

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту

ГАСВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 656.25:681.05.015

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ
МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ
ОПЕРАТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПОРУШЕНЬ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Мойсеєнко Валентин Іванович,
Український державний університет
залізничного транспорту,
завідувач кафедри
спеціалізованих комп'ютерних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Харченко Вячеслав Сергійович,
Національний аерокосмічний університет ім.
М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут», кафедра комп'ютерних систем,
мереж і кібербезпеки, завідувач кафедри;

кандидат технічних наук, доцент
Маловічко Володимир Володимирович,
Дніпровський національний університет
залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна,
кафедра автоматики та телекомунікацій,
доцент.

Захист відбудеться «22» квітня 2021 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «20» березня 2021 року.

В.о. ученого секретаря
спеціалізованої вченої ради



О.М. Огар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Системи мікропроцесорної централізації (МПЦ) на різних етапах життєвого циклу визначаються стандартними кількісними та якісними показниками. Але у подальшій експлуатації їх оцінка не виконується, незважаючи на те що з часом погіршуються такі характеристики, як відмовостійкість, безвідмовність, безпечність, ремонтпридатність. Усі відомі методи ідентифікації та оперативної локалізації порушень у роботі МПЦ також не припускають застосування поточної оцінки показників системи в процесі її функціонування.

Одним із напрямів вирішення зазначених питань є удосконалення технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації шляхом розроблення та корекції методів ідентифікації і оперативної локалізації небезпечних подій з подальшим формуванням альтернативних сценаріїв роботи. Вони розробляються з урахуванням оцінки оперативних показників функціонування та ймовірностей виникнення небезпечних ситуацій, блокування можливостей негативного розвитку й прояву небезпечних подій у майбутньому та можливістю автоматичної видачі рекомендацій експлуатаційному персоналу про найбільш ефективні та безпечні варіанти реалізації команд керування.

Сучасні наукові розробки у повній мірі не вирішують поставленого завдання. Також, це дуже складно зробити традиційними технічними та технологічними засобами. Натомість інструменти «Індустрії 4.0» надають можливість комплексної оцінки стану МПЦ в умовах експлуатації за допомогою комп'ютерно-інтегрованих інформаційних технологій. При цьому враховуються як зовнішньо-технічні, так і внутрішньо-ергономічні фактори.

Дисертаційне дослідження спрямоване на вирішення важливої науково-прикладної задачі удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації шляхом оперативного виявлення порушень. Це дасть змогу зменшити час на пошук, ідентифікацію та локалізацію порушень нормальної роботи МПЦ з урахуванням процесів їх технічного обслуговування (ТО).

На теперішній час при вирішенні вказаних проблем у повній мірі не використовуються можливості системного підходу до процесів безпечного використання засобів залізничного транспорту, що свідчить про актуальність дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Роботу виконано згідно з «Транспортною стратегією України на період до 2030 року», яку затверджено рішенням КМУ від 30.05.2018 р. № 430-р., а також науково-дослідницькою роботою: «Формування теоретичних засад підвищення ефективності використання інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті» №23/1-2016 (ДР № 0116U000787, інв. № 0218U000504; інв. № 0718U00051) у якій автор брав участь як дослідник.

Мета і завдання дослідження. Метою наукової роботи є підвищення безпеки руху шляхом удосконалення процесу технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі оперативної ідентифікації, оцінки й локалізації порушень та блокування дії дестабілізаційних факторів.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження необхідно вирішити такі взаємопов'язані завдання:

- провести аналіз і теоретичне узагальнення методів і моделей ідентифікації та оперативної локалізації порушень у системах мікропроцесорної централізації;
- розробити метод безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації;
- розробити метод підвищення безпеки технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі моделей (технологій) інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів;
- удосконалити модель визначення ризику появи небезпечного стану процесу технічної експлуатації системи МПЦ;
- удосконалити метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних;
- провести імплементацію та практичну апробацію розроблених методів і моделей визначення небезпечних станів у системах мікропроцесорної централізації.

Об'єкт дослідження – процес технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації.

Предмет дослідження – методи і моделі оперативної ідентифікації, оцінювання та локалізації небезпечних станів систем мікропроцесорної централізації.

Методи дослідження. Для розробки методу забезпечення безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації з урахуванням показників якості проведення ТО було використано методологію та теоретичні основи побудови і безпечної експлуатації засобів залізничного транспорту, теорію масового обслуговування, науково – методолігічний апарат ризик-менеджменту, сучасні методи дослідження причин та наслідків порушень.

Для вдосконалення методу оцінювання технічного стану в умовах обмежених статистичних даних використано теорію стійкості, теореми лінійної алгебри, математичний апарат теорії ймовірності та математичної статистики, теоретичні положення булевої логіки.

Для створення моделей дослідження структур мікропроцесорних централізацій та взаємодії між їхніми елементами, дослідження їх програмних конфігурацій використані теорія графів, системний аналіз, методи оптимізації алгоритмів.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в розв'язанні задачі удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації

за рахунок оперативної ідентифікації пошкоджень техніки і помилок персоналу та локалізації можливих негативних наслідків небезпечних подій.

Конкретні наукові результати, що одержані автором особисто, полягають у такому:

Вперше:

- розроблено метод забезпечення безпеки функціонування системи мікропроцесорної централізації, який дає змогу локалізувати небезпечні стани критичних об'єктів станційної інфраструктури за рахунок ідентифікації змін у параметрах і процедурах їх функціонування та оцінювання ризиків втрат відповідно до можливого сценарію розвитку небезпечної ситуації;

- розроблено метод та процедуру інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, яка забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності систем мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та наступного блокування безпеки.

Удосконалено:

- модель визначення небезпечного стану процесу технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації шляхом нарощування базової моделі графа її станів, яка на відміну від відомих, забезпечує оперативне виявлення небезпечних станів та забезпечує дотримання безпечної процедури роботи людино-машинної системи при нештатних ситуаціях;

- метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження, який, на відміну від відомих, дозволяє визначити ймовірності прояву пошкодження або іншого дефекту електронного обладнання та звести процедуру оцінювання до ймовірнісної оцінки порушення цілісності класу еквівалентності контролерів певного типу за структурно-функціональною ознакою;

- метод оцінювання структур окремих систем мікропроцесорної централізації на основі теорії графів з використанням матриць суміжності та матриці відстані, який, на відміну від відомих, дає змогу визначити найбільш навантажені елементи структури в процесі технічної експлуатації та оперативно вжити заходів щодо забезпечення живучості системи при пошкодженні її окремих елементів.

Дістали подальшого розвитку:

- модель оперативного визначення показників безпеки при формуванні поїзних та маневрових маршрутів на основі структурних функцій, що описують логіку роботи систем централізації, яка, на відміну від існуючих, дозволяє в режимі реального часу оцінювати рівень безпеки, для конкретного маршруту на основі статистичних даних про параметри відмов об'єктів керування, які входять до нього;

- модель показників функційної безпечності компонентів станційних систем яка, на відміну від існуючих, враховує мінливість інтенсивності відмов у процесі їх життєвого циклу, що дає змогу розширити

межі застосування експоненціального закону розподілу при визначенні технічного стану системи.

Практичне значення результатів роботи. За рахунок використання методу Марківського аналізу сформовано багатовимірний функціонал надійності та безпечності, що дає можливість визначати стан системи мікропроцесорної централізації в довільні моменти часу з урахуванням параметрів зношення елементів та врахуванням мінливостей інтенсивності відмов компонентів, що забезпечує визначення передвідмовних станів.

Застосування комплексу розроблених методів ідентифікації та локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленими можуть привести до небезпечних наслідків дало змогу: зменшити на 7,4 % витрати часу на пошук пошкоджень технічним персоналом; збільшити на 6,9 % ймовірність виявлення та подальшої локалізації небезпечних подій у системах мікропроцесорної централізації; зменшити на 3,2 % кількість порушень, які віднесені до господарств сигналізації та зв'язку і на 13,9 % кількість відмов пристроїв СЦБ, які викликали затримку поїздів за рахунок оперативного їх виявлення та своєчасної локалізації.

Економічний ефект від впровадження однієї системи на станції складає 181973 грн.

Одержані в дисертації результати використовуються в ТОВ «НВО «Залізничавтоматика» при розробці проектно-кошторисної документації та реалізації проектів: «Будівництво дільниці Сирецько-Печерської лінії метрополітену від станції «Сирець» на житловий масив Виноградар з електродепо у Подільському районі» КП «Київський метрополітен», Договір з ТОВ «КІЇВМЕТРОПРОЕКТ» № 25/04-17 від 25.04.2017 року; «Розробка робочого проекту по реконструкції пристроїв СЦБ та зв'язку цеху залізничного транспорту» ПрАТ «Євроцемент-Україна», Договір з ПрАТ «Євроцемент-Україна» №12-86/18 від 15.05.2018 року; «Технічне переоснащення мікропроцесорної централізації станції Фабрична. Залізничний цех. ПрАТ «Полтавський ГЗК». Робочий проект», Договір з ПрАТ «Полтавський ГЗК» № 2051 від 15.07.2019 року; «Система диспетчерської централізації гірничого кола. Залізничний цех. ПрАТ «Полтавський ГЗК». Робочий проект» Договір з ПрАТ «Полтавський ГЗК» № 256 від 31.01.2019 року; «Обладнання пристроями релейно-процесорної централізації маневрового району Київ Пасажирський-Технічна. Четверта черга» Регіональна Філія «Південно-Західна Залізниця» АТ «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ» Договір з АТ «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ» № ПЗ/Ш-191243/НЮ від 05.11.2019 року; та в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту при підготовці бакалаврів та магістрів зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, а також у Центрі навчально-практичної підготовки, професійної та дуальної освіти (ЦНПП). Практичну значущість наукових результатів дослідження підтверджено актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові та практичні результати роботи, що виносяться на захист, одержані автором спільно з науковим керівником. У роботах, виконаних у співавторстві, особисто автору належать такі наукові результати: [1] – розроблено математичну модель, що використовується в методі аналітичного оцінювання відмов системи мікропроцесорної централізації при виявленні дефекту їх апаратних компонентів у процесі експлуатації; [2] – обґрунтовано апарат математичної статистики для обробки результатів в умовах обмеженості даних, побудовано математичні моделі, що реалізують розроблений метод оцінювання; [3] – розроблено математичні моделі для дослідження системи мікропроцесорної централізації з використанням матриць суміжності та відстані; [4] – розроблено структурно-логічні моделі технологічних процесів реалізації маршрутів на залізничних станціях для формалізації логічних умов їх функціонування при розробленні та конфігуруванні програмного забезпечення станційних системи мікропроцесорної централізації; [5] – обґрунтовано можливості використання концепції ризик-менеджменту для удосконалення технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації а саме застосування методів аналізу надійності – Методу структурної схеми надійності та Марківського аналізу; [6] – розроблено модель інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів системи мікропроцесорної централізації; [7] – розроблено модель прийняття керуючих рішень в умовах впливу дестабілізаційних факторів.

Апробація результатів дисертації. Апробація результатів дисертаційного дослідження проводилась на таких наукових, науково-практичних конференціях та семінарах: 29 – 33 міжнародні науково-практичні конференції МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Чорноморськ, м. Харків, 2016 – 2020 роки.; X – XI Міжнародні науково-практичні конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті», 2016 - 2017 роки, м. Дніпро: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна; 79-та МНТК «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», квітень, 2017 рік, м. Харків, УкрДУЗТ; V International Scientific and Technical Conference «Engineering. Technologies. Education. Securty'2017» (Veliko Tarnovo, Bulgaria, 31 May – 03 June 2017); VII міжнародна залізнична конференція UARAIL & PARTNERS «Інфраструктура та рухомий склад», 04 – 09 вересня 2017 рік, м. Харків; 30 – 32 міжнародні науково-практичні конференції «Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики та засобів телекомунікації на базі цифровізації» 27 – 28 вересня 2017 р., м. Одеса, 27 – 28 вересня 2018 р., м. Харків, 24 – 26 вересня 2019 р., м. Львів ; I міжнародна НТК Академії технічних наук України, 15 – 17 жовтня 2017 р., м. Івано-Франківськ; II МНПК «Прикладні науково-технічні дослідження» 3 – 5 квітня 2018 р., м. Івано-Франківськ, Академія Технічних Наук України; II-III міжнародні конференції «Інжиніринг та устаткування залізниць» 16 – 18 жовтня 2018 р., 16 – 18 жовтня 2019 р., м. Київ; IX

міжнародна залізнична конференція UARAIL & PARTNERS «Інфраструктура та рухомий склад» (EuroTrain) 03 – 08 червня 2019 р., м. Львів.

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 17 наукових праць, з яких сім статей у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (три з них включено до міжнародних наукометричних баз, у тому числі дві – до бази Scopus), десять праць апробаційного характеру, десять додаткових праць.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 214 сторінок, з яких обсяг основного тексту – 168 сторінок, 45 рисунків за текстом, з яких 5 рисунків на окремих сторінках, 11 таблиць, список використаних джерел із 152 найменувань і 4 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, показано зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими темами та програмами, визначено особистий внесок здобувача в наукових роботах, опублікованих у співавторстві, подано інформацію про апробацію та публікацію результатів дисертаційного дослідження.

У першому розділі наведені результати дослідження причин та наслідків порушень в роботі систем залізничної автоматики, аналізу їх стану й можливості виконувати встановлені функції.

Проведено аналіз наукових праць у предметній області. Встановлено, що науково-методологічні основи надійності та функційної безпечності систем автоматизації і, зокрема пристроїв залізничної автоматики досліджувалися Панченко С., Бабаєвим М., Мойсеєнко В., Самсонкіним В., Харченко В., Кустовим В., Лісенковим В., Ястребенецьким М., Соляником Б. та ін.

Методики оцінки та керування ризиками висвітлюються у публікаціях: Хенлі Е. Дж., Куммамото Х., Barlow R., Fussel I., Бартон Т., Уокера П., Шенкіра У., Воловельської І., Диканя В., Дячкова Д., Кравченко О., Крихтіної Ю., Маркова І., Мостенської Т, Посохова І., Самсонкіна В., Скопенко Н., Токмакова І., та ін.

Питання удосконалення методів і моделей оцінювання технічного стану та уніфікації методології розроблення й конфігурування програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем залізничної автоматики розглядаються у працях Karevs V., Tang L., Schut D., Pereira J., Stewart C., Бойніка А., Жуковицького І., Маловічка В., Каменєва О., Бобровського В., Вернигори Р., Козаченка Д., Мороза В. та ін.

Проблеми інтерактивної взаємодії людини і технічних засобів при вирішенні задач комплексної оцінки та ідентифікації технічного стану

системи мікропроцесорної централізації розглядаються у працях: Arlat J., Бочкова К., Бутенка В., Лапка А., Лістрового С., Меліхова А. та ін.

Результати дослідження математичних моделей структур мікропроцесорних централізацій наведено в роботах: Кернопа Д., Розенберга Р., Тарасика В., Д'яконова В., Попова Б., Чарльза Г., Пенні Д. та ін.

Більшість досліджень вирішують окремі питання оцінювання технічного стану системи мікропроцесорної централізації, але всі відомі методи і моделі не припускають застосування поточної оцінки їх показників у процесі її функціонування, також відсутній комплексний підхід до оцінки їх технічного стану в ході експлуатації. Тому актуальним є розроблення та удосконалення методів ідентифікації та оперативної локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленими можуть привести до небезпечних наслідків з урахуванням можливих помилок людини – оператора в процесі експлуатації систем МПЦ.

За результатами дослідження сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи, які передбачають розробку комплексу методів і моделей що забезпечують виявлення порушень на більш ранній стадії їх подальшу ідентифікацію, оцінку та локалізацію.

У другому розділі проведено розробку та удосконалення методів і моделей оперативної ідентифікації, оцінювання та локалізації небезпечних станів системи мікропроцесорної централізації.

На першому етапі формалізовано опис логіки роботи систем залізничної автоматики (ЗА). Прийнято, що будь який об'єкт ЗА має декілька станів S_j в різних режимах роботи, що характеризується набором параметрів $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. Також введено обмеження стосовно представлення процесу його функціонування, що кожний із зазначених параметрів може приймати тільки два значення: 0 та 1.

Враховуючи специфіку їх використання, базову модель графа станів процесу використання засобів ЗА доповнено станом транспортної події та визначено п'ять можливих станів систем, з яких $S_{ш.}$, $S_{п.з.}$ і $S_{п.н.}$ дозволяють безпечно їх функціонування, а небезпечними є нештатний незапланований небезпечний стан $S_{н.н.}$ і стан транспортної події $S_{т.п.}$. Розроблений граф представлено на рисунку 1.

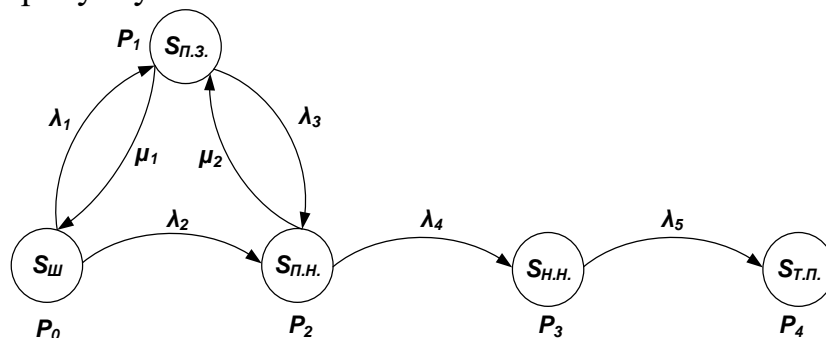


Рисунок 1 – Граф станів процесу використання засобів ЗА

Для розробленого графа синтезовано систему диференціальних рівнянь і після використання перетворень Лапласа для похідної від функції $P(t)$ з визначенням умови в початковий момент часу $t=0$: $P_0(0) = 1$; $P_k(0) = 0$; $k = 1, 4$ виписано оригінал $\bar{P}_2(t)$ (повернення функції до (t)):

$$\bar{P}_2(t) = \frac{-\lambda_2 z_1 - d}{(z_1 - z_2)(z_1 - z_3)} e^{z_1 t} - \frac{\lambda_2 z_2 + d}{(z_2 - z_1)(z_2 - z_3)} e^{z_2 t} + \frac{\lambda_2 z_3 + d}{(z_3 - z_1)(z_3 - z_2)} e^{z_3 t} \quad (1)$$

$$\bar{P}_3(t) = \lambda_4 \left(-\frac{(\lambda_2 \lambda_5 + d) e^{\lambda_5 t}}{(\lambda_5 - z_1)(\lambda_5 - z_2)(\lambda_5 - z_3)} - \frac{(\lambda_2 z_1 + d) e^{z_1 t}}{(z_1 - \lambda_5)(z_1 - z_2)(z_1 - z_3)} - \frac{(\lambda_2 z_2 + d) e^{z_2 t}}{(z_2 - \lambda_5)(z_2 - z_1)(z_2 - z_3)} - \frac{(\lambda_2 z_3 + d) e^{z_3 t}}{(z_3 - \lambda_5)(z_3 - z_1)(z_3 - z_2)} \right), \quad (2)$$

$$P_4(t) = -\lambda_4 \lambda_5 \left(\frac{d}{\lambda_5 z_1 z_2 z_3} + \frac{(\lambda_2 \lambda_5 + d) e^{\lambda_5 t}}{\lambda_5 \prod_{i=1}^3 (\lambda_5 - z_i)} + \frac{(\lambda_2 z_1 + d) e^{z_1 t}}{z_1 (z_1 - \lambda_5)(z_1 - z_2)(z_1 - z_3)} + \frac{(\lambda_2 z_2 + d) e^{z_2 t}}{z_2 (z_2 - \lambda_5)(z_2 - z_1)(z_2 - z_3)} + \frac{(\lambda_2 z_3 + d) e^{z_3 t}}{z_3 (z_3 - \lambda_5)(z_3 - z_1)(z_3 - z_2)} \right) \quad (3)$$

Таким чином, отримано рішення для визначення ймовірності $P_{i-1}(t)$ перебування системи ЗА в станах S_i в момент часу (t) та визначення ризику появи нештатного небезпечного стану процесу її використання, зокрема при виконанні ТО та відновлювальних робіт.

Далі цей процес розглядається як сукупність можливих змін у процесі експлуатації системи мікропроцесорної централізації, що виникають в: апаратній частині, прикладному програмному забезпеченні (ППЗ) і при виконанні ТО.

Існуюча обмеженість статистичних даних про експлуатацію сучасних МПЦ унеможливорює використання класичних методів математичної статистики. Тому актуальним є розроблення методу оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації при виявленні дефекту апаратних компонентів у процесі їх експлуатації, який би дозволив визначати ймовірність відмови певного функціонального вузла.

У рамках дослідження закладено принцип ідентичності компонентів системи – програмованих логічних контролерів (ПЛК) та враховано можливість невиявлення відхилень технічних параметрів ПЛК при проведенні виробничого інспекційного контролю. Відповідно до теореми Ляпунова є підстави вважати, що випадкові помилки розподілені за нормальним законом. Використовуючи результати спостережень на об'єктах експлуатації, визначено ймовірність $P(E)$:

$$P(E) = P(\omega \leq \omega_{\max}) \times P_{\omega \leq \omega_{\max}} (\Pi \in LL_{ij}^c). \quad (4)$$

що є функцією параметра процента браку або дефекту ПЛК (ω_{\max}), до визначення якого зводиться задача оцінювання.

Вирішення проблеми обмеженості статистичних даних досягається використанням розподілу Стюдента. Значення функції Стюдента $S(t_p, k)$ обчислюються при різних значеннях параметрів t_p і k за довідковими таблицями.

Для вирішення проблеми, пов'язаної з нерівноточністю спостережень, застосований метод зважування, що полягає в проведенні декількох циклів досліджень над різними ПЛК певної групи за однаковою методикою.

Загальна ймовірність $P(E_{\text{заг}})$ коректного розповсюдження результатів спостережень на всю партію становитиме:

$$P(E_{\text{заг}}) = C_n^1 P^1(E) - C_n^2 P^2(E) + C_n^3 P^3(E) - \dots + (-1)^{n+1} C_n^n P^n = \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} C_n^k P^k(E). \quad (5)$$

Залежність $P(E_{\text{заг}})$ від кількості циклів випробувань систем керування ілюструє графік на рисунку 2, а.

При розповсюдженні результатів на всі подібні системи, для окремих типів ПЛК важливе значення має також ймовірність $P(D_{\text{заг}})$, що полягає у відсутності браку в усій обраній системі представників, що визначається як:

$$P(D_{\text{заг}}) = \prod_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} C_n^k P_j^k(E) = \sum_{k=1}^n \left[(-1)^{k+1} C_n^k \prod_{j=1}^m P_j^k(E) \right] = \sum_{k=1}^n \left[(-1)^{k+1} C_n^k P^k(D) \right]. \quad (6)$$

де D – відсутність жодного бракованого ПЛК при одному циклі.

Характер залежності $P(X_{\text{заг}}) = f[P(X), n]$, де $X_{\text{заг}} = E_{\text{заг}} \vee D_{\text{заг}}$, є однаковим для $X = E$ і $X = D$ і визначається лише результирующим $P(X)$ (рисунок 2, б).

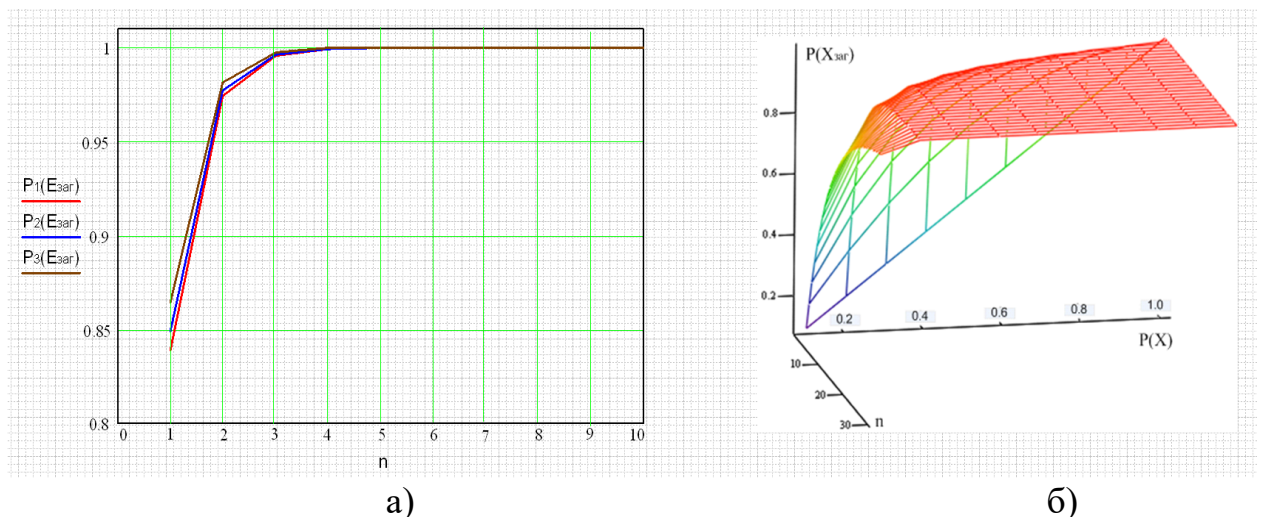


Рисунок 2 – Залежності $P(E_{\text{заг}})$ від кількості циклів випробувань (а) та поверхневий графік залежності $P(X_{\text{заг}})$ від значень $P(X)$ і n (б).

Наведений графік визначає значення параметрів $P(E_{\text{заг}})$, $P(D_{\text{заг}})$

незалежно від того, яким способом отримані відповідні вихідні параметри $P(E)$ або $P(D)$, тобто може використовуватись для будь-яких систем мікропроцесорних централізацій з довільним характером розподілу випадкових величин, аналогічним до ω .

Таким чином, навіть при незначних ймовірностях $P(X)$ при достатніх значеннях кількості випробувальних циклів, результуюча ймовірність $P(X_{\text{заг}})$ досягає високих значень (більше 90 %). Тому цей метод є універсальним з урахуванням прийнятого обмеження, що при виборі систем представників на різних циклах, кількість ПЛК у складі випробувального комплексу пропорційна кількості циклів, з урахуванням обмеженості вибірки ПЛК як для комбінованих, так і для традиційних стендових випробувань.

Для дослідження безпечності та надійності прикладного програмного забезпечення (ППЗ) системи мікропроцесорної централізації необхідно формалізувати представлення взаємозалежностей між об'єктами керування та контролю (ОКК) при формуванні та реалізації станційних маршрутів шляхом їх моделювання на основі функціональної ознаки.

Усі ОКК МПЦ відтворюються впорядкованими за схематичним планом елементами колійного розвитку станції $A_{\text{кр}}$ який у свою чергу представляється поєднанням впорядкованих множин елементів різних груп: множини стрілок, світлофорів, колійних ділянок і станційних переїздів, які у свою чергу можуть бути поділена на підмножини об'єктів різних категорій.

Колійний розвиток розбивається на n класів еквівалентності за властивостями, які визначають для них конкретні модифікації ПЛК та доповнюються відповідними їм множинами станів ОКК, що схематично подано на рисунку 3.

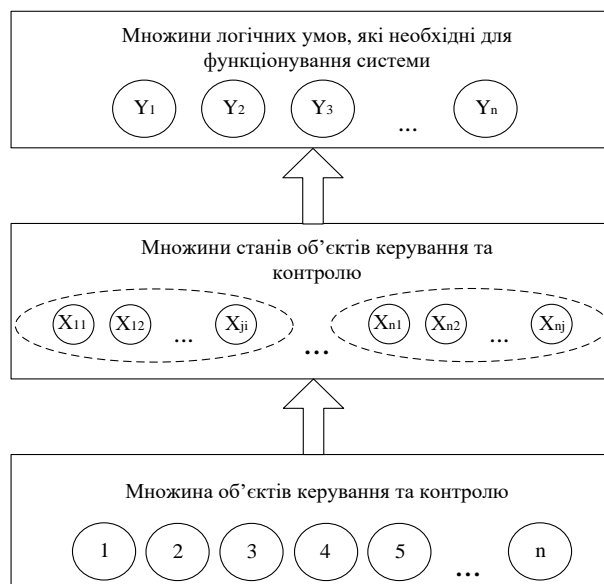


Рисунок 3 – Структурна схема взаємодії множин об'єктів, їх станів та логічних умов функціонування системи МПЦ

Для моделювання роботи системи мікропроцесорної централізації загальна функція системи Y представлена як

$$Y = F(Y_1, Y_2, Y_3), \quad (7)$$

де Y_1 – встановлення маршруту; Y_2 – замикання маршруту; Y_3 – відкриття сигналу.

Після синтезу функціональних ознак (логічних умов) множин станів ОКК за допомогою правил для булевих перетворень вираз (7) набуває такого вигляду:

$$Y = KN_1 \cdot KN_2 \cdot KN_3 \cdot KN_4 \cdot GS_1 \cdot GS_2 \cdot GS_4 \cdot GS_7 \cdot GS_9 \cdot GS_{10} \cdot GS_{12} \cdot GS_{13} \cdot (GS_3 + GS_5 - GS_3 \cdot GS_5) \cdot (1 - [1 - GS_6] \cdot [1 - GS_8] \cdot [1 - GS_{11}]) \cdot SV_1 \cdot SV_2 \cdot SV_3. \quad (8)$$

Отриманий вираз (8) слід вважати формалізованим описом взаємозв'язків між ОКК, задіяних у маршрутах залізничної станції, який є моделлю логічних умов установаження маршруту та сформованим базовим інструментом для уніфікованого конфігурування ППЗ системи мікропроцесорної централізації, а також для дослідження їх функціональних властивостей.

Враховуючи що в синтезі використовується допоміжний змінний параметр для події x_{ij} , який характеризує стани ОКК, критерієм встановлення маршруту є настання всіх подій x . Тоді структурна функція (9) та її алгебраїчна форма (10) реалізації i -тої команди керування для станції з m маршрутами матиме вигляд:

$$\Psi(x) = \bigvee_{j=1}^m \left[\bigwedge_{i=1}^{n_j} x_{i,j} \right] \quad (9), \quad Q(x) = 1 - \prod_{j=1}^m \left[1 - \prod_{i=1}^{n_j} x_{i,j} \right]. \quad (10)$$

Ця функція i визначає ймовірність відмови в роботі системи мікропроцесорної централізації. Аналогічним чином можуть бути формалізовані логічні умови для будь-яких маршрутів, на підставі чого виникає можливість їх програмної конфігурації, та різних видів досліджень, у тому числі на предмет виконання умов безпеки.

Запропоновано метод (рисунок 4, а) забезпечення безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації з можливістю формування альтернативних сценаріїв та більш безпечної процедури їх функціонування за рахунок ідентифікації змін у параметрах її роботи, оцінки ризиків можливих втрат за розробленими сценаріями розвитку небезпечної ситуації та локалізації можливих негативних наслідків їх реалізації.

У випадках часткової втрати функціональних можливостей системи доцільно використовувати процедуру локалізації небезпеки, що дозволяє локалізувати порушення шляхом блокування роботи критичних об'єктів з

використанням інформації про стани об'єкта $S_1 - S_5$ та надає можливості формування кількісних оцінок показників функційної безпеки системи мікропроцесорної централізації, рисунок 4, б).

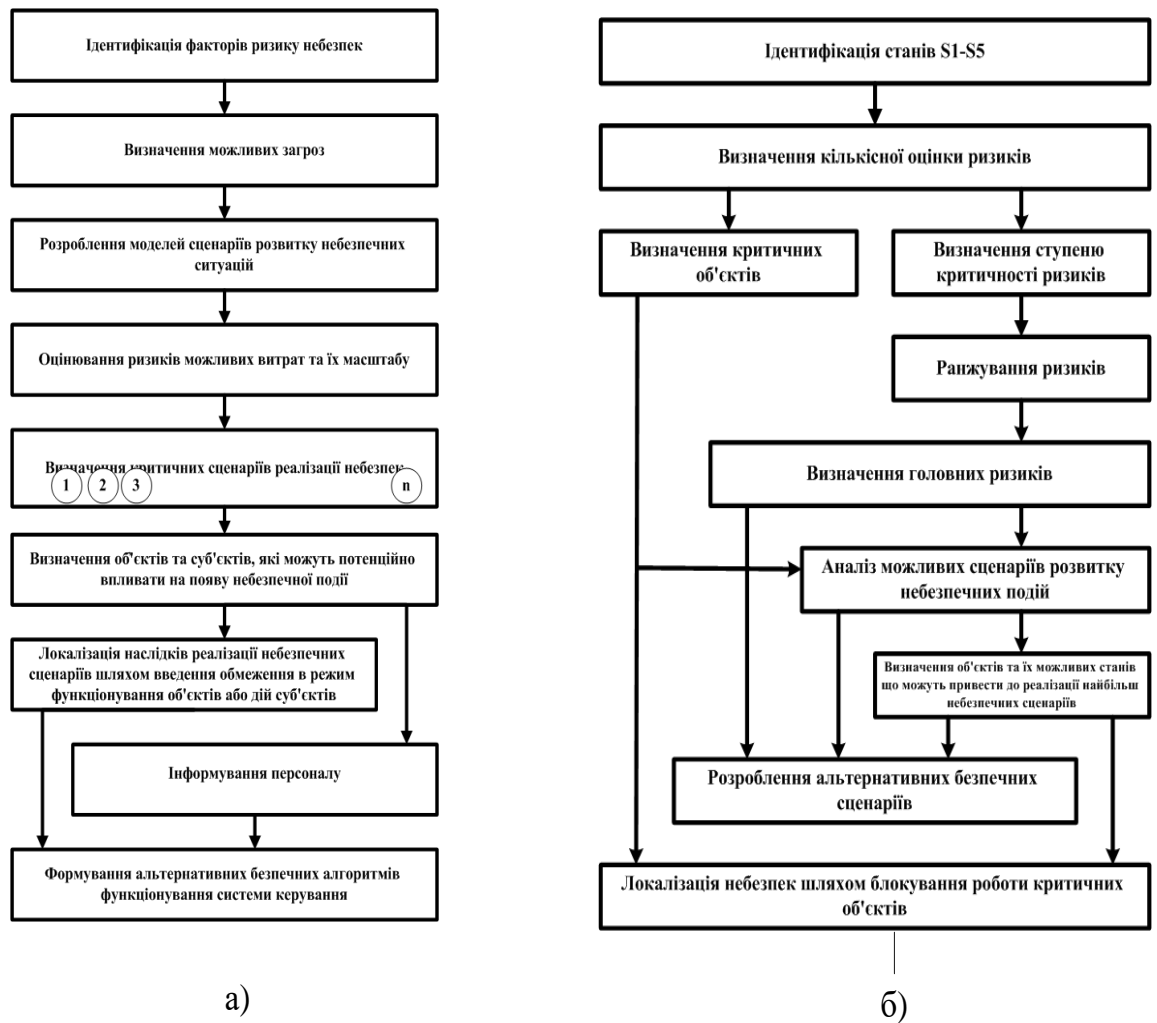


Рисунок 4 – Процедури забезпечення безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації та локалізації небезпечних подій

При цьому враховується оцінювання ризиків втрат при виникненні відмови на i -тому маршруті станції як

$$R_i = Q_i(t) \times M_j \quad (11)$$

де M_j - масштаб втрат, тис. гривень.

Відповідно, для формування альтернативних сценаріїв та більш безпечної процедури функціонування системи мікропроцесорної централізації критеріями вибору маршруту є:

$$Q_i(t) < Q(t)_{\text{нормоване}}$$

$$M_j < M_{\text{критичне}}$$

Тоді для станційних маршрутів:

$$R_i = Q_i(t) \times M_j$$

.....

$$R_m = Q_m(t) \times M_j$$

Розроблені та удосконалені методи і моделі надають можливість ідентифікації змін у параметрах та процедурах функціонування системи мікропроцесорної централізації в процесі експлуатації, що виникають в апаратній частині та прикладному програмному забезпеченні.

У третьому розділі розроблено моделі інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів при вирішенні задач комплексної оцінки їх безпечної експлуатації.

Майже всі системи мікропроцесорної централізації засновані на функціонуванні, що не залежить від процесу ТО. Система при експлуатації безпосередньо не контролює процес його проведення. Якщо надати МПЦ можливість здійснювати аналіз дій як оперативного, так і обслуговуючого персоналу та на підставі цього корегувати власний алгоритм функціонування – матимемо ознаки інтерактивної і частково інтелектуальної технології взаємодії.

На рисунку 5 наведена блок-схема реалізації цієї інтерактивної взаємодії з можливістю аналізу і контролю фактичних дій персоналу та можливістю коригувати свою роботу у випадках неякісного обслуговування або непідтвердження виконання регламентних дій, чого позбавлені існуючі системи мікропроцесорної централізації.

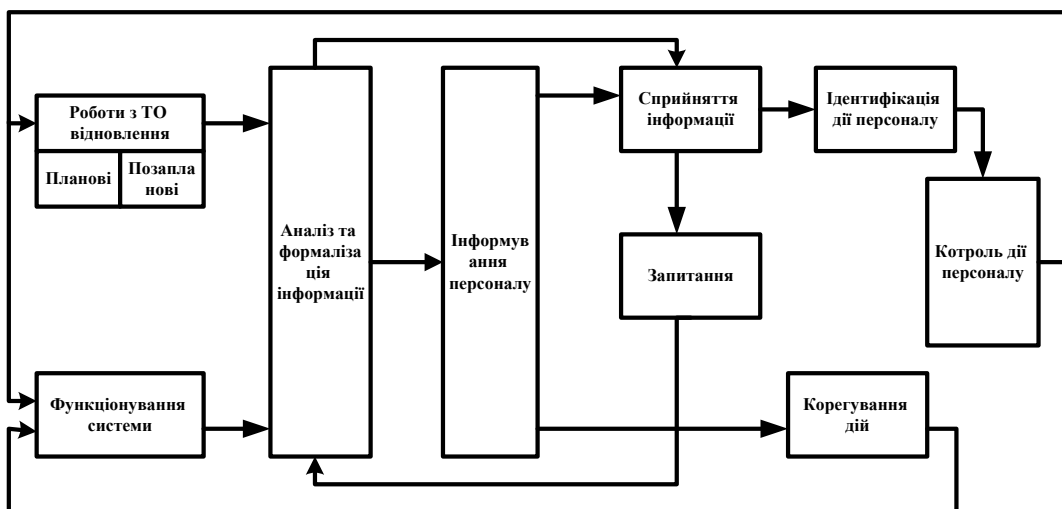


Рисунок 5 – Блок-схема процедури інтелектуальної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з людиною-оператором

На рисунку 6 наведено блок-схему забезпечення безпечності МПЦ на основі діагностування персоналу та граф комплексного визначення адекватності всіх компонентів інтерактивної взаємодії.

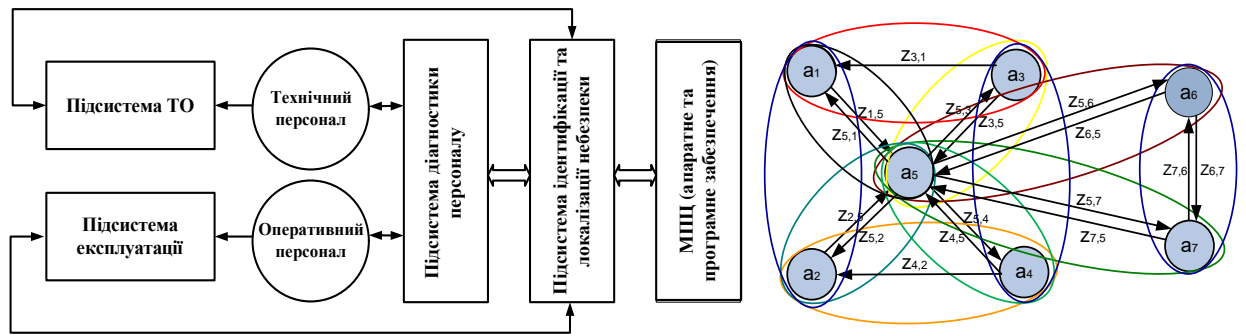


Рисунок 6 – Блок-схема та граф комплексного визначення адекватності всіх компонентів інтерактивної взаємодії

Підсистеми діагностики персоналу визначають адекватність поведінки як експлуатаційного, так і технічного персоналу в поточній ситуації на технологічному об'єкті на основі запрограмованих критеріїв. Якщо є дії, які не відповідають ситуації (наприклад, спроби втрутитися в роботу виконавчих пристроїв при виконанні призначених їм функцій), підсистема видає попередження і в разі його ігнорування блокує відповідне небезпечне діяння за допомогою підсистеми ідентифікації та локалізації небезпеки.

Керуюча команда подається з боку МПП, включаючи її програмне і апаратне забезпечення, тільки за умови проходження діагностичного контролю в обох інтелектуальних підсистемах.

Усі системи мікропроцесорної централізації мають окремі особливості як на апаратному, так і на програмному рівні. Для реалізації їх системної інтеграції та уніфікації необхідно дослідити структури сучасних МПП і створити моделі, що відображають взаємодії між елементами структури, оцінку їх взаємних впливів, виявлення «слабких» місць у структурі, провести аналіз поведінки систем та ін., для чого найбільш ефективним є використання теорії графів. У рамках дослідження розроблено граф структури системи МПП «Залізничавтоматика» рисунок 7.

Математична модель і оцінки системи що досліджується (12), подані у вигляді функції F

$$F = (f_1(G(X,U)), f_2(G(X,U)), f_3(G(X,U)), f_4(G(X,U))) = \begin{pmatrix} f_1(G(X,U)) \\ f_2(G(X,U)) \\ f_3(G(X,U)) \\ f_4(G(X,U)) \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^4. \quad (12)$$

З урахуванням специфіки функції, її компоненти не є рівнозначними, тому накладаються певні обмеження на область значення кожної компоненти окремо. Використовуючи матричний спосіб представлення – матриці суміжності та матриці відстаней (рисунок 7), отримано числові характеристики що наведені в таблиці 1.

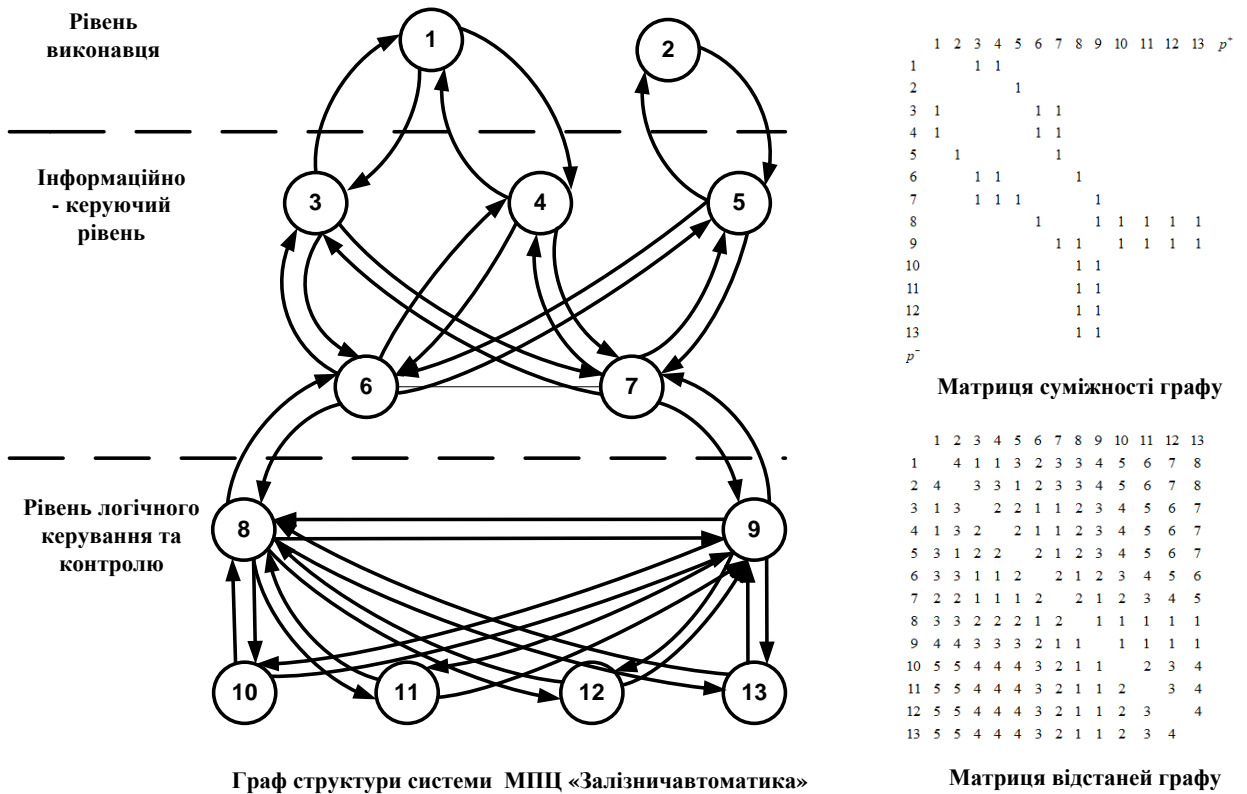


Рисунок 7 – Граф структури системи МПЦ «Залізничавтоматика», матриці суміжності та відстаней

Таблиця 1 – Таблиця результатів дослідження

Показник дослідження	Найбільш навантажена вершина	Коефіцієнт структурної надмірності M	Коефіцієнт структурної компактності R	Основні контури μ	Індекс центральності Ω
МПЦ «Залізничавтоматика»	ЦПУ	0,11227	0,8231	26	0,63

При проведенні аналізу визначено що в системи МПЦ «Залізничавтоматика» є дві найбільш навантажені вершини 8 і 9, що відповідають ЦПУ 1 і ЦПУ 2. Підвищення живучості зв'язності структури керування МПЦ можливо досягти їх резервуванням, що підтверджено коефіцієнтом структурної надмірності, не наближеним до 0, та визначенням найбільш стійких, охоплених зворотним зв'язком контурів керування.

Показник структурної компактності, наближений до 1, свідчить про швидкість передачі інформації від ДСП до об'єктів керування та контролю через елементи структур, що зменшує вірогідність її спотворення, негативний вплив зовнішніх шкідливих факторів при передаванні інформації по великій кількості елементів та дозволяє мінімізацію площ під обладнання МПЦ. Значення індексу центральності, наближене до 1, характеризує близькість її топології до стандартної централізованої структури і вказує на те, що система є компактною та зручною для передавання інформації.

Розроблені моделі інтерактивної взаємодії людини і технічних засобів дають змогу: надати системам МПЦ можливість аналізу та контролю фактичних дій персоналу при проведенні планових та позапланових робіт з ТО та можливості коригувати свою роботу; дослідити будь-яку систему МПЦ та визначити взаємодії між елементами структури, оцінку їх взаємних впливів, виявити «слабкі» місця в структурі.

У четвертому розділі наведено результати імплементації та практичної апробації розроблених методів і моделей.

Для надання системі МПЦ можливості коригувати свою роботу досліджено застосування науково – методологічного апарату ризик-менеджменту, а саме математичного апарату ланцюгів Маркова.

МПЦ є складними системами що можуть перебувати в трьох станах: S_1 – штатний стан $S_{ш}$; S_2 – позаштатний запланований, безпечний стан $S_{п.з}$; S_3 – позаштатний незапланований, безпечний стан $S_{п.н.}$. На основі аналізу статистичних даних про роботу МПЦ можна сформуувати матрицю Маркова та діаграму Маркова та розв'язати систему рівнянь (таблиця – 2).

Таблиця 2 – Матриця ймовірності перебування системи в стані S_i

Стан у наступний момент часу	Стан у поточний момент часу		
	S_1	S_2	S_3
S_1	0,95	0,30	0,2
S_2	0,05	0,65	0,6
S_3	0	0,05	0,2

Отримані після розв'язання системи рівнянь значення для станів 1, 2, 3 становлять 0,85, 0,13 і 0,02 відповідно, тобто система є в штатному стані повністю функціонуючою протягом 85 % часу, в позаштатному запланованому протягом 13 % часу і в позаштатному незапланованому протягом 2 % часу.

Для забезпечення високого рівня надійності сучасних МПЦ використовується резервування обладнання: ПЛК, вузлів системи, структурне резервування каналів зв'язку. Тому працездатність системи або окремих її елементів залежить від їх стану і можуть бути: $S_{ш}$ – штатний, коли обидва елементи знаходяться в працездатному стані; $S_{п.з}$ – позаштатний запланований, коли один елемент є на відновленні, а інший перебуває в працездатному стані; $S_{п.н.}$ – позаштатний незапланований, коли обидва елементи відмовили і є на відновленні.

Якщо інтенсивність відмови кожного елемента взяти рівною λ , а інтенсивність відновлень – рівною μ , і вони є постійними, то діаграму стану переходу можна подати у вигляді, що подано на рисунку 8 та розробити кінцеву матрицю Маркова (таблиця 3).

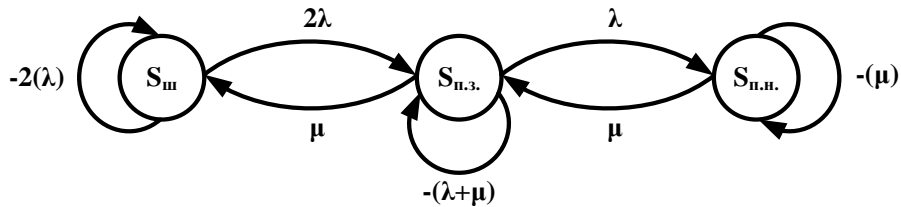


Рисунок 8 – Діаграми станів переходу

Таблиця 3 – Кінцева матриця Маркова

Кінцевий стан	Початковий стан		
	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$
$P_1(t+\delta t)$	-2λ	μ	0
$P_2(t+\delta t)$	2λ	$-(\lambda+\mu)$	μ
$P_3(t+\delta t)$	0	λ	$-\mu$

Для кількісної та якісної оцінки надійності (безвідмовності) і безпечного функціонування при відмовах технічних засобів залізничної автоматики використовуються аналітичні методи.

Згідно з визначенням показників надійності та функційної безпечності розрахунок виконується з урахуванням того, що час безвідмовної (безпечної) роботи підпорядковується експоненціальному розподілу.

Використовуючи розроблені РЛС ФБ для МПЦ «Залізничавтоматика» як для системи в цілому, так і для елементів та окремих складових вузлів, проведено кількісну та якісну оцінки надійності (безвідмовності) і їх безпечного функціонування при відмовах технічних засобів і отримано результати показників функційної безпечності (таблиця 4) та безвідмовності, в тому числі і інтенсивності небезпечних і захисних відмов λ .

Таблиця 4 - Результати розрахунків показників функційної безпечності ПЛК та ОКСС

	$P_{\sigma}(t)$	$Q_{неб}(t)$
Локальна корзина ПЛК	$0,993 \times 10^{-6}$	$0,007 \times 10^{-6}$
ПЛК	$0,986 \times 10^{-13}$	$0,014 \times 10^{-13}$
Локальна корзина ОКСС	$0,994 \times 10^{-5}$	$0,006 \times 10^{-5}$
Схема керування стрілкою	$0,924 \times 10^{-7}$	$0,076 \times 10^{-7}$
Схема керування світлофором	$0,9057 \times 10^{-16}$	$0,0943 \times 10^{-16}$
ОКСС	$0,994 \times 10^{-13}$	$0,006 \times 10^{-13}$

Інтенсивність небезпечних відмов МПЦ «Залізничавтоматика» складає: $\lambda_{неб}(t) = 1,2 \cdot 10^{-12}$ 1/год., а інтенсивність захисних відмов - $\lambda_{зах}(t) = 1,73 \cdot 10^{-5}$ 1/год.

Інтенсивність відновлення системи $\mu(t)$ є цілком штучним показником (ремонт елемента) і повністю визначається організаційно-технічною діяльністю експлуатаційного персоналу прийнято $\mu(t) = \mu = \text{const}$.

Таким чином, отримано можливість визначити інтенсивності небезпечних відмов не тільки для МПЦ у цілому та її окремих вузлів, а і для

схем керування елементами топологічного розвитку станції, що безпосередньо беруть участь у формуванні та реалізації станційних маршрутів. Згідно з отриманими результатами сформовано базу даних де кожна інтенсивність $\lambda(t)$ розглядається не як константа, а як функція, що збільшується за експоненціальним законом з урахуванням початкових станів інтенсивностей їх відмов та параметрів їх мінливостей. Відповідним чином сформовано багатовимірний функціонал надійності або безпечності, що дозволяє прогнозувати стан МПЦ у різних часових точках, та отримано моделі за допомогою пакета прикладних програм математичного моделювання MATLAB 6.0 (рисунок 9).

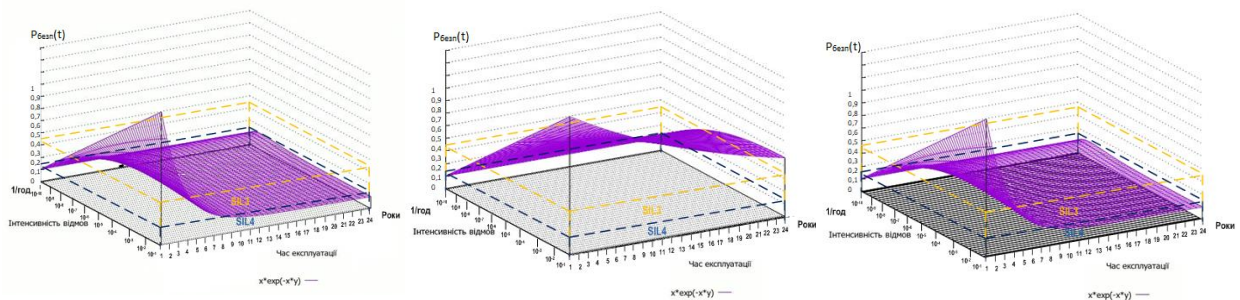


Рисунок 9 – Графіки залежності імовірності безпечної роботи від часу експлуатації та інтенсивності відмов

На підставі наведених графіків зроблено висновок про стабільну негативну монотонність по відношенню до двох аргументів – часу експлуатації $t_{експ}$ та інтенсивності відмов λ . Дані, отримані в результаті дослідження, доводять, що протягом 10 років експлуатації МПЦ зберігає відповідність рівню SIL 4 і ще близько 2 років – рівню SIL 3 згідно з вимогами стандартів IEC 61508 EN 50126, EN 50129 CENELEC.

Отримані залежності можуть бути закладені до технології обслуговування окремих вузлів та елементів МПЦ, що дозволить прогнозувати передвідмовні стани, при яких необхідно виконувати регламентні роботи для забезпечення відповідного рівня безпечності та безвідмовності, забезпечити виконання процедур динамічної оптимізації, що в підсумку дасть змогу суттєво підвищити надійність та ефективність експлуатації МПЦ. Тобто нададуть можливість перейти до технології обслуговування за поточним станом завдяки проактивній діагностиці обладнання, що заснована на аналізі накопичених даних колективної поведінки параметрів системи або окремих її компонентів. При вирішенні більш складних практичних завдань необхідні спеціальні запобіжні заходи для зменшення можливості впливу зростання кількості станів системи і можливих переходів.

Таким чином, розроблені методи і моделі забезпечують зменшення небезпечних відмов на 12,7 %. Адекватність розроблених моделей підтверджується результатами експлуатаційних випробувань МПЦ

«Залізничавтоматика». Розбіжність теоретичних даних з результатами спостережень не перевищує 15 %.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальну науково-прикладну задачу, суть якої полягає в удосконаленні технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації шляхом оперативного виявлення порушень на більш ранній стадії, зменшенні витрат часу на пошук та локалізацію пошкоджень з урахуванням їх технічного обслуговування.

1. Розроблено метод забезпечення безпеки функціонування системи мікропроцесорної централізації, який дозволяє локалізувати небезпечні стани критичних об'єктів станційної інфраструктури за рахунок ідентифікації змін у параметрах і процедурах їх функціонування та оцінювання ризиків втрат відповідно до можливого сценарію розвитку небезпечної ситуації, у той час як усі відомі методи тільки фіксують появу пошкодження технічних засобів чи помилки персоналу.

2. Розроблено процедуру інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, яка забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності системи мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та подальшого блокування небезпеки.

3. Вдосконалено модель визначення ризику появи небезпечного стану процесу технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації шляхом нарощування базової моделі графа її станів, яка, на відміну від відомих, забезпечує оперативне виявлення небезпечних станів та забезпечує дотримання безпечної процедури роботи людино-машинної системи при нештатних ситуаціях.

4. Вдосконалено метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження, який, на відміну від відомих, дозволяє визначити ймовірності прояву пошкодження або іншого дефекту електронного обладнання та звести процедуру оцінювання до ймовірнісної оцінки порушення цілісності класу еквівалентності контролерів певного типу за структурно-функціональною ознакою.

5. Вдосконалено метод порівняльного оцінювання структур окремих систем мікропроцесорної централізації на основі теорії графів з використанням матриць суміжності та матриці відстані, який, на відміну від відомих, дає змогу визначити найбільш навантажені елементи структури в процесі технічної експлуатації та оперативно вжити заходів щодо забезпечення живучості системи при пошкодженні окремих її компонентів.

6. Сформовано базовий інструмент для уніфікованого конфігурування ППЗ за рахунок використання моделі оперативного визначення показників безпеки при завданні поїзних та маневрових маршрутів на основі структурних функцій, що описують логіку роботи

систем централізації, яка, на відміну від існуючих, дозволяє в режимі реального часу оцінювати рівень безпеки, або небезпеки, для конкретного маршруту на основі статистичних даних про параметри відмов об'єктів керування, які входять до нього.

7. Проведено імплементацію та практичну апробацію розроблених методів і моделей визначення небезпечних станів у системах мікропроцесорної централізації, а саме:

- модель показників функційної безпечності компонентів станційних систем, яка, на відміну від існуючих, враховує мінливість інтенсивності відмов у процесі їх життєвого циклу, що дозволяє розширити межі застосування експоненціального закону розподілу при визначенні технічного стану системи;

- багатовимірний функціонал надійності та безпечності, що дозволяє визначати стан системи мікропроцесорної централізації в довільні моменти часу з урахуванням параметрів зношення елементів та врахуванням мінливостей інтенсивності відмов компонентів, що забезпечує визначення передвідмовних станів.

8. Застосування комплексу розроблених методів оперативної ідентифікації та локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленими можуть призвести до небезпечних наслідків, дозволяє: зменшити на 7,4 % витрати часу на пошук пошкоджень технічним персоналом; збільшити на 6,9 % ймовірність виявлення та подальшої локалізації небезпечних подій; зменшити на 3,2 % кількість порушень, які віднесені до господарств сигналізації та зв'язку.

З моменту впровадження практичних результатів дисертаційної роботи, за статистичними даними, спостерігається зменшення інтенсивності затримки поїздів $\lambda_{\text{затр}}$ з $\lambda_{\text{затр}2015} = 0,00706$ до $\lambda_{\text{затр}2019} = 0,00542$, що пов'язано зі зменшенням відмов пристроїв СЦБ на 13,9 % за рахунок оперативного їх виявлення та своєчасної локалізації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

1. V. Moiseenko, O. Kameniev, V. Gaievskiy Predicting a technical condition of railway automation hardware under conditions of limited statistical data. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3, № 9 (88). P. 26 – 35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.102005 (видання індексується в базі Scopus)

2. [V. Moiseenko](#), [O. Kameniev](#), [V. Butenko](#), [V. Gaievskiy](#) Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. *ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018)*. [Procedia Computer Science/ Volume 149](#), 2019, Pages 185-194. Open access – doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.122 (видання індексується в базі Scopus)

3. Valentin Moiseenko, Volodymyr Butenko, Oleksandra Golovko, Oleksandr Kameniev and Vitalii Gaievsky Mathematical models of the system

integration and structural unification of specialized railway computer systems. *ICTE in Transportation and Logistics 2019 Springer* Pages 129-136. Open access – https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_18

4. Мойсеєнко В. І., Каменєв О. Ю., Гаєвський В. В., Кравченко К. В. Моделювання логічної підсистеми маршрутизації залізничної станції на основі функціональної ознаки. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 6. С. 3-11.

5. Мойсеєнко В. І., Гаєвський В. В. Оперативна ідентифікація та локалізація небезпек у процесі технічної експлуатації цифрових систем керування рухом поїздів на основі концепції ризик-менеджменту. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020. № 4(143). С.28-36

6. Moiseenko V., Kameniev O., Gaievskiy V. Interactive approaches to the organization off staff interaction with automated control systems. *International Scientific Journal «INDUSTRY 4.0»*. 2017. P. 91-94.

7. Мойсеєнко В.І., Огар О.М., Гаєвський В.В. Розвиток залізничних цифрових систем та технологій у контексті інженерії 4.0. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. № 3. С. 11-20

Праці апробаційного характеру:

8. Мойсеєнко В. І., Каменєв О. Ю., Гаєвський В. В. Прогнозування стану мікроелектронних пристроїв залізничної автоматики при обмежених статистичних даних. «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»: *Матеріали доповідей 29-ї міжнародної науково-практичної конференції (м. Чорноморськ, 27 – 29 вересня 2016 р.)*. – *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. Харків: УкрДУЗТ, 2016. № 4 (Додаток). С. 37.(фахове видання)

9. Моисеенко В. И, Каменев А. Ю., Змий С. О., Гаевский В. В. Проблемы унификации отображения данных в пользовательских подсистемах интервального регулирования движения поездов. «*Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании*»: *Тезисы X МНПК, 14.12.16 – 15.12.16, г. Днепр*. Днепр: ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна, 2016. С. 37-38.

10. Мойсеєнко В. І., Каменєв О. Ю., Гаєвський В. В. Обґрунтування уніфікації підходів до побудови та експлуатації інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті України та Європи. *Прикладні науково-технічні дослідження: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Івано-Франківськ, 5 – 7 квітня 2017 р.)*. Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2017. С. 153.

11. Moiseenko V., Kameniev O., Gaievskiy V. Interactive approaches to the organization off staff interaction with automated control systems. *Proceedings V International Scientific and Technical Conference «Engineering. Technologies. Education. Securty'2017»* (Veliko Tarnovo, Bulgaria, 31 May – 03 June 2017). – Sofia, Bulgaria: Scientific technical union of mechanical engineering «Industry-4.0», 2017. Vol. 2. P. 221-224.

12. Моисеенко В. И., Каменев А. Ю., Гаевский В. В.

Усовершенствование методов и средств определения технического состояния устройств железнодорожной автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Матеріали доповідей 30-ї міжнародної науково-практичної конференції* (м. Одеса, 20 – 23 вересня 2017 р.). *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. № 4 (Додаток). С. 73-74.(фахове видання)

13. Мойсеєнко В. І., Щєбликіна О. В, Гаєвський В. В. Розвиток засобів технічної діагностики інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті. *Прикладні науково-технічні дослідження: Матеріали ІІ міжнародної науково-практичної конференції* (м. Івано-Франківськ, 3 – 5 квітня 2018 р). Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2018. С. 168.

14. Мойсеєнко В. І., Бутенко В. М., Гаєвський В. В. Нові процедури обслуговування інформаційно-керуючих систем та контроль фактичного виконання роботи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: 31-ша міжнародна науково-практична конференція*, квітень 2018 р. Харків: 2018 № 4 С. 59 – 60.

15. Гаєвський В.В. Науково-практичні аспекти використання інтерактивних засобів моніторингу функціонування пристроїв залізничної автоматики. *Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики та засобів телекомунікації на базі цифровізації. :Міжнародна науково-практична конференція 27-28 вересня 2018 р. м. Харків.*

16. Мойсеєнко В. І., Гаєвський В. В. Використання підходів «Industry 4.0» та процедур ризик-менеджменту для удосконалення методів оперативного виявлення, оцінки та локалізації порушень інформаційно – керуючих систем залізничного транспорту. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті :32-а міжнародна науково-практична конференція*, жовтень, 2019 р. Харків: УкрДУЗТ, 2019. № 4 (додаток). С. 56

17. Кузьменко Д.М., Гаєвський В.В. Питання «базової автоматизації» і «цифрового стрибка» на залізничному транспорті. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті :32-а міжнародна науково-практична конференція*, жовтень, 2019 р. Харків: УкрДУЗТ, 2019. № 4 (додаток). С. 70.

АНОТАЦІЯ

Гаєвський В. В. Удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі оперативної ідентифікації та локалізації порушень. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2021.

Дисертацію присвячено питанням удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі оперативної ідентифікації та локалізації порушень. Розроблений метод забезпечення

безпеки функціонування системи мікропроцесорної централізації дає змогу локалізувати небезпечні стани критичних об'єктів станційної інфраструктури за рахунок ідентифікації змін у параметрах і процедурах їх функціонування та оцінювати ризики втрат відповідно до можливого сценарію розвитку небезпечної ситуації. Розроблений метод та процедура інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності системи мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та подальшого блокування безпеки. Сформований базовий інструмент для уніфікованого конфігурування ППЗ дає змогу в режимі реального часу оцінювати рівень безпеки, або небезпеки, для конкретного маршруту на основі статистичних даних про параметри відмов об'єктів керування, які входять до нього.

Для практичного застосування запропоновано багатовимірний функціонал надійності та безпечності, який дозволяє визначати стан системи мікропроцесорної централізації в довільні моменти часу та забезпечує визначення передвідмовних станів, що в підсумку надає можливість перейти до технології обслуговування за поточним станом.

Застосування комплексу розроблених методів та моделей забезпечить зменшення часу на пошук, ідентифікацію та локалізацію порушень нормальної роботи МПЦ з урахуванням процесів їх технічного обслуговування.

Ключові слова: безпека функціонування, системи мікропроцесорної централізації, технічна експлуатація, удосконалення методів ідентифікації, оцінки та локалізації порушень, інтерактивна взаємодія персоналу і програмно-технічних засобів.

АННОТАЦІЯ

Гаевский В. В. Совершенствование технической эксплуатации систем микропроцессорной централизации на основе оперативной идентификации и локализации нарушений. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. - Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования технической эксплуатации систем микропроцессорной централизации на основе оперативной идентификации и локализации нарушений. Разработан метод обеспечения безопасности функционирования системы микропроцессорной централизации, который позволяет локализовать опасные состояния критических объектов станционной инфраструктуры за счет идентификации изменений в параметрах и процедурах их функционирования и оценивать риски потерь в соответствии с возможными сценариями развития опасной ситуации.

Разработаны метод и процедура интерактивного взаимодействия персонала и программно-технических средств, обеспечивающая расширение функциональных возможностей и повышение функциональной безопасности

системы микропроцессорной централизации за счет идентификации и последующего блокирования опасности. Сформирован базовый инструмент для унифицированного конфигурирования ППО, позволяющий в режиме реального времени оценивать уровень безопасности или опасности для конкретного маршрута на основе статистических данных о параметрах отказов объектов управления, входящих в него.

Для практического применения предложен многомерный функционал надежности и безопасности, который позволяет определять состояние системы микропроцессорной централизации в произвольные моменты времени, обеспечивает определение предотказных состояний и в итоге дает возможность перейти к технологии обслуживания по текущему состоянию.

Применение комплекса разработанных методов и моделей приводит к уменьшению времени на поиск, идентификацию и локализацию нарушений нормальной работы МПЦ с учетом процессов их технического обслуживания.

Ключевые слова: безопасность функционирования, системы микропроцессорной централизации, техническая эксплуатация, совершенствование методов идентификации, оценки и локализации нарушений, интерактивное взаимодействие персонала и программно-технических средств.

ABSTRACT

Gaievskiy V. Improvement of technical operation of microprocessor centralization systems on the basis of operative identification and localization of violations. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.20 - operation and repair of means of transport. - Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the issues of improving the technical operation of microprocessor centralization systems on the basis of operative identification and localization of violations. The developed method of ensuring the safety of the microprocessor centralization system allows to localize the dangerous conditions of critical objects of the station infrastructure by identifying changes in the parameters and procedures of their operation and assess the risk of losses according to a possible scenario of a dangerous situation.

The developed procedure of interactive interaction of personnel and software and hardware provides the expansion of functionality and increase the functional security of the microprocessor centralization system through the identification and subsequent blocking of hazards.

The method of estimating the technical condition of microprocessor equipment of station centralization under the existing limitations in damage statistics is improved, which allows to reduce the estimation procedure to the probabilistic estimation of violation of integrity of equivalence class of controllers of a certain type on structural and functional basis.

The model for determining the risk of occurrence of a dangerous condition of the process of technical operation of the microprocessor centralization system

has been improved, which provides prompt detection of dangerous conditions and ensures compliance with the safe procedure of human-machine system operation in emergency situations.

An improved method of comparative evaluation of structures of individual microprocessor centralization systems based on graph theory using adjacency matrices and distance matrices allows to determine the most loaded elements of the structure during technical operation and promptly take measures to ensure the survivability of the system in case of damage.

A basic tool for unified configuration of application software has been developed, which allows real-time assessment of the level of safety, or danger, for a specific route based on statistics on the failure parameters of the control objects included in it.

For practical application the following is offered: model of indicators of functional safety of components of station systems which considers variability of intensity of failures in the course of their life cycle that allows to expand limits of application of the exponential law of distribution at definition of a technical condition of system; multidimensional functionality of reliability and safety allows to determine the state of the microprocessor centralization system at any time, which provides the definition of pre-failure states, which ultimately provides an opportunity to move to the technology of maintenance in the current state.

The application of a set of developed methods and models will reduce the time for search, identification and localization of violations of the normal operation of the MOC, taking into account the processes of their maintenance.

Key words: functional safety, microprocessor-based centralization systems, technical operation, improvement of methods of identification, assessment and localization of violations, interactive interaction between personnel and software and hardware.

ГАЄВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 656.25:681.05.015

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ
МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ОПЕРАТИВНОЇ
ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПОРУШЕНЬ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Малахова О. А.

Підписано до друку "23" лютого 2021 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.
Умовн. – рук. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1
Замовлення № 187. Тираж 100 прим.

Видавництво «Копіювальний центр на Амосова»