можливості шляхом організації, в реальному часі, безперервного моніторингу параметрів режимів кожного фідера системи електропостачання,

реалізувати контроль та прогноз технічного стану, включаючи запис первинної інформації до аварійного і аварійного режиму синхронно за часом та формуванням керуючих впливів захисту.

- Для визначення оцінки кібербезпеки комп'ютерних мереж управління електроспоживанням розроблено логічну структуру розподіленої комп'ютерної мережі інтелектуальної системи дистанції електропостачання, що відображає її топологічні характеристики, у вигляді графа, запропоновано методи оптимізації в області T-зображень з використанням дискрет диференціального спектра ймовірностей вузлів графа.

- На базі методу архітектурних рішень комп'ютерної системи управління режимами роботи електричних мереж на всіх рівнях ієрархії запропоновано структуру автоматизованої системи управління кожного з рівнів, яка дозволить підвищити якість управління в умовах ліквідації аварій, порушень режиму і наслідків стихійних лих, безаварійність експлуатації обладнання, обмін інформацією з діючими і перспективними програмно-апаратними комплексами всіх рівнів, тривале зберігання, обробку, резервування та надання необхідної інформації на всі рівні ієрархії управління та вузли розподіленої комп'ютерної мережі, налагодження і супровід програмно-апаратних засобів за допомогою вбудованого комплексу сервісних програм та ін.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес Державного економіко-технологічного університету транспорту та в науково-дослідну та виробничу діяльність ПАТ «Укрзалізниця».

Особистий внесок здобувача. У дисертаційній роботі основні результати проведених досліджень, отримані автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать: [2] – розробка узагальненої структури інтелектуальної тягової електричної мережі; [3] – розробка математичної моделі організації ковзкого моніторингу параметрів режимів тягових електричних мереж залізниць і способів організації синхронно зареєстрованої первинної інформації; [4] – організація мікропроцесорного захисту, для якого впливовою величиною є струм, розроблення методу формування уставок спрацювання для максимального струмового захисту, струмової відсічки, захисту по скачку струму за час його наростання та ін; [5] – проаналізовано норми та вимоги щодо стандартизації технологій, які описують безпеку в системах електропостачання на основі поняття кібербезпеки; [7] – дослідження ієрархічної побудови системи електробезпеки на транспорті; [21] – розробка блок-схеми алгоритму роботи мікропроцесорної системи.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися, обговорювалися і отримали позитивну оцінку на наступних конференціях:

VI Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту»: Управління, економіка, технології, м. Київ, 2013р.; XLIII Науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів, студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки», м. Київ, 2013р.; LXX Науковій конференції професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та співробітників структурних підрозділів НТУ, м. Київ, 2014р.; Науково-практичній конференції «Розвиток науки

і техніки на залізничному транспорті», м. Київ, 2014 р.; 27-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Харків, 2014 р.; Науково-практичній конференції «Розвиток науки і техніки на залізничному транспорті», м. Київ, 2015 р.; X Ювілейній міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті ЕКУЗТ-2015», м. Київ, 2015 р.; Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених і студентів «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS-2015)», м. Дніпропетровськ, 2015 р.; VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті S&EMC, с. Розлуч, 2016 р.; XI Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте. – ЭКУЖТ 2016», м. Київ, 2016 р.; IX Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті S&EMC, м. Чернівці, 2017 р.; XLVIII Науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів, магістрів і спеціалістів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки» м. Київ, 2017 р.; XXI Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті», м. Харків, 2017 р.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 21 наукову працю, серед яких 7 статей у фахових виданнях України, з них 6 статей у журналах, що реферуються у наукометричних базах (Index Copernicus International, РІНЦ), 13 тез доповідей у матеріалах наукових конференцій та 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 147 найменувань, а також двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 164 сторінки друкованого тексту, у тому числі 129 сторінок основного тексту, включаючи 25 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі досліджень, визначено об'єкт і предмет дослідження, показано наукову новизну, практичну цінність отриманих наукових результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію результатів і їх впровадження.

У першому розділі проведено огляд сучасного стану функціонування системи електропостачання залізничного транспорту, проаналізовано сучасні методи і комп'ютерні засоби дослідження, аналізу і керування тяговими електричними мережами, показані перспективи впровадження інтелектуальних технологій, комп'ютеризації і інтелектуалізації швидкоплинних технологічних процесів постачання електроенергії на тягу, інтелектуалізації системи електропостачання та тягової мережі.

Показано, що забезпечення надійного та ефективного функціонування електроенергетичних систем безпосередньо пов'язане з рівнем інформатизації та інтелектуалізації їх систем моніторингу та керування, а для вирішення задач технологічного управління в енергетиці потрібні нові знання для синтезу нових принципів і методів керування режимами тягових електричних мереж. Для

вирішення цих задач було запропоновано інтелектуальну мережу системи електропостачання, яка складається з технічних засобів корекції параметрів електричних мереж, системи збору, передачі і обробки інформації, швидкодіючих програм оцінки стану і прогнозування режимів енергосистеми, а також гнучкої системи управління (поєднання централізованого і локального управління), що дозволить отримати більш високу якість послуг електропостачання шляхом формування цілісної багаторівневої системи управління зі збільшенням обсягу автоматизації та істотним підвищенням надійності системи електропостачання.

У дисертаційній роботі було запропоновано структуру комп'ютерної системи управління режимами роботи електричних мереж на всіх рівнях ієрархії (рис. 1), яка відображає спектр можливостей інтелектуалізації процедур управління електропостачання на кожному з рівнів, виходячи з особливостей постачання електроенергії залізницям з врахуванням, обмежень і специфіки споживання.

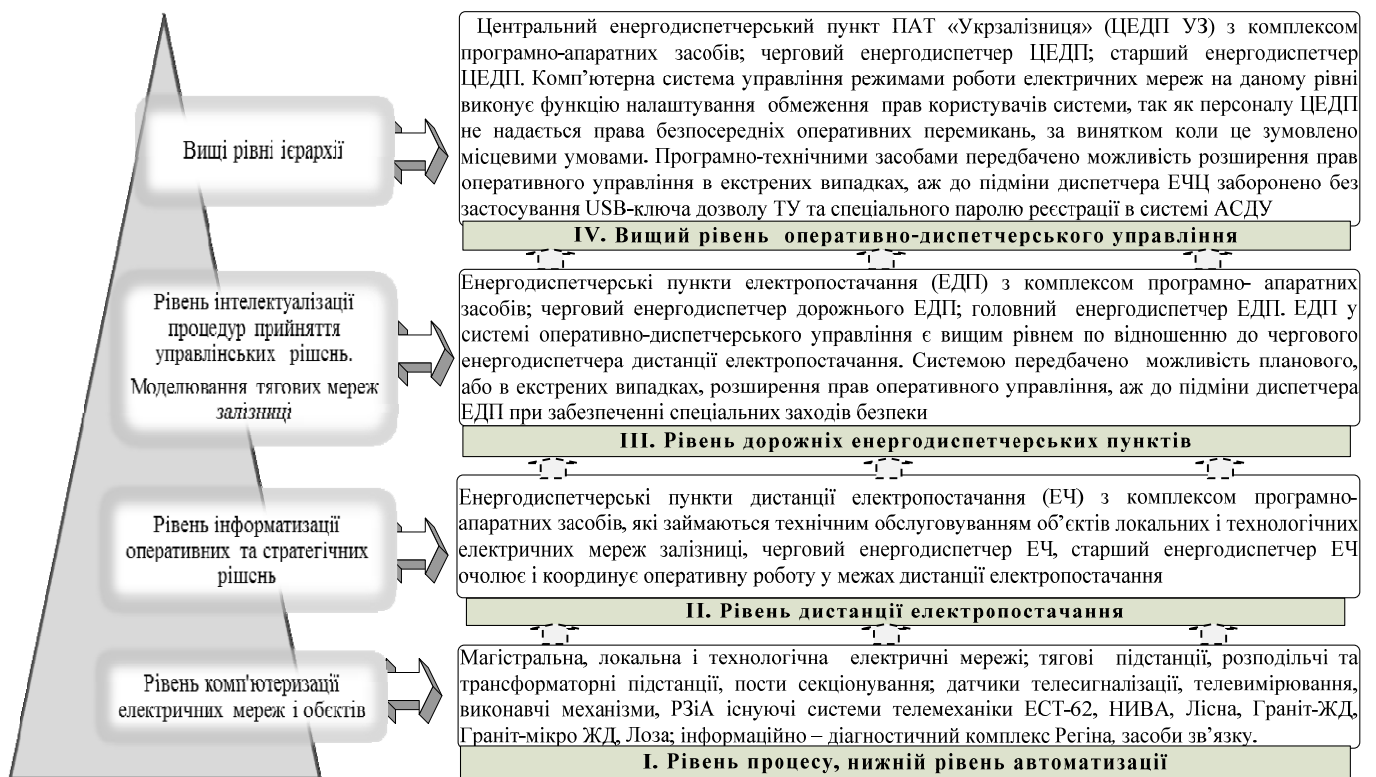


Рис. 1. Організаційна структура комп'ютерної системи управління електричними мережами

Другий розділ присвячений дослідженню математичних моделей та комп'ютерно-орієнтованих методів інтелектуалізації процедур управління режимами електропостачання тягових мереж, в режимі реального часу, для проведення безперервного моніторингу, контролю та діагностики режимів роботи електричних мереж та силового обладнання.

Використання сучасних мікропроцесорних засобів сприяло появі великої кількості математичних моделей і алгоритмів реєстрації і формування первинної інформації при розробці методів безперервного моніторингу режимів мереж електропостачання, в реальному часі, яка реєструється на виходах датчиків мережі електропостачання і силового електроустаткування тягових підстанцій, а також

систем релейного та мікропроцесорного захисту різних сегментів електричного комплексу залізниць і може бути представлена в аналоговій і дискретній формах. Головним при цьому є необхідність організації первинної інформації у вигляді єдиного інформаційного простору мережі електропостачання сформованого з єдиних загальносистемних позицій, компонентів інформаційного середовища, що для сукупності струмів I_{ke} , напруг U_{ke} , а також набору інших аналогових сигналів F_{kl} може бути представлено як

$$\begin{aligned} I_{ke} &= \Phi_{ke}^i(I_{kl}^d, I_{kl}^a, I_{kl}^p, \tau, t, S_{kl}^i, C_{kl}^i, T), \\ U_{ke} &= \Phi_{ke}^u(U_{kl}^d, U_{kl}^a, U_{kl}^p, \tau, t, S_{kl}^u, C_{kl}^u, T), \\ F_{ke} &= \Phi_{ke}^f(F_{kl}^d, F_{kl}^a, F_{kl}^p, \tau, t, S_{kl}^f, C_{kl}^f, T), \quad k=1,2,\dots,z, l=1,2,\dots,n, \end{aligned} \quad (1)$$

де $I_{kl}^d, U_{kl}^d, F_{kl}^d$ – сигнали доаварійного режиму; $I_{kl}^a, U_{kl}^a, F_{kl}^a$ – сигнали аварійного режиму; $I_{kl}^p, U_{kl}^p, F_{kl}^p$ – сигнали післяаварійного режиму; $S_{kl}^i, S_{kl}^u, S_{kl}^f$ – параметри, що визначають синхронність реєстрації інформації в різних сегментах мережі електропостачання; $C_{kl}^i, C_{kl}^u, C_{kl}^f$ – параметри, які визначають особливості організації первинної інформації з єдиних загальносистемних позицій; n – число дискрет за період T ; z – число фідерів мережі електропостачання.

Набір дискретних сигналів D_{kl} , по аналогії з (1), може бути представлений системою математичних залежностей

$$D_{kl} = \Phi_{ke}^d(D_{kl}^d, D_{kl}^a, D_{kl}^p, \tau, t, S_{kl}^D, C_{kl}^D, T). \quad (2)$$

Сформуємо $I_k, U_{kl}, F_{kl}, D_{kl}$ у вигляді множин відповідно як G^i, G^u, G^f, G^D , тоді

$$\{I_{kl}\} \in G^i, \{U_{kl}\} \in G^u, \{D_{kl}\} \in G^D, \{F_{kl}\} \in G^f. \quad (3)$$

На основі (1 – 3) модель єдиного інформаційного простору параметрів режимів мереж електропостачання залізниць у вигляді множини G представляється таким чином

$$G = G^f \cup G^D \cup G^u \cup G^i. \quad (4)$$

На основі математичних виразів (1 – 4) відкривається можливість організувати ковзкий моніторинг параметрів режимів мереж постачання електроенергії на тягу і різним споживачам. Завдяки тому, що в (1, 2) первинна інформація $I_k, U_{kl}, F_{kl}, D_{kl}$ розділяється на доаварійну, аварійну і післяаварійну, то для того, щоб не записувати весь об'єм інформації доаварійного режиму і, відповідно, не загрузати пам'ять, процес безперервного моніторингу реалізується таким чином. Значення первинних даних $I_{kl}^d, U_{kl}^d, F_{kl}^d, D_{kl}^d$ за n -й період T частоти живлення f реєструються в пам'яті, після чого первинні дані за $(n+1)$ -й період T записуються в пам'ять на місце даних першого періоду, потім за $(n+2)$ -й період T , відповідно, записуються в запам'ятовуючий пристрій на місце другого періоду і т.д. Так процес продовжується до тих пір, поки по значенням первинних даних $I_{kl}^d, U_{kl}^d, F_{kl}^d, D_{kl}^d$ згідно відповідних критеріїв не буде зареєстрований аварійний режим. Завдяки цьому повністю зберігається первинна інформація $I_{kl}^d, U_{kl}^d, F_{kl}^d, D_{kl}^d$ за $(n \dots n+k)$ періодів доаварійного режиму, проводиться реєстрація інформації $I_{kl}^a, U_{kl}^a, F_{kl}^a, D_{kl}^a$ про аварійний режим синхронно за часом t і роботою системи захисту і, наостанок, реєструються первинні дані $I_{kl}^p, U_{kl}^p, F_{kl}^p, D_{kl}^p$ післяаварійного режиму мережі електропостачання впродовж проміжку часу τ . В результаті проведення ковзкого

режиму моніторингу в реальному часі, при появі короткого замикання спеціалістам надається повна інформація про доаварійний, аварійний, а також післяаварійний режими для проведення аналізу і усунення неполадок.

У третьому розділі дисертаційної роботи розроблено метод синтезу мікропроцесорних архітектур з широкими функціональними можливостями та гнучкою логікою для захисту, в реальному часі, електричних тягових мереж залізниць, реалізація якого здійснюється на основі математичних моделей, які відображають значення основних характеристик режимів тягової мережі для реалізації захисту в різних сегментах топології мережі електропостачання, такі, як максимальний струмовий захист Іфтах фідера, крутизну фронту наростання струму di/dt , скачок струму ΔI , значення напруги u , проміжки часу τ .

Однією із важливих задач при експлуатації тягових електричних мереж залізниць є визначення місця пошкодження та ідентифікація аварійних та аномальних режимів системи електропостачання. Успішне рішення цієї задачі відкриває можливість не тільки зниження збитків від ненормальних режимів, а також прогнозування і, відповідно, попередження та уникнення можливих збитків в процесі електропостачання. Оперативне визначення відстані до місця короткого замикання з урахуванням особливостей побудови тягових мереж значно прискорює його локалізацію та підвищує надійність електропостачання і безпеки руху.

На основі (1) загальна сукупність первинної інформації, що відображає режим функціонування електричної мережі, описана формулою

$$\begin{aligned} i_{kl} &= F_{kl}(i_{kl}^n, i_{kl}^a, \tau, t, S_{kl}^i, C_{kl}^i), \\ u_{kl} &= F_{kl}(u_{kl}^n, u_{kl}^a, \tau, t, S_{kl}^u, C_{kl}^u), \\ d_{kl} &= F_{kl}(d_{kl}^n, d_{kl}^a, \tau, t, S_{kl}^d, x_{kl}^d), \\ \varphi_{kl} &= F_{kl}(\varphi_{kl}^n, \varphi_{kl}^a, \tau, t, S_{kl}^\varphi, x_{kl}^\varphi), \quad k = 1, 2, z, l = 1, 2 \dots m, \end{aligned} \quad (5)$$

де $i_{kl}^n, u_{kl}^n, d_{kl}^n, \varphi_{kl}^n$ – сигнали нормального режиму; $i_{kl}^a, u_{kl}^a, d_{kl}^a, \varphi_{kl}^a$ – сигнали аварійного режиму; $S_{kl}^i, S_{kl}^u, S_{kl}^d, S_{kl}^\varphi$ – параметри, що визначають синхронність реєстрації інформації; $C_{kl}^i, C_{kl}^u, C_{kl}^d, C_{kl}^\varphi$ – набір параметрів організації єдиного інформаційного простору первинних даних; z – число фідерів $m^{\text{го}}$ сегмента мережі електропостачання; T – період частоти живлення.

На основі моделі (5) реалізовано формування множини керуючих впливів $\Delta_{11} \Delta_{21} \dots \Delta_{z1}$ на високовольтні комутаційні механізми системи захисту згідно з узагальненою математичною залежністю

$$\Delta_{kl} = \Psi_{kl}^v(i_{kl}, u_{kl}, d_{kl}, \varphi_{kl}, h_{kl}), \quad v = 1, 2, \dots \quad (6)$$

де $\Psi_{kl}^1, \Psi_{kl}^2, \Psi_{kl}^3$ – функції, які формують алгоритми управління; h_{kl} – параметри, що враховують топологічні особливості системи електропостачання.

Узагальнена модель проведення самоконтролю і прогнозу технічного стану високовольтних комутаційних апаратів визначається як

$$Q_{kl} = G_{kl}^v(i_{kl}, u_{kl}, d_{kl}, \varphi_{kl}, \Delta_{kl}, t, \tau, P_{kl}), \quad (7)$$

де G_{kl}^v – функції, що характеризують зовнішні прояви властивостей високовольтних комутаційних апаратів.

Сукупність допустимих значень $\Delta_{kl}, Q_{kl}, G_{kl}, \varphi, i, u$, згідно з (5 – 7) може інтерпретуватися як багатовимірний простір, у межах якого синтезована мікропроцесорна системи захисту тягових мереж.

У роботі було розроблено структуру мікропроцесорної системи захисту фідерів тягових мереж електропостачання (рис. 2), яка включає мікропроцесор МП, дешифратори ДШ, чотирьохпортовий модуль інтерфейсу МІ, таймер Т, матрицю ключів К, регістри R, аналого-цифровий перетворювач АЦП, формувачі аналогових сигналів ФА, формувачі керуючих сигналів захисту ФКС, блок пам'яті БП. Архітектура мікропроцесорної системи відповідає таким умовам, як швидкодія, надійність, зручність експлуатації і відкриває

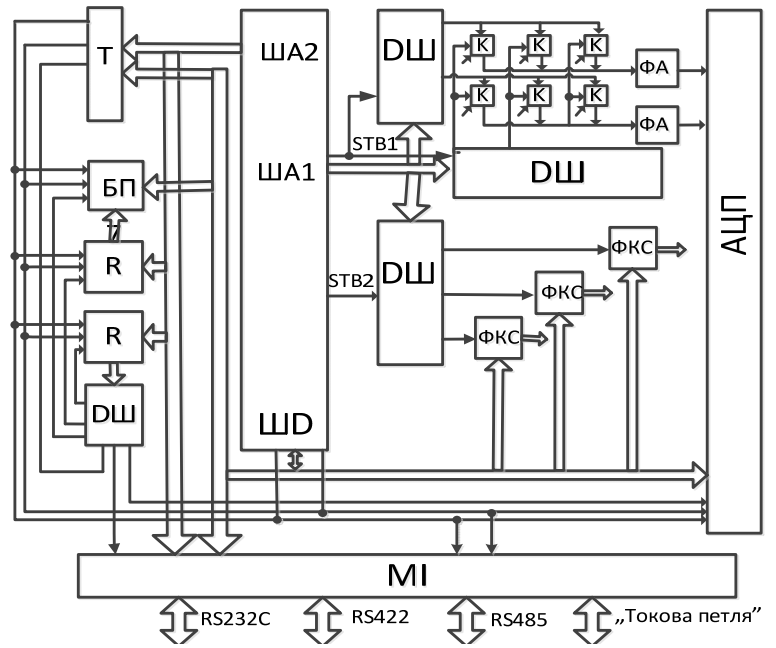


Рис. 2. Структура мікропроцесорної системи захисту фідерів електричних мереж

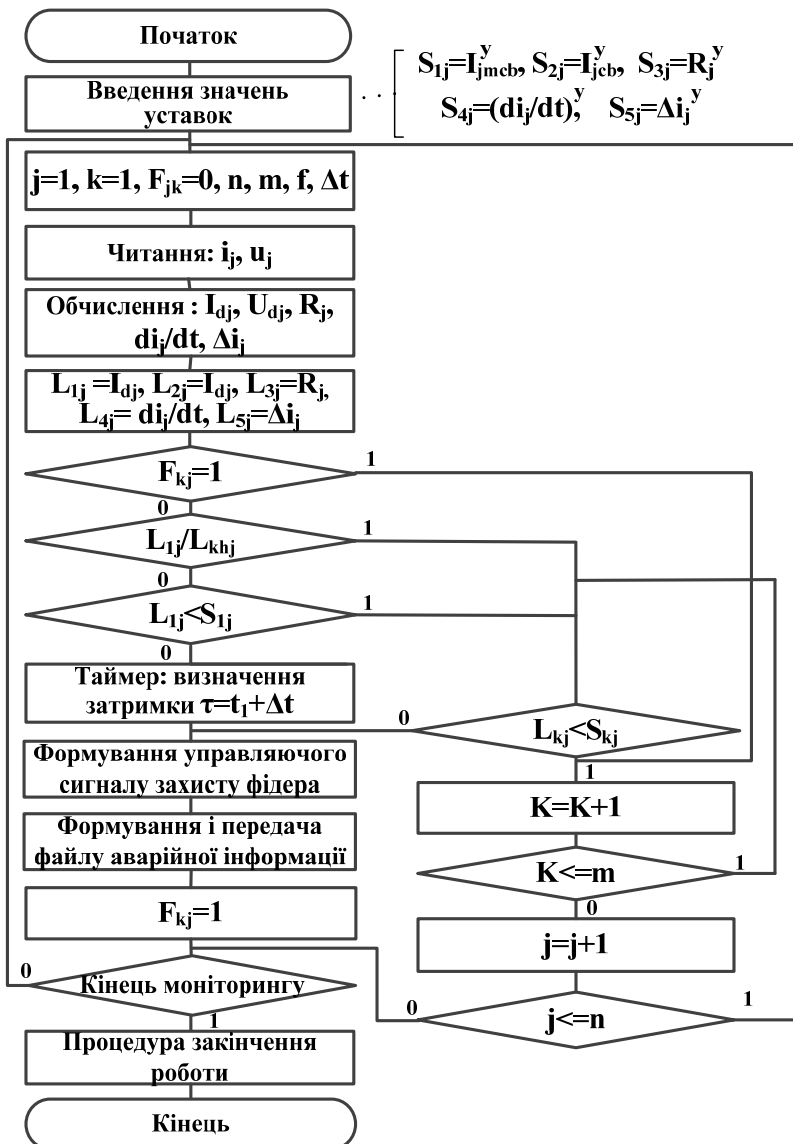


Рис. 3. Блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорної системи

можливість реалізувати ковзкий моніторинг не тільки режимів функціонування тягових мереж, а й високовольтних комутаційних апаратів та проводити, в реальному часі, їх діагностику, включаючи прогноз ресурсу. Після запуску мікропроцесорна система захисту фідерів електричних тягових мереж залізниць, при появі аварії, формує файли аварійних даних, які, відповідно, передаються в диспетчерський центр для аналізу і оперативного керування. Система працює постійно згідно алгоритму в реальному часі (рис. 3), який дозволяє підвищити рівень якості виконання процедур захисту та ефективність використання можливостей комп'ютерної техніки.

У четвертому розділі показані архітектурні рішення комп'ютерної системи управління режимами роботи електричних мереж залізниць, що представляє собою централізовану, ієрархічно розподілену, багаторівневу автоматизовану систему диспетчерського управління режимами роботи електричних мереж, яка складається з чотирьох рівнів, на кожному з яких системою завдяки програмно-апаратним засобам передбачено широкі можливості.

Були проведені експериментальні дослідження, спільно з фахівцями Інституту електродинаміки НАН України та МПП «Анігер», режимів роботи електричних тягових мереж залізничного транспорту на базі інформаційно-діагностичного комплексу «Регіна». За результатами досліджень показано ідентифікацію аварійних режимів мереж електропостачання на тяговій підстанції Козятин - 2 РФ «Південно-Західна залізниця» (рис. 5), а саме коротке замикання на фідері контактної мережі №2 та роботу системи захисту.

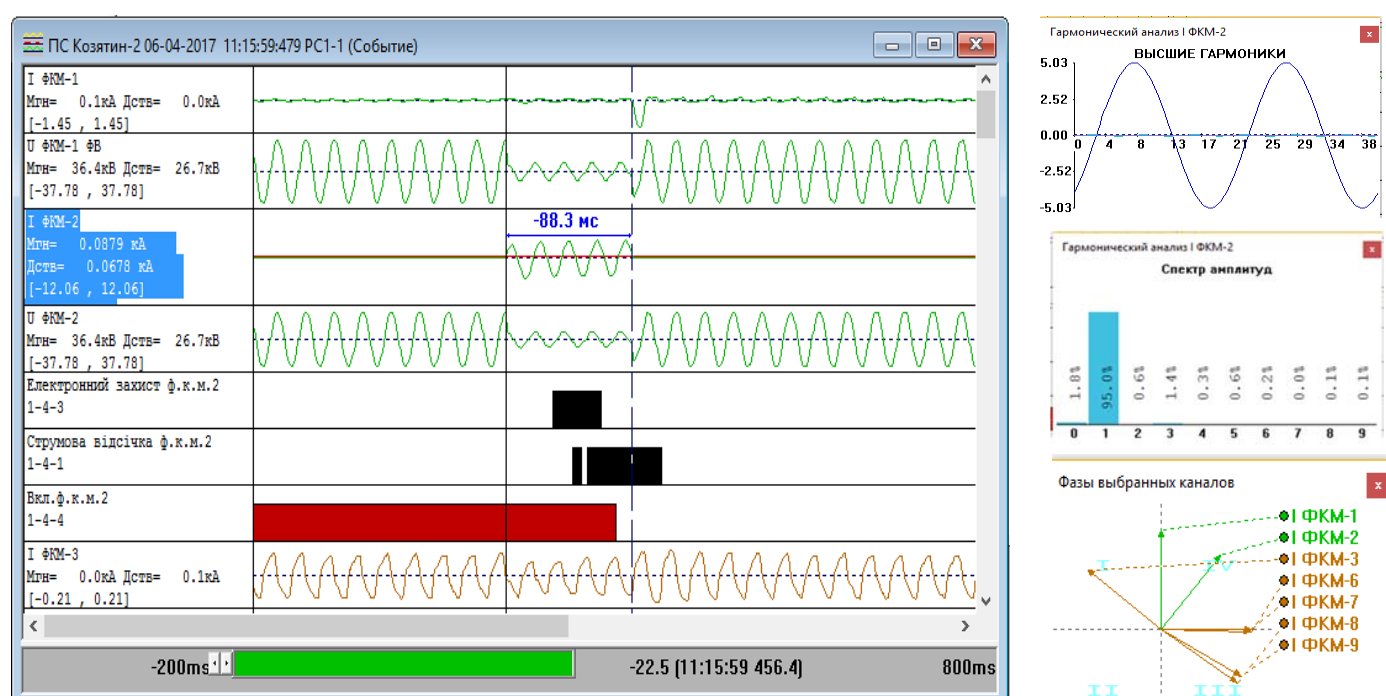


Рис. 5. Комп'ютерна модель ідентифікації аварійного режиму на ФKM-2

Також проведено комп'ютерне моделювання мікропроцесорної системи захисту фідерів, яка дозволяє динамічне формування управляючих впливів з необхідною селективністю залежно від сегменту електричної мережі, забезпечує високий рівень надійності з широкими функціональними можливостями, в яких основним є обґрунтування вибору уставок спрацювання мікропроцесорних систем моніторингу і захисту та реєстрація тільки таких параметрів як струм, напруга, можливо частота чи фаза, так як всі інші параметри технологічного процесу електропостачання - опір короткого замикання, швидкість зміни струму, стрибок струму та ін., розраховуються програмно. За результатами моделювання (рис. 6) показано надійність роботи системи від струму короткого замикання та падіння напруги, а також приведена (рис. 7) оцінка ефективності роботи даної системи в порівнянні з системою електромеханічного захисту фідерів електричних мереж за

часом спрацювання релейного захисту та дії ступеня селективності, яка показує, що швидкодія роботи системи мікропроцесорного захисту фідерів електричних мереж в 2 рази вища. Завдяки чому система при появі аварійного процесу оперативно відключає уражені елементи тягової мережі з урахуванням особливостей побудови, прискорює його локалізацію та підвищує надійність електропостачання і безпеку руху.

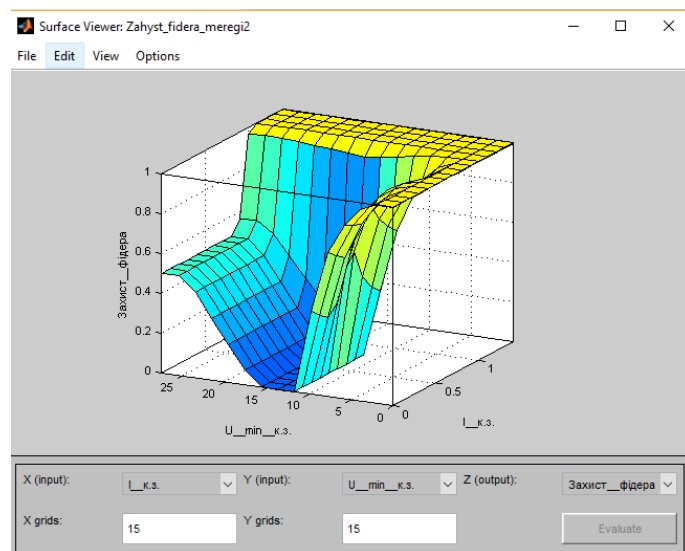


Рис. 6. Комп'ютерна модель надійності роботи мікропроцесорної системи захисту фідерів

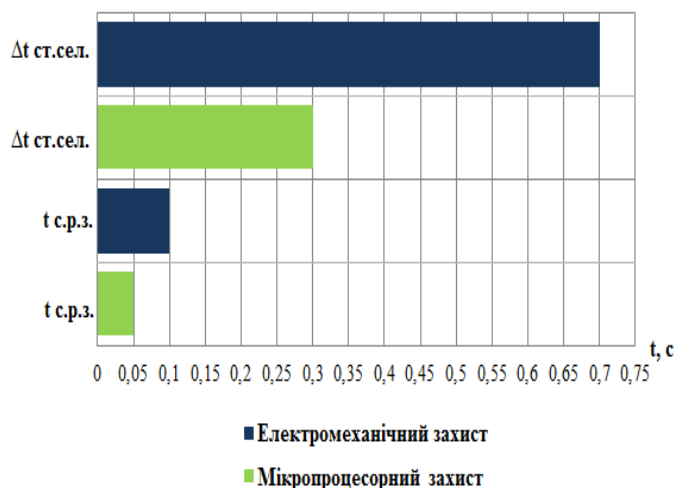


Рис. 7. Оцінка ефективності роботи мікропроцесорної системи захисту фідерів

Розв'язання проблеми забезпечення високого рівня надійності, передачі інформації і якості функціонування інтелектуальних комп'ютерних мереж, а саме дистанцій електропостачання, пов'язано з розв'язанням проблеми кібернетичної та інформаційної безпеки, для вирішення якої в дисертаційній роботі представлено логічну структуру розподіленої комп'ютерної мережі інтелектуальної системи дистанції електропостачання, що відображає її топологічні характеристики у вигляді графа (рис. 8), в якому: $P_0(t)$ – вузол, який представляє собою центральний сервер управління на рівні дистанції електропостачання; $P_1(t)$ – вузол сервера бази даних і формування єдиного інформаційного простору; $P_2(t)$ – центральний вузол зв'язку; $P_3(t)$ – вузол зв'язку з Internet; $P_4(t)$ – вузол сервера оперативного диспетчерського управління електропостачанням; $P_5(t)$ – вузол, який являє собою сервер проведення моніторингу в залізничній енергетиці; $P_6(t)$ – вузол формування звітних документів; $P_7(t)$ – вузол інтелектуальної обробки і захисту інформації; $P_{21}(t)$, $P_{22}(t)$, $P_{23}(t)$ – вузли зв'язку з відповідними локальними обчислювальними мережами тягових підстанцій, які представляють собою комп'ютерні засоби функціонально-орієнтовані на виконання тих чи інших функцій. Інтенсивність потоку атак представлена величиною $q(t)$, а інтенсивність потоку захисних дій відповідно як $Z(t)$.

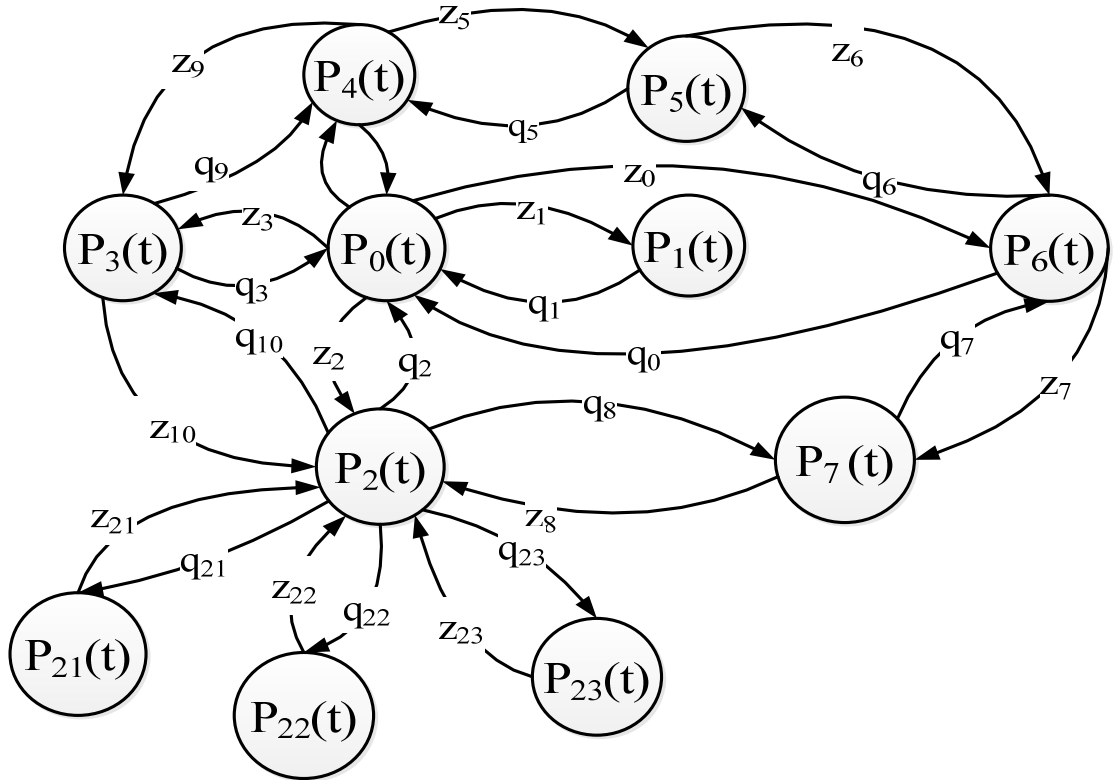


Рис.8. Граф кібербезпеки розподіленої локальної мережі дистанції електропостачання залізниць

Для дослідження комп'ютерної архітектури всережимної системи керування дистанції електропостачання, представленій у вигляді графа, синтезуємо математичну модель, для визначення, в першу чергу, ймовірностей стану вузлів за системою рівнянь Колмогорова, з відповідними початковими даними, яка описується як

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_0(t)}{dt} &= q_1P_1(t) + q_2P_2(t) + q_3P_3(t) + q_4P_4(t) + q_0P_6(t) - (Z_0 + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4)P_0(t), \\
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= Z_1P_0(t) - q_1P_1(t), \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= Z_2P_0(t) + Z_8P_7(t) + Z_{10}P_3(t) + Z_{21}P_{21}(t) + Z_{22}P_{22}(t) + Z_{23}P_{23}(t) - (q_2 + q_8 + q_2 + q_{10} + q_{21} + q_{22} + q_{23})P_2(t), \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= Z_3P_0(t) + Z_9P_4(t) + q_{10}P_2(t) - (q_3 + q_9 + Z_{10})P_3(t), \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= q_5P_5(t) + q_9P_3(t) + Z_4P_0(t) - (q_4 + Z_5 + Z_9)P_4(t), \\
 \frac{dP_5(t)}{dt} &= q_6P_6(t) + Z_5P_4(t) - (q_5 + Z_6)P_5(t), \\
 \frac{dP_6(t)}{dt} &= q_7P_7(t) + Z_0P_0(t) + Z_6P_5(t) - (q_0 + q_6 + Z_7)P_6(t), \\
 \frac{dP_7(t)}{dt} &= q_8P_2(t) + Z_7P_6(t) - (q_7 + Z_8)P_7(t),
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\frac{dP_{21}(t)}{dt} = q_{21}P_2(t) - Z_{21}P_{21}(t), \quad \frac{dP_{22}(t)}{dt} = q_{22}P_2(t) - Z_{22}P_{22}(t), \quad \frac{dP_{23}(t)}{dt} = q_{23}P_2(t) - Z_{23}P_{23}(t).$$

На основі диференційних перетворень Пухова, представлених такою парою математичних залежностей

$$P_i(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k P_i(t)}{dt^k} \right]_{t=0} \equiv P_i(t) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k P_i(k), \quad (9)$$

сформовано диференційну математичну модель для дослідження комп'ютерної архітектури всережимної системи керування дистанції електропостачання залізниць, яка є основою для визначення, в аналітичному вигляді (10), значень ймовірностей $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_5(t)$, $P_6(t)$, $P_7(t)$, $P_{21}(t)$, $P_{22}(t)$, $P_{23}(t)$ стану вузлів даної системи:

$$\begin{aligned} P_0(t) &= 1 - \beta_1 t + \frac{t^2}{2} (q_1 Z_1 + q_2 Z_2 + q_3 Z_3 + \beta_1^2), & P_1(t) &= Z_1 t - \frac{t^2}{2} Z_1 (\beta_1 + t_1), \\ P_2(t) &= Z_2 t + \frac{t^2}{2} [Z_{10} Z_3 - Z_2 (\beta_1 + \beta_2)], & P_3(t) &= Z_3 t + \frac{t^2}{2} [q_{10} Z_2 + Z_9 Z_4 - Z_3 (\beta_1 + \beta_3)], \\ P_4(t) &= Z_4 t + \frac{t^2}{2} [q_9 Z_3 - Z_4 (\beta_1 + \beta_4)], & P_5(t) &= \frac{t^2}{2} [q_6 Z_0 + Z_5 Z_4], \\ P_6(t) &= Z_0 t - \frac{t^2}{2} Z_0 (\beta_1 + \beta_6) = \left[1 - \frac{t}{2} (\beta_1 + \beta_6) \right] Z_0 t, & P_7(t) &= \frac{t^2}{2} (q_8 Z_2 + Z_7 Z_0), \\ P_{21}(t) &= \frac{t^2}{2} q_{21} Z_2, & P_{22}(t) &= \frac{t^2}{2} q_{22} Z_2, & P_{23}(t) &= \frac{t^2}{2} q_{23} Z_2. \end{aligned} \quad (10)$$

Значення ймовірностей стану кожного вузла графа локальної мережі керування дистанції електропостачанням (10) використаємо для формування критерія захищеності інформаційних ресурсів, що можна записати як

$$\Theta_i(t) = \frac{1}{2} \int_{t=t_0}^T P_i(t) dt, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

За умови

$$\min_{z_j \in E_z} \max_{q_j \in E_q} \Theta_i(q_j, z_j) = \max_{q_j \in E_q} \min_{z_j \in E_z} \Theta_i(q_j, z_j) = \Theta_i^{*opt}(q_j^{opt}, z_j^{opt}), \quad (12)$$

шукані стратегії q_j^{opt} та z_j^{opt} , називаються оптимальними. Стратегія забезпечення безпеки інформації полягає в пошуку закону зміни потоку інтенсивності захисних дій z_j , яка реалізує мінімізацію функціонала (11) при стохастичній інтенсивності потоків кібератак q_j . У відповідних межах домінуючою стратегією забезпечення безпеки інформації буде стратегія на основі принципу мінімаксу, тобто

$$\min_{z_j \in E_z} \max_{q_j \in E_q} \Theta_i(t, P_i q_j, z_j). \quad (13)$$

Застосування мінімаксної стратегії (13) дозволяє мінімізувати функціонал (11) навіть у випадках найгіршого сполучення інтенсивності потоків кібератак q_j з довільним законом потоку інтенсивності з захисних дій z_j . Реалізуємо процедуру оптимізації через дискрети диференціального спектра $P_i(k)$ на основі прямого диференційного перетворення (9) до функціоналу (11) у вигляді

$$\Theta_i^* = \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{P_i(k)}{k+1}. \quad (14)$$

Процедура пошуку оптимальних стратегій інтенсивності потоків кібератак q_j^{opt} та потоку інтенсивності захисних дій z_j^{opt} функціоналу Θ_i^* невід'ємно пов'язана з дослідженням його на екстремум. Відомо, що необхідними умовами існування екстремуму функціонала $\Theta_i^*(q_j, z_j)$ згідно з теоремою Куна-Такера, є умови, що дозволяють визначити оптимальну стратегію забезпечення безпеки інформації вигляду.

$$\begin{cases} \frac{d}{dz_0}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) = 0, \\ \dots \\ \frac{d}{dz_{23}}(\Theta_{23}^*(q_j, z_j)) = 0, \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{d}{dq_0}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) = 0, \\ \dots \\ \frac{d}{dq_{23}}(\Theta_{23}^*(q_j, z_j)) = 0. \end{cases} \quad (15)$$

Розв'язавши систему лінійних алгебричних рівнянь, одержимо оптимальні стратегії q_j^{opt} та z_j^{opt} . Знаки екстремумів у стратегіях q_j^{opt} та z_j^{opt} визначаються на основі перевірки достатніх умов шляхом

$$\begin{cases} \frac{d^2}{dz_0^2}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) \gg 0, \\ \dots \\ \frac{d^2}{dz_{23}^2}(\Theta_{23}^*(q_j, z_j)) \gg 0, \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{d^2}{dq_0^2}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) \gg 0, \\ \dots \\ \frac{d^2}{dq_{23}^2}(\Theta_{23}^*(q_j, z_j)) \gg 0. \end{cases} \quad (16)$$

Обчисливши значення оптимальних стратегій q_j^{opt} та z_j^{opt} згідно з (15), що відповідають умовам (16) і підставивши їх в (14) визначається рівень захищеності інформації S_0 -го вузла графа, що відображає локальну обчислювальну мережу управління дистанції електропостачання тягової підстанції.

Завдяки впровадженню комп'ютерного контролю технічного стану, автоматичної діагностики та моніторингу технологічного устаткування, систем релейного захисту та протиаварійної автоматики, мікропроцесорних систем захисту фідерів комп'ютерна система управління режимами роботи електричних мереж залізниць підвищить оперативність аналізу управління швидкоплинними технологічними процесами постачання електроенергії на тягу поїздів, стійкість і безаварійність роботи, ефективність експлуатації електричних мереж, надійність системи електропостачання та безпеки руху.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу розробки методів синтезу розподілених комп'ютерних систем і мережевих технологій моніторингу, ідентифікації, оптимізації та інтелектуалізації процедур управління режимами енергозбереження систем електропостачання залізниць, які полягають в одержанні нових архітектурних рішень мікропроцесорної системи захисту фідерів електричних тягових мереж залізниць з розширеними функціональними можливостями, які стали основою організації комп'ютерної архітектури системи електропостачання, орієнтованої на дослідження та керування електропостачанням залізниць на всіх рівнях ієрархії.

У результаті дослідження отримано такі основні наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану функціонування системи електропостачання залізничного транспорту, відображено специфіку керування електропостачанням мереж постійного і змінного струму, а також особливості управління електричними мережами, перспективи розвитку сучасних систем електропостачання залізницям, на основі яких була розроблена математична модель функціонування інтелектуальної тягової мережі системи електропостачання.

2. На підставі проведених досліджень розроблено й запропоновано методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць, організації комп'ютерно-інтегрованих технологій систем безперервного моніторингу, інтелектуалізації процедур управління і оптимізації режимів електропостачання, енергозбереження і безпеки руху, і на їх базі запропоновано методологію синтезу інформаційно-керуючих систем дослідження режимів електричних мереж, а також основи організації корпоративної інформаційної системи управління електропостачанням залізниць.

3. Удосконалено математичні моделі організації моніторингу, контролю та ідентифікації параметрів режимів тягових електричних мереж залізниць і способи організації синхронно зареєстрованої, в різних сегментах систем електропостачання, первинної інформації та формування її у вигляді єдиного інформаційного простору з загальносистемних позицій як основи оптимізації енергопостачання, покращення безпеки руху і реалізації енергозберігаючих технологій.

4. Розроблено математичні моделі як основи організації мікропроцесорного захисту, що базується на використанні сучасних мікропроцесорних пристроїв, в яких завдяки спроможності логічної обробки інформації відкриваються широкі функціональні можливості реалізовувати надійність роботи системи. А також показані шляхи організації багатокритеріального захисту завдяки використанню, в процесі виконання контролю параметрів режимів кожного фідера в реальному часі, сукупності різних методів і формуванні загального висновку на основі отриманих результатів аналізу.

5. Розроблено та досліджено методи синтезу архітектур мікропроцесорних систем захисту тягових мереж з гнучкою логікою і широкими функціональними можливостями розпізнавання аномальних і аварійних режимів функціонування систем електропостачання, що проводиться шляхом організації ковзкого

моніторингу параметрів режимів одночасно фідерів тягових мереж і високовольних комутаційних апаратів, а також багатокритеріального контролю і прогнозу технічного стану, включаючи запис первинної інформації до аварійного і аварійного режиму синхронно за часом та формуванням керуючих впливів захисту від короткого замикання.

6. Запропонована диференційна математична модель для визначення рівня захищеності інформації вузлів графа локальної обчислювальної мережі тягової підстанції, що базується на теорії диференціальних перетворень Пухова, як основи створення інтелектуальних засобів захисту інформаційних ресурсів локальних комп'ютерних мереж. Наведено методи оптимізації в області Т-зображень з використанням дискрет диференціального спектра ймовірностей вузлів графа, для дослідження комп'ютерної архітектури всережимної системи управління дистанції електропостачання залізничного транспорту, на основі яких сформульовано критерій забезпечення безпеки інформаційних ресурсів.

7. Розроблено та досліджено шляхи вдосконалення архітектурних рішень комп'ютерної системи управління режимами роботи електричних мереж залізниць, яка дозволяє підвищити надійність та ефективність інформаційно-діагностичних функцій системи, забезпечуючи комплексне автоматизоване керування режимами енергопостачання, та яка є орієнтованою на вирішення задач технологічного, експлуатаційного та диспетчерського управління.

8. Проведено експериментальні дослідження на тягових підстанціях Південно-західної залізниці, завдяки яким досліджено методи ідентифікації аварійних та аномальних режимів тягових електричних мереж, в режимі реального часу. За результатами досліджень проведено комп'ютерне моделювання мікропроцесорної системи захисту фідерів на основі миттєвих значень вхідних параметрів режимів електричних мереж.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Голуб Г.М. Комп'ютерна інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління системи електропостачання залізниць / Г. М. Голуб // Зб. наук. праць ДЕТУТ: серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2013. – № 23. – С. 134 – 141.

2. Стасюк О.І. Методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць / О.І. Стасюк, Л.Л. Гончарова, В.Ф. Максимчук, Г.М. Голуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – № 5. – С. 29 – 35.

3. Стасюк О.І. Математичні моделі і комп'ютерно-орієнтовані методи моніторингу і ідентифікації аварійних режимів тягових мереж / О.І. Стасюк, В.Л. Тутик, Л.Л. Гончарова, Г.М. Голуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – № 2. – С. 7 – 13.

4. Стасюк О.І. Методи організації мікропроцесорних архітектур захисту фідерів контактної мережі / О.І. Стасюк, Л.Л. Гончарова, Г.М. Голуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – № 4. – С. 10 – 19.

5. Кульбовський І.І. Дослідження та аналіз нормативної та нормативно-технічної документації, які забезпечують інформаційну безпеку SMART GRID систем / І.І. Кульбовський, Г.М. Голуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. – № 3. – С. 50 – 57.

6. Golub G. M. Reliability control of failure-free operation of power supply system of railroad and its components by methods of intellectualization and informatization / G. M. Golub // Metallurgical and Mining Industry. – 2017. – № 5. – С. 8 – 13.

7. Golub G. M. Methodological aspects of electric safety system analysis at underground enterprises / G. M. Golub, I.I. Kulbovsky, A.L. Sorochinska, A.V. Vambura // Metallurgical and Mining Industry. – 2017. – № 5. – С. 14 – 20.

8. Голуб Г.М. Методи організації комп'ютерної системи автоматизованого управління технологічними процесами на залізничному транспорті / Г.М. Голуб // VI Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту»: Управління, економіка, технології. – Київ, 2013. – С. 189.

9. Голуб Г.М. Розвиток інтелектуальних електричних мереж на ринку електричної енергії України / Г.М. Голуб // XLIII науково-практична конференція молодих учених, аспірантів, студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки». – Київ, 2013. – Ч.1. – С. 20.

10. Голуб Г.М. Дослідження розподілених комп'ютерних систем інтелектуалізації управління режимами енергозбереження мереж електропостачання залізниць України / Голуб Г.М // LXX Наукова конференція професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та співробітників структурних підрозділів НТУ. – Київ, 2014. – С. 275.

11. Голуб Г.М. Аналіз стану розподільних електричних мереж та їх удосконалення на основі концепції SMART GRID / Г.М. Голуб // Науково-практична конференція «Розвиток науки і техніки на залізничному транспорті. – К.: ДЕТУТ, 2014. – С. 37 – 38.

12. Голуб Г.М. Аналіз функціонування системи автоматичного збору технологічної інформації на електроенергетичних об'єктах залізниць України / Г.М. Голуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – № 4 (Дод.). – С. 38.

13. Голуб Г.М. Модернізація пристроїв електропостачання залізниць України / Г.М. Голуб / Збірник тез науково-практичної конференції ДЕТУТ «Розвиток науки і техніки на залізничному транспорті». – К.: ДЕТУТ, 2015. – С. 27 – 28.

14. Голуб Г.М. Шляхи підвищення ефективності та забезпечення інформаційної безпеки електропостачання залізниць / Г.М. Голуб // Матеріали X Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті ЕКУЗТ-2015». – Київ, 2015. – С. 33 – 34.

15. Голуб Г.М. Дослідження комп'ютерних засобів інтелектуалізації процедур оптимізації режимів електропостачання залізниць. / Г.М. Голуб // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS- 2015)». – Дніпропетровськ, 2015. – С. 121 – 122.

16. Голуб Г.М. Дослідження системи автоматизованого управління режимами роботи локальних і технологічних електричних мереж / Г.М. Голуб // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті S&EMC, с. Розлуч. – Д.: ДПТ, 2016. – С. 27.

17. Голуб Г.М. Концептуальні основи організації інтегрованої системи управління електроспоживанням / Г.М. Голуб // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте – ЭКУЖТ 2016: Материалы XI Международной научно-практической интернет-конференции. – К.: ГЭТУТ, 2016. – С. 76 – 77.

18. Голуб Г.М. Аналіз ефективності роботи електроенергетичного виробництва на основі інформатизації та інтелектуалізації його систем керування. / Г.М. Голуб // IX Міжнародна науково-практична конференція «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті S&EMC, м. Чернівці. – Д.: ДПТ, 2017. – С. 25 – 26.

19. Голуб Г.М. Забезпечення надійності безвідмовної роботи систем постачання електроенергії на тягу поїздів програмно-технічними комплексами безперервного моніторингу режимів електричних мереж. / Г.М. Голуб // XLVIII Науково-практична конференція молодих учених, аспірантів, магістрів і спеціалістів «залізничний транспорт: сучасні проблеми науки». – К.: ДЕУТ, 2017. – С. 16 – 18.

20. Голуб Г.М. Перспективи впровадження інтелектуальних технологій для організації комп'ютеризованої системи управління режимами електричних мереж / Г.М. Голуб // XXI Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т.6. – Харків: ХНУРЕ, 2017. – С. 52 – 53.

21. Пат.№100183,G06F 11/00 Мікропроцесорна система захисту фідерів електричних тягових мереж залізниць/ О.І. Стасюк, А.Д. Возненко, Л.Л. Гончарова, А.Ф. Буткевич, Г.М. Голуб, Ю.О. Романюк// заявник та власник патенту Державний економіко-технологічний університет транспорту. – № u201501419; заявл. 19.12.2015; опуб. 10.07.2015, Бюл. № 13.

АНОТАЦІЯ

Голуб Г.М. Методи організації комп'ютерних систем інтелектуалізації процедур управління і оптимізації режимів електропостачання залізничного транспорту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – «Комп'ютерні системи та компоненти». – Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, 2017 р.

У дисертаційній роботі дістали подальшого розвитку методи синтезу розподілених комп'ютерних систем і мережевих технологій моніторингу, ідентифікації, оптимізації та інтелектуалізації процедур управління режимами енергозбереження систем електропостачання залізниць. Удосконалені математичні моделі організації моніторингу, контролю та ідентифікації параметрів режимів тягових електричних мереж залізниць і способи організації синхронно зареєстрованої первинної інформації та формування її у вигляді єдиного інформаційного простору. Вперше запропоновано методи синтезу архітектур мікропроцесорних систем захисту тягових мереж з гнучкою логікою і широкими

функціональними можливостями розпізнавання аномальних і аварійних режимів функціонування систем електропостачання, та на їх базі розроблено структурну схему мікропроцесорної системи захисту фідерів електричних тягових мереж залізниць. Запропонована диференційна математична модель для визначення рівня захищеності інформації вузлів графа локальної обчислювальної мережі тягової підстанції, що базується на основі теорії диференціальних перетворень Пухова, як основи створення інтелектуальних засобів захисту інформаційних ресурсів локальних комп'ютерних мереж. Розроблено та досліджено шляхи вдосконалення архітектурних рішень комп'ютерної системи управління режимами роботи електричних мереж залізниць, яка дозволяє підвищити надійність та ефективність інформаційно-діагностичних функцій системи, забезпечуючи комплексне автоматизоване керування режимами енергопостачання, та яка орієнтована на вирішення задач технологічного, експлуатаційного та диспетчерського управління.

Ключові слова: комп'ютерні системи, інтелектуалізація процедур управління, ідентифікація режимів, оптимізація, моніторинг, мікропроцесорні пристрої, кібербезпека, архітектура комп'ютерної системи.

АННОТАЦІЯ

Голуб М. Методы организации компьютерных систем интеллектуализации процедур управления и оптимизации режимов электроснабжения железнодорожного транспорта. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Компьютерные системы и компоненты». – Государственный экономико-технологический университет транспорта, Киев, 2017

В диссертационной работе получили дальнейшее развитие методы синтеза распределенных компьютерных систем и сетевых технологий мониторинга, идентификации, оптимизации и интеллектуализации процедур управления режимами энергосбережения систем электроснабжения железных дорог. Усовершенствованы математические модели организации мониторинга, контроля и идентификации параметров режимов тяговых электрических сетей железных дорог и способы организации синхронно зарегистрированной первичной информации и формирования ее в виде единого информационного пространства. Впервые предложены методы синтеза архитектур микропроцессорных систем защиты тяговых сетей с гибкой логикой и широкими функциональными возможностями распознавания аномальных и аварийных режимов функционирования систем электроснабжения, и на их базе разработана структурная схема микропроцессорной системы защиты фидеров электрических тяговых сетей железных дорог. Предложена дифференциальная математическая модель для определения, уровня защищенности информации узлов графа локальной вычислительной сети тяговой подстанции, которая базируется на теории дифференциальных преобразований Пухова, как основы создания интеллектуальных средств защиты информационных ресурсов локальных компьютерных сетей. Разработаны и исследованы пути совершенствования архитектурных решений компьютерной системы управления режимами электрических сетей железных дорог, которая позволяет повысить

надежность и эффективность информационно-диагностических функций системы, обеспечивая комплексное автоматизированное управление режимами энергоснабжения, и ориентирована на решение задач технологического, эксплуатационного и диспетчерского управления.

Ключевые слова: компьютерные системы, интеллектуализация процедур управления, идентификация режимов, оптимизация, мониторинг, микропроцессорные устройства, кибербезопасность, архитектура компьютерной системы.

ANNOTATION

Golub G.M. Methods of organization of computer systems for intellectualization of control procedures and optimization of power supply modes of railway transport. – The Manuscript.

The dissertation on competition of a PhD scientific degree on the specialty 05.13.05 – «Computer systems and components». – State Economy and Technology University of Transport, Kyiv, 2017.

In the thesis work the methods of synthesis of distributed computer systems and network technologies for monitoring, identification, optimization and intellectualization of procedures for managing the energy saving modes of power supply systems for railways were further developed. Mathematical models of organization of monitoring, control and identification of parameters of traction electric networks of railroads and ways of organizing synchronously registered primary information and its formation as a single information space have been improved. For the first time, methods for the synthesis of architectures for microprocessor protection systems for traction networks with flexible logic and broad functional capabilities for recognizing abnormal and emergency modes of operation of power supply systems have been proposed, and on their basis a structural scheme of a microprocessor protection system for feeders of electric traction networks of railways has been developed. A differential mathematical model is proposed for determining the level of information security of nodes in the graph of a local computer network of a traction substation that is based on the theory of Pukhov differential transformations as the basis for creating intellectual means of protecting information resources of local computer networks. The ways of improving the architectural solutions of the computer system for controlling the modes of electric networks of railways have been developed and investigated, which makes it possible to improve the reliability and efficiency of the information and diagnostic functions of the system, providing a comprehensive automated control of the power supply modes, and is focused on solving the problems of technological, operational and dispatching control.

Keywords: computer systems, intellectualization of control procedures, mode identification, optimization, monitoring, microprocessor devices, cybersecurity, computer system architecture.

Голуб Галина Михайлівна

**МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ
ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕДУР УПРАВЛІННЯ І ОПТИМІЗАЦІЇ
РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 27.06.2017 р.
Формат 60X84/16. Папір офсетний. Ум.-друк. арк. 0,9.
Спосіб друку – ризографія. Замовлення 143/17. Наклад 100 прим.

Надруковано у Редакційно-видавничому відділі
Державного економіко-технологічного університету транспорту
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК №3079 від 27.12. 2007 р.
в л. Івана Огієнка, 19, м. Київ