

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

КАМЕНЄВ ОЛЕКСАНДР ЮРІЙОВИЧ

УДК 656.257:681.32

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ
СИСТЕМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Міністерство освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кустов Віктор Федорович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
кафедра автоматики та комп'ютерного
телекерування рухом поїздів,
професор кафедри

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Фурман Ілля Олександрович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка,
кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій,
завідувач кафедри

кандидат технічних наук, доцент
Маловічко Володимир Володимирович,
Дніпропетровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка Всеволода Лазаряна,
кафедра автоматики, телемеханіки та зв'язку,
доцент кафедри

Захист відбудеться « 20 » лютого 2014 р. о 13⁰⁰ год на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розіслано « 14 » січня 2014 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний стан пристроїв залізничної автоматики і телемеханіки (ЗАТ) на залізницях України характеризується фізичною та моральною зношеністю більшості основних фондів. Релейно-контактні системи ЗАТ, застарілі як фізично, так і морально, не відповідають сучасним вимогам щодо ефективного управління процесом перевезень та забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту. Згідно з прийнятими державними програмами проблема переоснащення систем ЗАТ має бути вирішена з використанням мікроелектронної програмувальної техніки. Враховуючи, що переважну кількість пристроїв ЗАТ становлять станційні системи електричної централізації стрілок та сигналів (ЕЦ), яка досягає майже 50%, основні зусилля з модернізації цих пристроїв мають припадати саме на системи ЕЦ.

Однак масове впровадження мікропроцесорної централізації (МПЦ) на залізничному транспорті стримується проблемою гарантування безпеки її використання, яка впливає із неочевидності безпечної поведінки мікроелектронних елементів та програмного забезпечення. Розв'язання даної проблеми слід вважати пріоритетним завданням при впровадженні МПЦ як відповідальних ергатичних систем.

Одним із основних заходів з гарантування безпеки використання систем керування (СК), в т.ч. ЕЦ, є їх технічний контроль (ТК) на етапах виробництва, експлуатації та ремонту, ефективним засобом якого є активний вплив на СК, що досягається шляхом випробувань. Достовірність їх тим вища, чим більшу наближеність до реальних умов експлуатації вони забезпечують. Існуючі методи та засоби випробувань систем МПЦ у лабораторних умовах не відтворюють необхідного тестового покриття або вимагають невиправдано значних ресурсів. Експлуатаційні випробування обмежені недостатньою множиною відтворюваних станів об'єктів централізації.

В той же час особливістю побудови сучасних мікропроцесорних систем ЕЦ є використання стандартних електронних пристроїв промислового призначення, надійність яких гарантується виробником первинної продукції. Тому контроль безпеки використання систем МПЦ зводиться переважно до функціональних випробувань її компонентів у комплексі. В даному аспекті залишаються невирішеними питання принципів формування моделей для випробувань, відтворення взаємодії всіх рівнів при імітаційних випробуваннях та тестового покриття функцій і умов безпеки при стендових випробуваннях системи. Це дає можливість виділити актуальне науково-прикладне завдання вдосконалення методів та засобів технічного контролю системи МПЦ за рахунок заходів, спрямованих на підвищення достовірності випробувань, зменшення ресурсоемності та автоматизацію процесу синтезу експериментальних моделей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Української державної академії залізничного транспорту в період 2010 – 2013 рр. відповідно до Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки (постанова КМУ від 16.12.2009 р. № 1390); Концепції Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху

пасажирських поїздів на 2005 – 2015 роки (розпорядження КМУ від 31.12.2004 р. № 979-р); планів науково-дослідних робіт академії за темами «Дослідження надійності та функційної безпечності мікропроцесорних систем електричної централізації стрілок та сигналів ЕЦМ та МПЦ-С», ДР № 0112U000578, і «Дослідження функційної безпечності та електромагнітної сумісності мікропроцесорної системи електричної централізації стрілок та сигналів станції "Вугільна"», ДР № 0112U006925.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення методів та засобів технічного контролю системи мікропроцесорної централізації в умовах виробництва, експлуатації та ремонту шляхом підвищення ефективності її функціональних випробувань.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі **основні завдання**:

- визначення підходу до нормування та контролю безпеки використання системи МПЦ з точки зору її функціонування в штатному та допоміжному режимах;
- аналіз відомих методів та засобів контролю безпеки використання систем ЗАТ, виділення їх недоліків і обмежень для МПЦ, пошук шляхів їх вирішення та усунення;
- визначення основних відношень між об'єктами керування та контролю (ОКК) системи МПЦ, їх взаємними зв'язками та властивостями, які беруться за основу процесу розроблення й удосконалення методів та засобів функціональних випробувань;
- удосконалення методу імітаційних випробувань, який забезпечуватиме можливість комплексного технічного контролю програмного забезпечення і апаратно-технічних засобів персоналу та обробки логічних залежностей (ПОЛЗ) системи МПЦ;
- розроблення методів та засобів комбінованих випробувань на базі синтезу імітаційного та фізичного моделювання, які забезпечуватимуть технічний контроль підсистем усіх рівнів системи МПЦ при їх взаємодії з мінімальними апаратними ресурсами;
- розроблення методу та програмних засобів автоматизованого синтезу спеціалізованих моделей для імітаційних та комбінованих випробувань.

Об'єкт дослідження – процес технічного контролю системи мікропроцесорної централізації на етапах виробництва, експлуатації та ремонту.

Предмет дослідження – методи і засоби технічного контролю системи мікропроцесорної централізації, що здійснюється шляхом функціональних випробувань.

Методи дослідження. Вирішення поставлених завдань виконано на основі системного підходу. Методи теорії надійності використані для обґрунтування підходу до контролю безпеки використання системи МПЦ. Теорію множин, відношень та груп застосовано для визначення характеристик ОКК, їх зв'язків та властивостей. Теорію планування експерименту, ймовірностей та математичної статистики, імітаційного та фізичного моделювання використано для розроблення методів імітаційних та комбінованих випробувань системи МПЦ. Теорію графів та матриць застосовано для розроблення методу синтезу моделей для випробувань системи МПЦ.

Наукова новизна одержаних результатів. Вирішено науково-прикладне завдання вдосконалення методів та засобів технічного контролю системи мікропроцесорної централізації шляхом підвищення ефективності її функціональних випробувань.

Вперше:

– розроблено методи комбінованих випробувань на базі синтезу імітаційного та фізичного моделювання роботи мікропроцесорних об'єктних контролерів (МПК) та підключених до них ОКК системи МПЦ, які дозволили підвищити достовірність та зменшити ресурсоємність технічного контролю;

– розроблено метод автоматизованого синтезу моделей для випробувань на основі визначення прямих сум топологічних матриць ПОЛЗ, який дозволяє знизити працезатрати та підвищити безпомилковість при підготовці до випробувань.

Удосконалено:

– метод імітаційних випробувань системи МПЦ шляхом програмного моделювання роботи МПК і ОКК, який, на відміну від існуючих, дозволяє виконати технічний контроль як програмного, так і апаратного забезпечення автоматизованих робочих місць (АРМ) оперативного і технічного персоналу, ПОЛЗ та інтерфейсу між ними.

Набув подальшого розвитку:

– підхід до контролю і нормування безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті, який, на відміну від існуючих, враховує можливість небезпечної поведінки системи після захисних відмов.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані науково-практичні результати використовуються на ТОВ «НВП «САТЕП», НДПКІ «Молнія», ДВЦ «Електромаш» та промислового транспорту групи компаній «Донецьксталь»:

– метод синтезу моделей для випробувань дає можливість у 2 – 3 рази прискорити формування необхідних засобів виконання імітаційних та комбінованих випробувань системи МПЦ залізничних станцій з різним колійним розвитком;

– вдосконалений метод імітаційних випробувань дозволяє виконати комплексний контроль якості й безпеки використання програмного та апаратного забезпечення АРМ персоналу і пристроїв ПОЛЗ, а також інтерфейсів взаємодії між ними;

– методи комбінованих випробувань та розроблений для їх застосування випробувальний комплекс дозволяють виконати контроль якості й безпеки використання елементів усіх рівнів та пристроїв узгодження між ними в системі МПЦ при повному наборі технологічних ситуацій і мінімальній вибірці обладнання нижнього рівня і, таким чином, знизити ресурсоємність процесу технічного контролю.

Особистий внесок здобувача. Усі положення і результати, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту належить: усунення недоліків матричної інтерпретації ПОЛЗ [5]; умовна порядкова класифікація моделей, задіяних у випробуваннях [6]; формалізація взаємних відношень між ОКК, їх зв'язками та властивостями [7]; розроблення методу синтезу експериментально-статичних моделей СК розподіленими об'єктами [10]; розроблення способів конфігурації комбінованого випробувального комплексу [11]; розроблення вихідного коду комп'ютерної програми синтезу експериментальної моделі [12].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи обговорювались на таких наукових конференціях: 20, 21, 23 – 25 Міжнародних НПК «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць

України» (м. Алушта, 2007, 2008, 2010 – 2012 рр.); 4-й Міжнародний НПК «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті» (смт Чинадієво, 2011 р.); 74-й та 75-й Міжнародних НТК кафедр УкрДАЗТ та спеціалістів залізничного транспорту (УкрДАЗТ, м. Харків, 2012 р. та 2013 р.); 6-й Міжнародний НПК «Проблеми безпеки на транспорті» (БілДУТ, м. Гомель, Республіка Білорусь 2012 р.); 4-й Між-вузівській НТК «Энерго- и ресурсосберегающие технологии при эксплуатации ма-шин и оборудования» (ДонІЗТ, м. Донецьк, 2012 р.).

Повністю дисертація доповідалася і була схвалена на розширеному засіданні кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради та на засіданні технічної ради Науково-виробничого підприємства «САТЕП».

Публікації. За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці, в тому числі 10 наукових статей (з них 6 без співавторів) у фахових виданнях, затверджених МОН України, з яких 2 включені до міжнародних наукометричних баз, 1 патент на корисну модель, 1 свідоцтво про авторське право та 10 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота оформлена на 254 сторінках, з яких 147 сторінок основного тексту, 45 рисунків, 19 таблиць, список джерел із 159 найменувань на 18 сторінках і 12 додатків на 74 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі надана загальна характеристика роботи, наведено обґрунтування актуальності теми, сформульовані мета та завдання дослідження, визначена наукова новизна і практична цінність отриманих результатів.

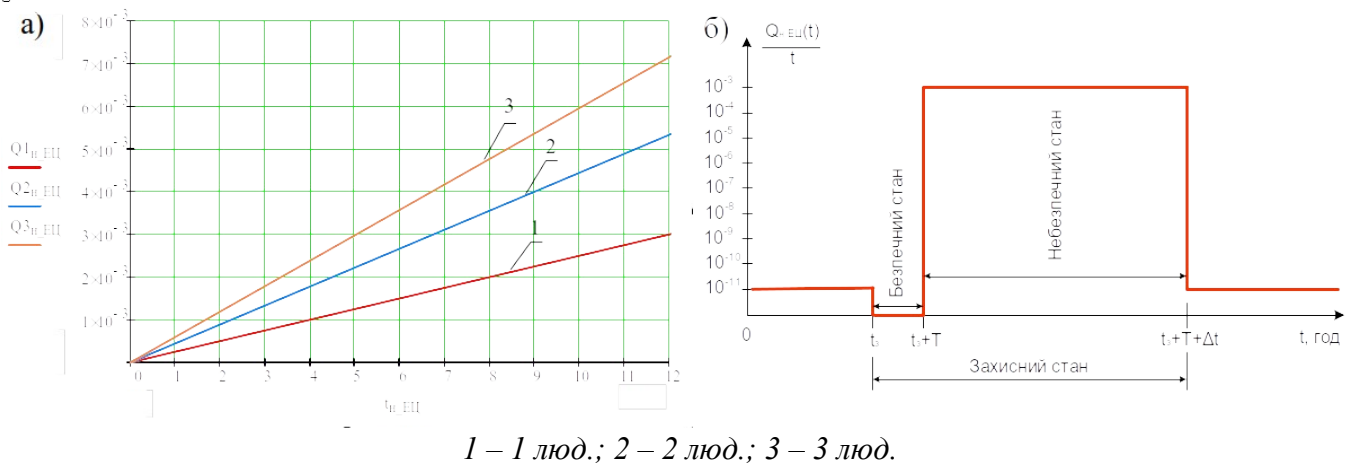
У першому розділі проведено аналіз тенденцій розвитку мікропроцесорних систем ЕЦ, визначені підходи до нормування й технічного контролю їх безпеки використання та здійснений аналіз існуючих методів і засобів його виконання.

У даний час на залізницях України перебуває в експлуатації приблизно 2 тис. станцій і більше 43 тис. централізованих стрілок (65% від загальної кількості). При цьому більше 75% пристроїв ЕЦ експлуатуються понад 30 років. Це обумовлює потребу їх технічного переоснащення на мікропроцесорній базі, що викликає необхідність забезпечення безпеки використання закладених у них новітніх пристроїв. До останнього часу ця процедура зводилася до підтвердження необхідного рівня функційної безпечності (ФБ), ігноруючи параметри інших показників надійності. Проте для відповідальних ергатичних СК, до яких слід віднести системи ЕЦ, можливим є застосування в допоміжному режимі при захисних відмовах, коли знімається частина блокувальних залежностей. У таких умовах стає не мінімізованим людський фактор, який стає вирішальним з позиції впливу на безпеку руху. Тоді, вважаючи людину-оператора (ДСП) складовим компонентом СК, ймовірність небезпечної відмови системи МПЦ з урахуванням захисних відмов визначається таким кусково-заданим виразом

$$Q_{HEC}(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & t \leq t_1, \text{ або } t \geq t_1 + T + \Delta t, \\ 0, & t_1 \leq t \leq t_1 + T, \\ 1 - e^{-\lambda(t - t_1 - T)}, & t_1 + T \leq t < t_1 + T + \Delta t, \end{cases}$$

де $\lambda_{н\text{ ЕЦ}}$ – інтенсивність небезпечних відмов системи ЕЦ у штатному режимі;
 t, t_3, T – відповідно поточний час експлуатації ЕЦ, момент виникнення захисної відмови та припустима тривалість простою в роботі ЕЦ після захисної відмови;
 Δt – перевищення часу відновлення справного стану над часом T ;
 $\lambda_{н\text{ люд}}$ – інтенсивність небезпечних відмов (помилки) людини-оператора;
 n – кількість людей, що виконують команди керування в допоміжному режимі.

Значення $\lambda_{н\text{ люд}}$ для ЕЦ у середньому становить 10^{-5} 1/год, тому за умови $t_y > T$ (де t_y – момент усунення відмови) залежності ймовірності небезпечної відмови ЕЦ, згідно з (1), від часу $t_{н\text{ ЕЦ}} = t - (t_3 + T)$ у допоміжному режимі при одному, двох та трьох особах, виконуючих команду керування, мають вигляд, зображений на рис. 1, а.



1 – 1 люд.; 2 – 2 люд.; 3 – 3 люд.

Рис. 1. Залежності ймовірності небезпечної відмови ЕЦ у допоміжному режимі від часу (а) та її переходу в небезпечний стан після виникнення захисної відмови (б)

Згідно з Міжнародною шкалою прийнятного ризику його ступінь на початку робочої зміни ДСП можна охарактеризувати як високий, в середині – як дуже високий, а під кінець зміни наближається до винятково високого. Тоді за умови $t_y > T$ захисну відмову можна вважати лише відстрочкою небезпечного стану на час T (рис. 1, б).

Таким чином, безпека використання МПЦ має розглядатися не тільки в аспекті ФБ, але й усіх показників надійності, що має бути враховано в методології її контролю і нормування. В даний час методологія ТК мікроелектронних пристроїв ЗАТ перебуває у стадії становлення. Значний внесок в її розвиток зробили Сапожніков В.В., Сапожніков Вл.В., Гавзов В.С., Наседкін О.О., Горелік А.В., Кравцов В.М., Шубинський І.Б., Бойнік А.Б., Бабаєв М.М., Загарій Г.І., Тартаковський Е.Д., Чепцов М.М., Кустов В.Ф., Самсонкін В.М., Мойсеєнко В.І., Фурман І.О., Маловічко В.В., Бочков К.А., Жуковицький І.В., Бутько Т.В., Харлап С.М., Шевченко Д.М., Ургансков Д.І., Тарадін М.О. та ін. Вирішальними прийнято вважати результати експериментальних методів ТК, визначальними серед яких є функціональні випробування. Однак існуючі методи їх проведення для систем МПЦ мають такі суттєві недоліки, як: неврахування особливостей побудови та функціонування СК, недостатність покриття їх функцій та умов або необхідність значних ресурсів для його забезпечення. Усунення даних недоліків полягає в розширенні можливостей імітаційних та стендових випробувань, а також автоматизації процесу формування випробувальних (експериментальних)

моделей.

У другому розділі для формування методологічної основи розроблення методів та засобів випробувань визначені відношення між ОКК системи МПЦ, їх зв'язка-ми та властивостями. З метою забезпечення формалізованого опису зазначених відношень, методів, засобів та процедур їх формування запропонована умовна порядкова класифікація (УПК) моделей, задіяних у випробуваннях, згідно з табл. 1.

Таблиця 1 – Умовна порядкова класифікація моделей, задіяних у випробуваннях

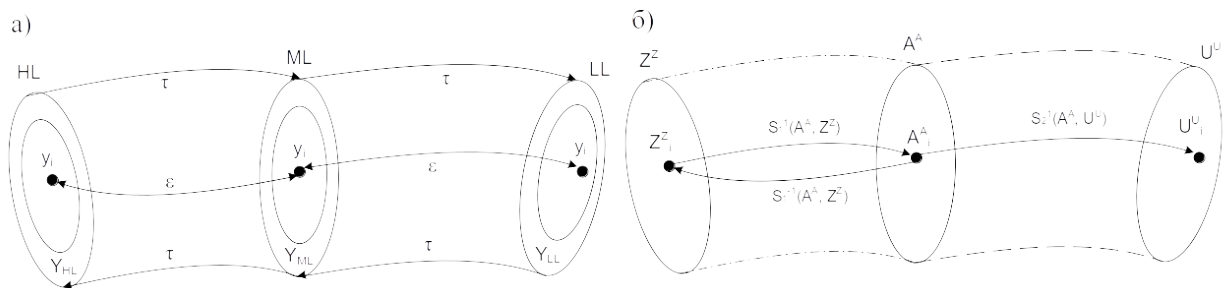
Порядок	Тип (підтип) моделі	Змінність у часі	Призначення	Позначення
0	Ідентична оригіналу	Динамічна	Випробування	model ⁰ , obj ⁽⁰⁾
1	Фізична	Динамічна	Випробування	model ¹ , obj ⁽¹⁾
2	Біологічна	Динамічна	Випробування	model ² , obj ⁽²⁾
3	Імітаційна	Динамічна	Випробування	model ³ , obj ⁽³⁾
4	Математична	Статична	Формування засобів випробувань	model ⁴ , obj ⁽⁴⁾

Для випробувань КТЗ (obj) передбачається використання моделей різних порядків (у діапазоні від 0 до $n = 4$) для різних його компонентів та підсистем (komp_i):

$$\text{obj} \rightarrow \text{model}(\text{obj}) = \sum_{i,k=1}^m [\text{model}^x(\text{komp}_i) \times \text{model}^y(\text{int}_{i\dots k})], \quad x, y = \overline{0, n}, \quad i, k = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де $\text{int}_{i\dots k}$ – пристрої узгодження (ПУ) або інтерфейсу між підсистемами $i\dots k$.

Для розроблення методів випробувань системи МПЦ виконано формалізоване представлення структурних компонентів різних її рівнів у вигляді спеціалізованих моделей четвертого порядку відповідно до формули (2) і табл. 1. З позиції взаємних зв'язків між ОКК та їх основних властивостей всі три рівні (верхній, АРМ – HL; середній, ПОЛЗ – ML; нижній, МПК – LL) системи МПЦ можна вважати взаємно однозначними підсистемами в області Y , яка визначається множинами ОКК, видом їх взаємних зв'язків та вхідних і вихідних властивостей (рис. 2,а).



а – відношення між рівнями; б – відношення між відображеннями множини Y

Рис. 2. Діаграми взаємних відношень між компонентами системи МПЦ

У свою чергу множини Y_{HL} , Y_{ML} , Y_{LL} визначаються взаємним відношенням еквівалентності, а HL, ML та LL – толерантності на множині Y :

$$\begin{cases} \tau \subset HL \times ML \times LL, \tau: Y = A \cup Z \cup U, \\ \varepsilon \subset Y_{HL} \times Y_{ML} \times Y_{LL}, \varepsilon: Y_{HL} = Y_{ML} = Y_{LL} = Y, \end{cases} \quad (3)$$

де A, Z, U – відповідно множини ОКК, їх взаємних зв'язків та властивостей; τ, ε – відповідно символи відношень толерантності та еквівалентності.

Множині Y можна поставити у відповідність пересічні кортежі елементів її підмножин $A \rightarrow A^A$, $Z \rightarrow Z^Z$, $U \rightarrow U^U$, взаємні відношення між ними визначаються властивостями бієкції та сюр'єкції (рис. 2,б). Задані відображення визначають статичні характеристики всіх рівнів МПЦ і толерантність між ними. Згідно з її симетричністю математична модель, побудована на множині Y , спільна для всіх рівнів системи. Як базова для досліджень взята модель $model^4_Y(ML) = model^4_Y(SER)$, де SER – позначення одного каналу резервування ПОЛЗ. При побудові моделі $model^4_Y(\)$ на модель будь-якого порядку p за єдиним правилом Ψ_Y , згідно з властивостями (3), вони будуть тотожні для всіх рівнів системи МПЦ (MPC):

$$\begin{cases} \Psi_Y(MPC) = \Psi_Y(SER) = model^4_Y(SER), \\ \Psi_Y^{-1}[model^4_Y(SER)] = Y' = Y. \end{cases} \quad (4)$$

Система виразів у формулі (4) взята за основу для перевірки коректності синтезу моделей для функціональних випробувань системи МПЦ.

Множини A , ML та LL розділяються на ізоморфні класи толерантності (що мають властивості абелевих груп) за функціональною ознакою відповідних їм ОКК:

$$\begin{cases} A = \bigcup_{i=1}^n A_i, \bigcap_{i=1}^n A_i = \emptyset, \\ LL = \bigcup_{i=1}^n LL_i, \bigcap_{i=1}^n LL_i = \emptyset, \\ ML = \bigcup_{i=1}^n ML_i, \bigcap_{i=1}^n ML_i = \emptyset, \end{cases} \quad \tau_i \subset A \times A: \begin{cases} \forall A_i \leftarrow Y(\alpha) \rightarrow \exists LL_i \subset LL, \\ \forall LL_i \leftarrow Y(\alpha) \rightarrow \exists ML_i \subset ML, \\ \forall ML_i \leftarrow Y(\alpha) \rightarrow \exists A_i \subset A, \end{cases} \quad (5)$$

де $\Lambda = \{ \alpha_j \} = \{ \{ a_j, ll_j, ml_j \} \}$ – множина поєднань взаємно однозначних елементів;

$y_i(\alpha) = \overline{y_i(\alpha)} = \langle y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im} \rangle$ – функція, за якою виконуються наведені відношення, реалізована драйвером керування відповідною групою ОКК.

Векторний характер функцій $y_i(\alpha) \in Y(\alpha)$ обумовлений наявністю декількох каналів пристроїв нижнього рівня системи МПЦ, відтворених елементами векторів.

Властивості (2), (3) та (5) в наступному розділі застосовані для розроблення методів імітаційних та комбінованих випробувань системи МПЦ.

Вираз (4) використаний для формування моделей для випробувань та перевірки коректності (адекватності) їх складання. Для кожної станції цей процес базується на синтезі моделі $model^4_Y(SER)$, яка відтворює відношення на множині Y та визначає таким чином статичні характеристики випробувальної моделі (рис. 3).

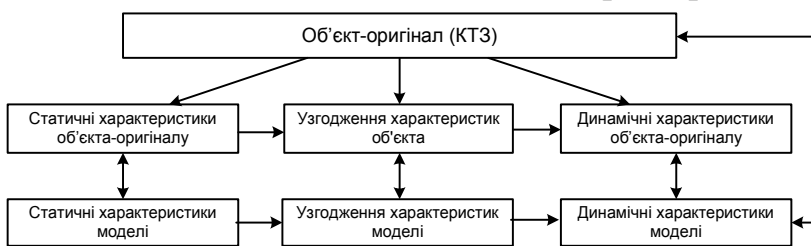


Рис. 3. Структурна схема процесу функціональних випробувань КТЗ

Динамічні характеристики реалізуються ядром програмного забезпечення (ПЗ) випробувальної моделі системи МПЦ та залишаються незмінними. Синтез моделі $model^4_Y(SER)$ виконується із максимальним використанням

властивостей усіх відомих моделей M , які в тій чи іншій мірі відтворюють множину Y :

$$\begin{aligned} model^4_Y(SER) &= \Phi_2 \left\{ \Phi_1 \left[\bigcup_{j=1}^m (model^4_{Y'_{max}})_j \right], \Phi_3 [model^4_{\Delta Y}(SER)] \right\} = \\ &= \Phi_{1,2,3} [model^4_{Y'_{max}}, model^4_{\Delta Y}(SER)] = \Phi_4(Y'_{max}, \Delta Y), \end{aligned} \quad (6)$$

де $Y'_{\max} \subset Y$ – найбільш повна підмножина Y серед проаналізованих моделей;
 $\Delta Y = Y / Y'_{\max}$ – неврахована в проаналізованих моделях складова множини Y ;
 $\Phi_{1,2,3}$ – відповідно правила структурного синтезу $model^4_Y(SER)$ із фрагментів відомих моделей, приєднання додатково розроблених фрагментів та їх розроблення.

З формули (6) випливає необхідність толерантності $\tau \subset M \times M$, яка полягає в наявності хоча б однієї характеристики, відповідної вимогам, заданим множиною Y . Тому при аналізі враховуються тільки моделі, які відповідають зазначеній вимозі.

У третьому розділі розроблені методи імітаційних та комбінованих випробувань МПЦ шляхом використання різних способів моделювання на всіх рівнях системи і синтезу імітаційного та фізичного моделювання роботи пристроїв нижнього рівня.

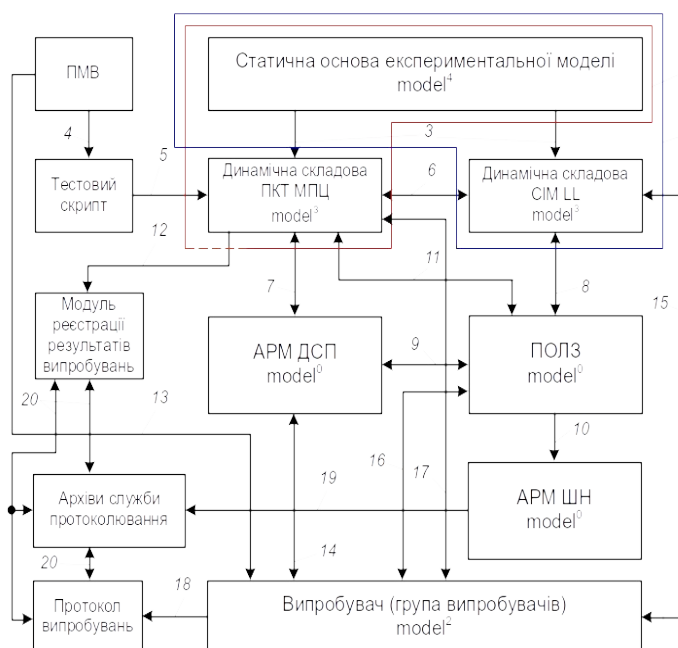
В основу удосконаленого методу імітаційних випробувань закладається програмне моделювання нижнього рівня та інтерфейсу його взаємодії із середнім рівнем, в той час як інші компоненти відтворюються реальними пристроями або їх аналогами:

$$model^0(FILE_{int_{2,3}}) = model^3(int_{2,3}), \quad model^{(0,2,3)}(MPC) = model^{2,3}(DF) \times$$

$$\left[model^1(DSP) \times model^1(int_{1,2}) + model^1(SHN) \times model^1(ARM_{DSP}) + model^1(ARM_{SHN}) + model^1(ARM_{DSP}) \times model^1(ARM_{SHN}) + model^1(ARM_{DSP}) \times model^1(ARM_{DSP}) + model^1(ARM_{SHN}) \times model^1(ARM_{SHN}) + model^1(SER) \times model^1(SER) + model^1(int_{1,2}) \times model^1(int_{1,2}) + model^1(MPK) \times model^1(MPK) + model^1(MPK) \times model^1(MPK) \right] \quad (7)$$

де $DF, DSP, SHN, ARM, FILE, MPK, int_{ij}$ – позначення відповідно дестабілізуючих чинників, ДСП, технічного персоналу, АРМ (ДСП і ШН), програмних файлів та МПК нижнього рівня системи МПЦ, інтерфейсів взаємодії між рівнями (значення i та j : 0 – персонал МПЦ; 1 – верхній, 2 – середній, 3 – нижній рівні МПЦ);
 R, S, M, K – відповідно кількість АРМ ДСП, АРМ ШН, серверів ПОЛЗ та МПК у складі системи МПЦ ($R + S = N$ – загальна кількість АРМ персоналу).

Процедура випробувань, закладена в метод (7), полягає в повній або частковій автоматизації цього процесу та резервованому протоколюванні результатів (рис. 4).



1 – спеціалізована імітаційна модель (СІМ) нижнього рівня; 2 – програмний комплекс тестування (ПКТ) МПЦ; 3 – інтеграція статичних і динамічних складових ПКТ та СІМ; 4 – складання тестового скрипту на базі програми випробувань (ПМВ); 5 – ініціалізація тестового скрипту в ПКТ; 6 – автоматична зміна та контроль стану ОКК з боку ПКТ; 7 – імітація дій ДСП з боку ПКТ; 8 – імітація роботи LL та взаємодії LL з ML; 9 – відтворення взаємодії ПОЛЗ та АРМ ДСП; 10 – відтворення діагностики та протоколювання; 11 – зміна та контроль стану ML з боку ПКТ; 12 – складання електронного протоколу автоматизованих випробувань; 13 – слідування випробувача вказівкам ПМВ; 14 – відтворення випробувачем дій ДСП та контроль функціонування АРМ ДСП; 15 – управління режимами СІМ та встановлення стану ОКК; 16 – дестабілізація та контроль роботи ПОЛЗ; 17 – налаштування та контроль роботи ПКТ; 18 – ручне заповнення протоколу випробувань; 19 – аналіз архівів служби протоколювання системи МПЦ; 20 – порівняльний аналіз ручної та електронної звітності з

Рис. 4. Взаємодія складових процесу імітаційних випробувань

Стартовими умовами СІМ є нормальний стан усіх ОКК (стрілки в «+», світлофори перекриті, колійні датчики в нульовому стані, на входах модулів введення логічні нулі). Обмеження полягають у відтворенні лише того обсягу даних, що передбачений протоколом обміну з ПОЛЗ; адекватність доводиться шляхом тестування з порівнянням фактичних вихідних даних із регламентованими протоколом обміну.

Для вдосконалення стендових випробувань шляхом синтезу властивостей імітаційних та фізичних моделей розроблені методи комбінованих випробувань (МКВ). Вони виконуються за процедурою, зображеною на рис. 4, але за умови, що частина МПК відтворюється реальними пристроями, а підключені до них ОКК – фізичними моделями (макетами); інша частина МПК та ОКК – програмними модулями СІМ:

$$i, v = \overline{1, n}, \quad \vartheta = \overline{1, [\Lambda_i]}, \quad \iota = \overline{1, [\Lambda_v]}, \quad \eta, \zeta = \overline{1, m}, \quad \vartheta\eta \neq \iota\zeta, \quad (8)$$

де $\overline{1, n}$ та $\overline{1, m}$ – МПК, а $\Pi_{\vartheta\eta}$ та $\Pi_{\iota\zeta}$ – їх складові канали керування та контролю;

a_{ϑ} і a_{ι} – ОКК, що підключені до відповідних МПК;

$m1_{\vartheta}$ та $m1_{\iota}$ – програмні модулі взаємодії з відповідними ОКК у складі ПЗ ПОЛЗ;

i та v – номери груп (класів толерантності), визначених формулою (5);

ϑ та ι – номери МПК та ОКК у складі відповідно груп i та v ;

η та ζ – номери каналів у складі відповідно МПК ϑ та ι ;

n та m – кількість відповідно груп МПК (ОКК) та їх каналів.

Технічна реалізація МКВ виконується на базі комбінованого випробувального комплексу МПЦ (КВК МПЦ), структурна схема якого наведена на рис. 5. Прикладне

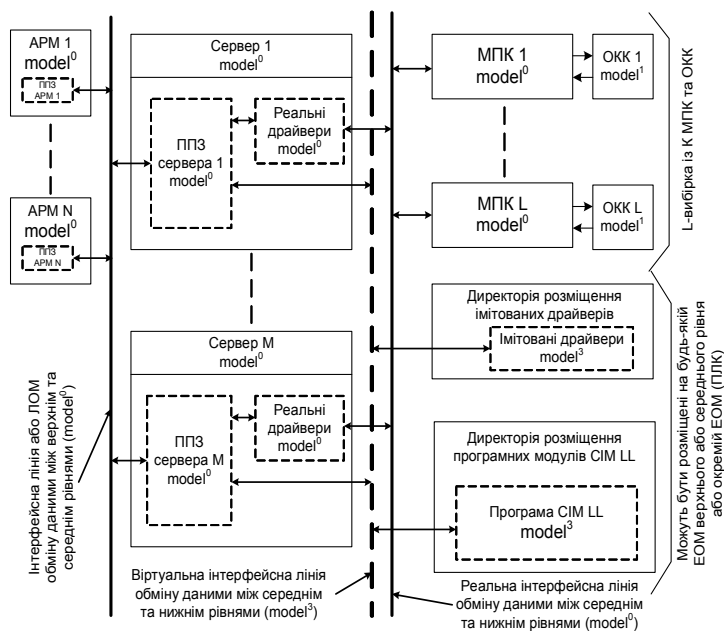


Рис. 5. Структурна схема КВК МПЦ

назначені згідно з виразом (8):

1. Метод відокремлених груп (МВГ), який полягає в тому, що в межах кожної

ПЗ (ППЗ) кожного сервера (каналу) ПОЛЗ у його складі взаємодіє з реальними МПК та макетами ОКК по реальній інтерфейсній лінії і програмними модулями СІМ по віртуальній. Таким чином здійснюється програмно-прос-торове розмежування доступу до елементів нижнього рівня, відтворюваних моделями різних порядків. Для цього коригується ППЗ ПОЛЗ, яке потребує повернення у вихідний стан після завершення циклів випробувань. Залежно від способу виконаного розмежування в межах МКВ розроблені такі три методи випробувань системи МПЦ, виз-

групи $\Lambda_i \subset \Lambda$ порядок моделей кожного елемента $\alpha_\varphi = \{a_\varphi, \Pi_\varphi, ml_\varphi\}_\varphi$ та драйвера $\gamma_i(\alpha_\varphi) \in Y(\alpha_\varphi)$ не змінюється для членів групи та пов'язаних з ними функцій: $\alpha_\varphi^{(p1, p2, p3 = \text{const})}$, $\gamma_i^{(p4 = \text{const})}(\alpha_\varphi)$, де $p1, p2, p3, p4$ – відповідно порядки моделей ОКК, МПК, програмних модулів ПОЛЗ та драйверів міжрівневої взаємодії; існує хоча б одна група $\Lambda_i \subset \Lambda$, для якої $p1 = 1, p2 = 0, p3 = 0, p4 = 0$, та хоча б одна група $\Lambda_{k \neq i} \subset \Lambda$, для якої $p1 = 3, p2 = 3, p3 = 0, p4 = 3$.

2. Метод відокремлених об'єктів (МВО), який полягає в наявності хоча б однієї групи $\Lambda_i \subset \Lambda$, в межах якої існує хоча б одна пара елементів $\alpha_\varphi = \{a_\varphi, \Pi_\varphi, ml_\varphi\}_\varphi$, $\alpha_{i \neq \varphi} = \{a_i, \Pi_i, ml_i\}_i$ та відповідних їм драйверів $\gamma_i(\alpha_\varphi)$, $\gamma_i(\alpha_i)$, порядки моделей складових яких такі: для елементів $\alpha_\varphi \leftrightarrow \gamma_i(\alpha_\varphi)$: $p1 = 1, p2 = 0, p3 = 0, p4 = 0$; для елементів $\alpha_i \leftrightarrow \gamma_i(\alpha_i)$: $p1 = 3, p2 = 3, p3 = 0, p4 = 3$.

3. Метод відокремлених каналів (МВК), застосовний лише для систем, у складі нижнього рівня яких мають місце багатоканальні (резервовані) МПК. Вимогою до нього є наявність хоча б однієї групи $\Lambda_i \subset \Lambda$, в межах якої є хоча б один елемент $\alpha_\varphi = \{a_\varphi, \Pi_\varphi, ml_\varphi\}_\varphi$ та $\Pi_\varphi = \langle \Pi_{\varphi_1}, \Pi_{\varphi_2}, \dots, \Pi_{\varphi_m} \rangle$, для якого мають місце такі порядки: для частини елементів $\{a_\varphi \leftarrow \Pi_{\varphi_1} \rightarrow ml_\varphi\}$: $p1 = 1, p2 = 0, p3 = 0, p4 = 0$; для іншої частини $\{a_\varphi \leftarrow \Pi_{\varphi_u} \rightarrow ml_\varphi\}, u \neq 1$: $p1 = 3, p2 = 3, p3 = 0, p4 = 3$.

Вибір конкретного методу залежить від мети та обсягів випробувань. Для комплексного контролю доцільна комбінація всіх трьох методів для різних груп та етапів проведення ТК. На відміну від традиційних стендових випробувань (ТСВ), при МКВ збільшується тестове покриття технологічних ситуацій та зменшується кількість підключених МПК. Достатнім є підключення єдиної системи представників класів еквівалентності за конкретною модифікацією МПК у межах кожної групи LL_i .

Достовірність МКВ для кожної групи МПК визначається на базі розподілу Стьюдента та методу максимальної правдоподібності і оцінюється ймовірністю

$$P(E) \geq \frac{4\kappa^2 t_p \left(\frac{t_p}{2} - \kappa \right) \Gamma\left(\frac{\kappa+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi(\kappa+1) \Gamma\left(\frac{\kappa}{2}\right)}} \sqrt{\frac{\left(\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} \right)^2 \sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} \left(\omega_{jh} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}{\kappa+1} \right)^2 - \left[\sum_{h=1}^{\kappa+1} \left(\omega_{jh} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}{\kappa+1} \right) \right]^2}{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}} \times$$

де κ – коефіцієнт Стьюдента, який визначається кількістю проаналізованих станцій;
 t_p – параметр, що визначає величину довірчого інтервалу при розподілі Стьюдента;

$\Gamma(z) = \int_0^{+\infty} e^{-x} x^{z-1} dx$ – гама-функція: інтеграл Ейлера другого роду ($x = \text{Re}(z) > 0$);

ω_{jh} – процент браку МПК групи № j в період дослідної експлуатації станції № h ;
 m_{jh} – вага j -ї групи для h -ї станції, визначена шляхом експертних оцінок.

Подія E полягає у підключенні до КВК МПЦ небракованого МПК певної групи. При недостатній $P(E)$ достовірність забезпечується додатковими циклами

випробувань (у кількості n), в результаті чого вона визначається так

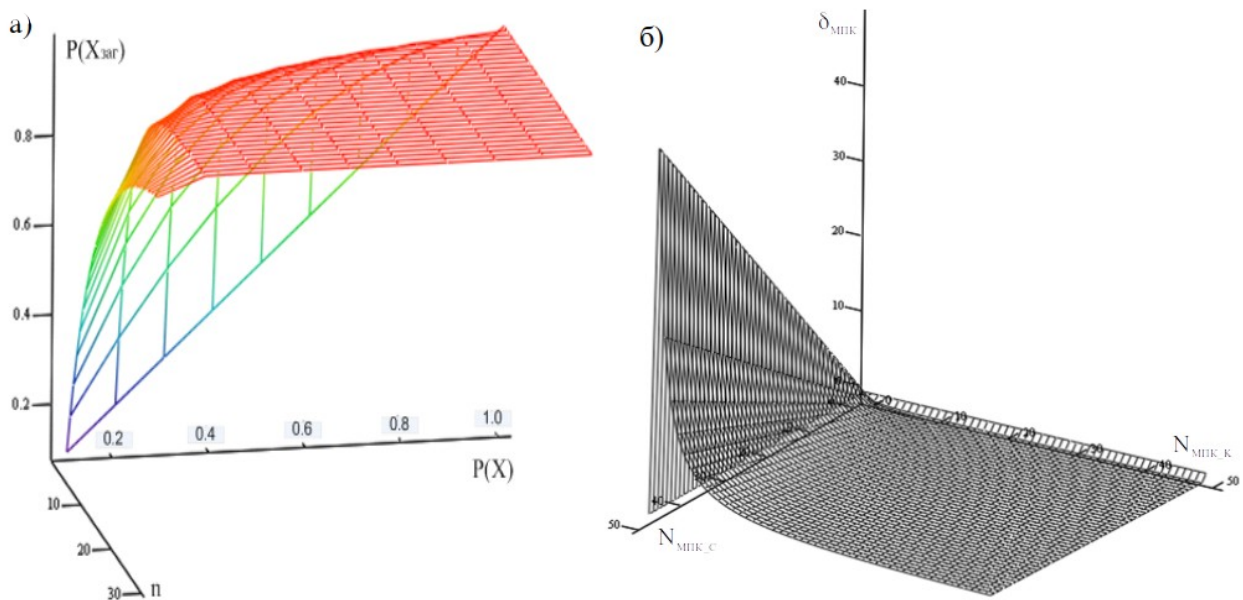
$$P(E_{\text{заг}}) = C_n^1 P^1(E) - C_n^2 P^2(E) + C_n^3 P^3(E) - \dots + (-1)^{n+1} C_n^n P^n = \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} C_n^k P^k(E). \quad (9)$$

При цьому на кожний цикл підключається окрема система представників. Аналогічно визначається ймовірність події $D_{\text{заг}} = \bigcap_{j=1}^m E_{\text{заг}}^j$, яка полягає у відсутності бракованих виробів хоча б в одній системі представників на всіх n циклах:

$$P(D_{\text{заг}}) = \prod_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} C_n^k P_j^k(E) = \sum_{k=1}^n \left[(-1)^{k+1} C_n^k \prod_{j=1}^m P_j^k(E) \right] = \sum_{k=1}^n \left[(-1)^{k+1} C_n^k P^k(D) \right], \quad (10)$$

де D – відсутність жодного бракованого МПК при одному циклі випробувань.

Тоді, згідно з (9), (10) характер залежності $P(X_{\text{заг}}) = f[P(X), n]$, де $X_{\text{заг}} = E_{\text{заг}} \vee D_{\text{заг}}$, однаковий для $X = E$ і $X = D$, тобто визначається лише результирующим $P(X)$ (рис. 6,а).



а – залежність загальної достовірності від достовірності одного циклу випробувань та їх кількості;
б – залежність показника ефективності МКВ від кількості МПК при застосуванні МКВ та ТСВ

Рис. 6. Поверхневі графіки характеристик методів комбінованих випробувань

Кількість МПК у складі стенда пропорційна n , що справедливо як для МКВ, так і для ТСВ. Звідси доцільність вибору МКВ замість ТСВ з позиції економії апаратури визначається таким відносним показником ефективності

$$\delta_{\text{МПК}}(n_c, n_k, k_c, k_k) = \frac{N_{\text{МПК}_C}(n_c) - N_{\text{МПК}_K}(n_k)}{N_{\text{МПК}_K}(n_k)} = \frac{k_c}{k_k} \frac{n_c}{n_k} - 1 \geq \delta_{\text{МПК}}^{\text{min}}, \quad (11)$$

де $N_{\text{МПК}_C}$, $N_{\text{МПК}_K}$ – кількість МПК у складі стенда відповідно при ТСВ та МКВ;
 n_c , n_k – необхідні кількості циклів ТСВ та МКВ для досягнення достатньої $P(X_{\text{заг}})$;
 k_c , k_k – коефіцієнти, які враховують особливості випробувань за ТСВ та МКВ;
 $\delta_{\text{МПК}}^{\text{min}}$ – мінімальне значення $\delta_{\text{МПК}}$, за якого доцільні комбіновані випробування.

Залежність $\delta_{\text{МПК}}(N_{\text{МПК}_C}, N_{\text{МПК}_K})$, побудована згідно з (11), наведена на рис. 6,б. За графіками на рис. 6 можна визначити припустимість та доцільність МКВ, а також

обчислити необхідну і достатню кількість циклів випробувань. На прикладі системи ЕЦ типу МПЦ-С встановлено, що для досягнення заданих припустимих значень $P_j(E_{зар}) \geq 0,98$ та $P(D_{зар}) \geq 0,95$ кількість циклів становить $n = 3$ при $\delta_{МПК} = 2,33$.

Враховуючи, що функціональні випробування не можуть в повному обсязі спрогнозувати поведінку системи МПЦ, передбачається технічна діагностика роботи МПК у процесі експлуатації. Для періодичного контролю її функціонування запропонована відповідна процедура, що виконується шляхом моделювання їх передвідмовних станів, яке полягає в імітації небезпечних відмов у їх окремих інформаційно-керуючих каналах та побудоване на базі МВК. Із його застосуванням підтверджується виявлення передвідмовного стану до настання небезпечної відмови МПК у цілому.

У четвертому розділі на основі встановлених відношень (рис. 2) та формули (6) розроблено метод синтезу моделей для випробувань МПЦ станцій різної топології.

Враховуючи досвід геометричного моделювання колійного розвитку, роботи станцій та станційних систем ЗАТ у наукових працях Салседи Б., Лихачова О.І., Бобровського В.І., Козаченка Д.М., Вернигори Р.В., Савченка П.В., Тарадіна М.О. та Кошевого С.В., синтез моделей виконується на множині Y , яка задається зв'язним (p, q) графом $G_Y = (V, E)$, усім вершинам та ребрам якого ставляться у відповідність рівнопотужні впорядковані множини вагових параметрів, які визначають їх властивості.

Вагові параметри, які не мають сенсу для відповідного ОКК, мають значення «нуль». Також це значення передбачено для понять «псевдосвітлофор» (позначення кінців тупиків, ізолюючих стиків та точкових колійних датчиків і світлофорів, не задіяних у логіці ЕЦ) та «псевдоділянка» (для розмежування світлофорів у створі).

Для введення графа G_Y в ЕОМ та формування на його основі випробувальної моделі системи МПЦ необхідно його аналітичне представлення.

Традиційне представлення графа G_Y топологічною матрицею громіздке і не завжди можливе. Опосередковане представлення через впорядковані списки вершин та ребер позбавлене універсальності введення й обробки та ускладнює врахування всіх вагових параметрів. Дослідженням встановлена доцільність аналітичної інтерпретації графа G_Y на основі вихідного формування n пересічних блоків топологічної матриці, які формуються компонентами $G_k \subset G_Y$, утвореними розрізами $E' \subset E$ та $E'' \subset E$, суміжними відносно опорних вершин $\{v_i'\} = V'$ за певним правилом Φ (рис. 7):

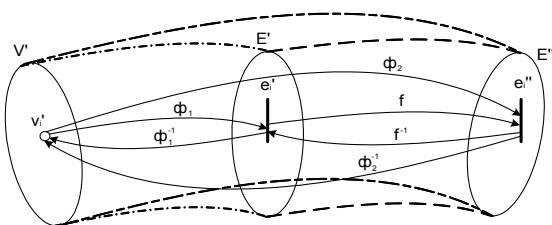


Рис. 7. Діаграма відношень опорних вершин та розрізів

$$\begin{aligned}
 & (\forall v_i' \in V') \leftrightarrow (\exists! e_i' \in E') \wedge (\exists! e_i'' \in E''), \\
 & f^{\pm} (E'_t, E''_t, V'_t) = [(e_i' \in E'_t) \wedge (e_i'' \in E''_t)] \llcorner \llcorner |v_i' \in V'_t|, \\
 & \Phi_1^{\pm} (E'_t, V'_t) = \left\{ \begin{array}{l} (e_i' \in E'_t) \uparrow (v_i' \in V'_t), t = x, \\ (e_i' \in E'_t) \downarrow (v_i' \in V'_t), t = y, \end{array} \right. \\
 & \Phi_2^{\pm} (E''_t, V'_t) = \left\{ \begin{array}{l} (e_i'' \in E''_t) \downarrow (v_i' \in V'_t), t = x, \\ (e_i'' \in E''_t) \uparrow (v_i' \in V'_t), t = y, \end{array} \right.
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

де x, y – відповідно парні і непарні значення

номера (індексу) t ;

« $\llcorner \llcorner$ » – умовний символ суміжності;

« \downarrow », « \uparrow » – символи інцидентності ребра відповідно до і після опорної вершини.

Процедура формування вихідних блоків топологічної матриці базується на послідовній нумерації вершин та ребер графа G_Y в обраному напрямку й виборі опорних вершин $V' = \{V'_i\}$ за правилом (12) так, щоб кожна підмножина V'_i формувала за принципом суміжності відносно своїх елементів два простих розрізи E'_i та E''_i . Номер k кожній утвореній компоненті G_k присвоюється в порядку слідування за обраним напрямком, починаючи з одиниці. Побудова блоків матриць виконується для непарних компонент, утворених розрізом E' , та парних компонент, утворених E'' .

Властивості кожної компоненти G_k доцільно відтворювати відповідним блоком параметрично-топологічної матриці (ПТМ), яка повністю її характеризує:

$$|M_{\text{ПТМ}_k}| = \begin{matrix} \overline{m}_{11}^k & \overline{m}_{12}^k & \dots & \overline{m}_{1b}^k \\ \overline{m}_{21}^k & \overline{m}_{22}^k & \dots & \overline{m}_{2b}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \overline{m}_{c1}^k & \overline{m}_{c2}^k & \dots & \overline{m}_{cb}^k \end{matrix}, \quad \begin{matrix} i = \overline{1, b}, \quad b \geq 5, \\ j = \overline{1, c}, \quad c \geq 5, \\ \overline{m}_{ij}^k = \langle n_e, n_v, u^e, u^v, \theta \rangle, \end{matrix} \quad (13)$$

де \overline{m}_{ij}^k – топологічно-параметричні вектори;

n_e, n_v – номери відповідно ребер та вершин повної ПТМ графа G_Y , яким відповідають рядок та стовпець, на перетині яких розміщений елемент \overline{m}_{ij}^k ;

u^e, u^v – вагові параметри відповідних елементу \overline{m}_{ij}^k ребра та вершини;

θ – топологічна властивість відповідних елементу \overline{m}_{ij}^k ребра та вершини.

Значення елементів u_e, u_v призначаються за таким правилом



$$h = 0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{b}{5} \right\rfloor, \quad (14)$$

$$s = 0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{c}{5} \right\rfloor,$$

де u_j^e, u_i^v – вагові параметри вершин та ребер, визначені за формулою (13).

Топологічна властивість $\theta = 0 \vee \pm 1$ визначається типом матриць та відповідає прямим або опосередкованим відношенням зв'язку елементів графа G_Y .

Для машинного синтезу експериментальної моделі на базі блоків ПТМ (13), (14) необхідно зворотне відтворення графа G_Y в пам'яті ЕОМ, що вимагає повного або часткового переходу від блочного розбиття до суцільної ПТМ. Специфіка розділення графу G_Y на компоненти передбачає наявність спільних вершин $\{V'_x, V'_y\} \subset V'$ в компонентах $G_u^{E'}$ та $G_w^{E''}$ за умови $w = u \pm 1$. Звідси була виведена формула знаходження повної ПТМ(G_Y) розмірністю $p \times q$ на основі підрахунку прямої суми

$$|M_{\text{ПТМ}_G Y}| = |M_{\text{ПТМ}_1}| \oplus \left(\oplus \sum_{k=2}^n \left\| \Delta_1 M_{\text{н}_\text{ПТМ}_k} \left\| M_{\text{н}_\text{ПТМ}_k} \right\| \right) \right) + \left(\oplus \sum_{k=1}^{n-1} \left\| \Delta_2 M_{\text{н}_\text{ПТМ}_k} \right\| \right) \oplus |O|_{k_q}, \quad (15)$$

де $|M_{\text{н}_\text{ПТМ}_1}|, |M_{\text{н}_\text{ПТМ}_2}|, \dots, |M_{\text{н}_\text{ПТМ}_n}|$ – блоки ПТМ з виключеними стовпцями, які мають спільні номери (індекси) з суміжними блоками;

$|\Delta_{1,2} M_{\text{ПТМ}_1}|, |\Delta_{1,2} M_{\text{ПТМ}_2}|, \dots, |\Delta_{1,2} M_{\text{ПТМ}_n}|$ – блоки ПТМ, що мають спільні номери стовпців з суміжними блоками;

$|O|_{k_q}$ – нуль-матриця, розмір якої збігається з ПТМ останньої компоненти G_n .

Вираз (15) становить основу для алгоритмізації і складання комп'ютерних програм машинного синтезу випробувальних моделей системи МПЦ для кожної станції.

При єдності динамічної складової для будь-якої конфігурації МПЦ машинний синтез випробувальної моделі здійснюється за такою схемою (рис. 8):

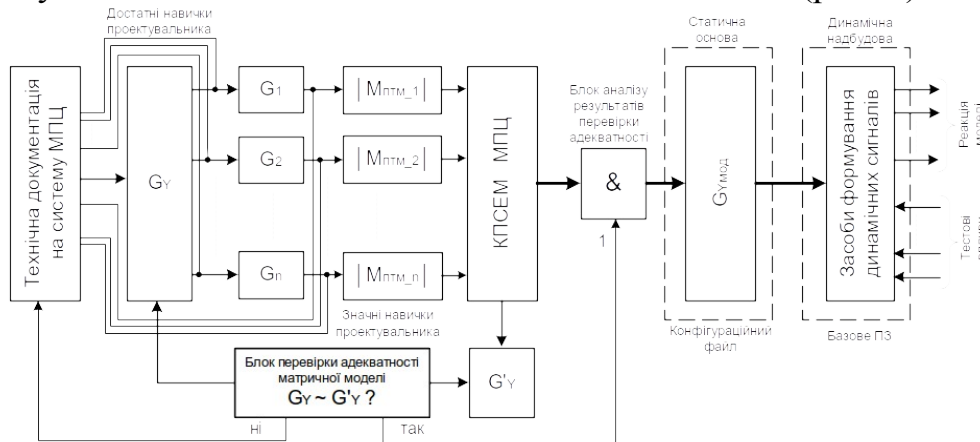


Рис. 8. Узагальнена схема машинного синтезу випробувальної моделі

Розроблена на основі виразів (13) – (15) комп'ютерна програма синтезу експериментальної моделі (КПСЕМ) з перевіркою коректності складання блоків ПТМ на основі контрольного графа G'_Y формує модифікований граф $G_{Y\text{мод}}$, закладений у па-м'ять ЕОМ в якості статичної основи (у вигляді конфігураційного файла).

Граф G'_Y виконує візуалізацію роботи КПСЕМ (коректність встановлюється на основі ізоморфізму G'_Y та G_Y , а також взаємної відповідності їх вагових параметрів).

За наведеними методом розроблені алгоритм та КПСЕМ МПЦ, яка може використовуватися для синтезу СІМ, ПКТ та моделей для МКВ залізничних станцій будь-якого топологічного розвитку. В останньому випадку для ОКК, які моделюються фізичними макетами, відповідні їм вагові параметри у складі графа G_Y призначаються нульовими. Приклад візуалізації роботи КПСЕМ наведений на рис. 9.

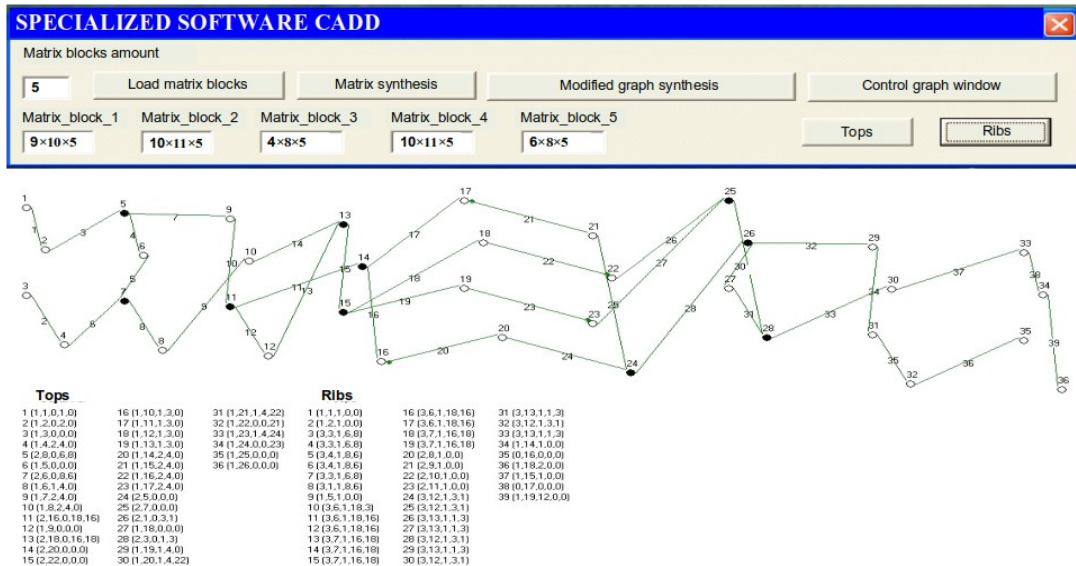


Рис. 9. Візуалізація роботи КПСЕМ МПЦ для зразкової станції

Основні показники ефективності запропонованого методу синтезу моделей для випробувань, який відповідно до формули (15) отримав назву методу прямих сум (МПС), порівняно із попереднім методом (конфігураційних файлів – МКФ), на прикладі системи МПЦ-С конкретної станції наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Оцінка ефективності методів прямих сум для системи МПЦ

Характеристики методів				Порівняльні параметри двох методів								
Метод	$N_{\text{тер}}$	$t_{\text{форм, год}}$	$N_{\text{пом}}$	$\beta_{\text{тер}}$	$\beta_{\text{форм}}$	$\beta_{\text{пом}}$	$\beta^{-1}_{\text{тер}}$	$\beta^{-1}_{\text{форм}}$	$\beta^{-1}_{\text{пом}}$	$\delta_{\text{тер}}$	$\delta_{\text{форм}}$	$\delta_{\text{пом}}$
МПС	390	3,25	4	0,22	0,43	0,22	4,64	2,32	4,5	3,6 4	1,32	3,5
МКФ	181 0	7,54	18									

$N_{\text{тер}}$ – кількість одиниць тексту, що вводиться в модель, $t_{\text{форм}}$ – час формування моделі (год), $N_{\text{пом}}$ – кількість помилок проектувальника; $\beta_{\text{тер}} = N_{\text{тер}}(\text{МПС})/N_{\text{тер}}(\text{МКФ})$, $\beta_{\text{форм}} = t_{\text{форм}}(\text{МПС})/t_{\text{форм}}(\text{МКФ})$, $\beta_{\text{пом}} = N_{\text{пом}}(\text{МПС})/N_{\text{пом}}(\text{МКФ})$; $\delta_{\text{тер}} = \beta^{-1}_{\text{тер}} - 1$, $\delta_{\text{форм}} = \beta^{-1}_{\text{форм}} - 1$, $\delta_{\text{пом}} = \beta^{-1}_{\text{пом}} - 1$.

Адекватність моделей, синтезованих за наведеним методом для імітаційних випробувань та МКВ, підтверджена експериментально шляхом тестування, а також випробувань МПЦ в умовах експлуатації. Вони відповідають результатам випробувань у лабораторних умовах із застосуванням запропонованих методів та засобів.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання удосконалення методів та засобів технічного контролю системи мікропроцесорної централізації шляхом підвищення ефективності її функціональних випробувань:

1. У запропонованому підході до нормування і контролю безпеки використання системи МПЦ з точки зору функціонування в штатному та допоміжному режимі обґрунтовано доцільність врахування параметрів не тільки ФБ, але й безвідмовності при виконанні її ТК. Це обумовлено зростанням ризику після захисної відмови ЕЦ вище припустимого (оскільки ймовірність виникнення небезпечної події досягає значення 10^{-3}).

2. В процесі аналізу відомих методів та засобів контролю безпеки використання систем ЗАТ встановлено, що вирішальним етапом гарантування безпеки використання МПЦ є технічний контроль, виконуваний шляхом функціональних випробувань. Визначено, що основними недоліками та обмеженнями відомих методів і засобів випробувань ЗАТ є недостатнє врахування особливостей систем конкретного призначення, низьке тестове покриття та необхідність значних ресурсів. Запропоновано шляхи їх удосконалення для системи МПЦ за рахунок застосування різних способів моделювання окремих елементів та підсистем, а також автоматизації формування моделей для випробувань.

3. Встановлено, що відношення між ОКК системи МПЦ, їх зв'язками та властивостями, які складають методологічну основу дослідження, мають характер бієкції та сю-р'єкції. Для їх формалізації запропонована УПК моделей, які задіяні у випробуваннях.

4. Удосконалено метод імітаційних випробувань, який передбачає моделювання тільки нижнього рівня МПЦ, в той час як елементи інших рівнів та засоби інтерфейсу між ними мають відтворюватися реальними пристроями системи. Він дозволяє в повному обсязі виконати технічний контроль програмного забезпечення і апаратно-тех-нічних засобів персоналу та обробки логічних залежностей системи МПЦ.

5. Розроблено методи комбінованих випробувань на базі синтезу імітаційного та фізичного моделювання, які забезпечують технічний контроль підсистем всіх рівнів системи МПЦ при їх взаємодії з мінімальними апаратними ресурсами. Запропоновано спосіб оцінки їх достовірності, який враховує незначний досвід експлуатації більшості систем МПЦ вітчизняної розробки, базований на розподілі Стюдента та методі максимальної правдоподібності. Для оцінки ефективності методів використаний відносний показник, який визначає вигаш в економії МПК порівняно з відомим методом. На прикладі ЕЦ типу МПЦ-С для конкретної станції даний вигаш склав 2,3 разу при забезпеченні достовірності результатів більше 95%.

6. Розроблено та впроваджено способи і програмно-апаратні засоби технічної реалізації запропонованих методів комбінованих випробувань на основі комбінованого випробувального комплексу МПЦ, на який отримано патент України на корисну модель.

7. Розроблено та впроваджено метод автоматизованого синтезу спеціалізованих моделей для імітаційних та комбінованих випробувань МПЦ, який базується на підрахунку прямих сум топологічних матриць компонент графічної моделі. Порівняно з існуючим методом він дозволяє зменшити обсяг виконуваних під час синтезу операцій, його тривалість та прогнозовану кількість помилок. На прикладі конкретної станції ці показники зменшилися відповідно в 4,64; 2,32 та 4,5 разу. Для реалізації методу розроблена комп'ютерна програма (КПСЕМ МПЦ), зареєстрована в Державній службі інтелектуальної власності України (отримано свідоцтво про авторське право).

8. Результати роботи використані під час розроблення, виробництва, експлуатації, ремонту і сертифікації системи МПЦ-С. Економічний ефект від їх застосування, підтверджений актами впровадження, складає для різних підприємств від 49,7 до 125,6 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Каменєв, О.Ю. Розрахунок показників безпечності мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів з мінімальною деталізацією структури [Текст] / О.Ю. Каменєв // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 122. – С. 165 – 175.

2. Каменєв, О.Ю. Особливості застосування експериментальних методів доказу безпечності систем мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів [Текст] / О.Ю. Каменєв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 4. – С. 104-111.

3. Каменєв, О.Ю. Розробка графічної моделі підсистеми логічних залежностей мікропроцесорної централізації [Текст] / О.Ю. Каменєв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – № 2. – С. 25 – 31.

4. Каменєв, О.Ю. Методи матричної інтерпретації підсистеми логічних залежностей мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів [Текст] / О.Ю. Каменєв // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 2. – С. 110 – 117.

5. Кустов, В.Ф. Удосконалення методів математичного моделювання випробувальних засобів систем МПЦ на основі топологічних матриць [Текст] / В.Ф. Кустов, О.Ю. Каменєв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – № 5. – С. 75 – 83.

6. Кустов, В.Ф. Формалізація технічних засобів керування і контролю при лабораторних дослідженнях [Текст] / В.Ф. Кустов, О.Ю. Каменєв // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вип. 134. – С. 156 – 162.

7. Каменєв, О.Ю. Математичні моделі для синтезу засобів випробувань станційних систем автоматики на основі теоретико-множинного підходу [Текст] / О.Ю. Каменєв, В.Ф. Кустов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2012. – Вип. 31. – С. 73 – 84.

8. Каменєв, О.Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті [Текст] / О.Ю. Каменєв // Наука та прогрес транспорту: Вісн. ДНУЗТ ім. ак. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 44. – С. 7 – 16.

9. Каменєв, А.Ю. Автоматизированное проектирование программного обеспечения экспериментальных моделей микропроцессорных систем управления стрелками и сигналами [Текст] / А.Ю. Каменєв // Зб. наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2013. – Вип. 32. – С. 79 – 91.

10. Кустов, В.Ф. Экспериментально-статические модели распределённых технологических объектов [Текст] / В.Ф. Кустов, А.Ю. Каменєв // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 97 – 101.

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

11. Пат. 77047. Україна МПК G05B 23/00. Комбінований випробувальний комплекс мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів [Текст] / О.Ю. Каменєв, В.Ф. Кустов. – № U201208749; заявл. 16.07.2012; опубл. 25.01.2013, Бюл. № 2 – 6 с.

12. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 47467. Комп'ютерна програма синтезу експериментальної моделі мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів [Текст] / О.Ю. Каменєв, В.Ф. Кустов; Державна служба інтелектуальної власності України. – № 47813; заявл. 27.11.2012; зареєстр. 28.01.2013.

Праці апробаційного характеру:

13. Каменев, А.Ю. Имитационные испытания программного обеспечения микропроцессорной централизации стрелок и сигналов и их оптимизация [Текст] / А.Ю. Каменев, В.Ф. Кустов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матер. доп. 20-ї МНПК, м. Алушта. – 2007. – № 4 (Додаток). – С. 54.

14. Каменев, А.Ю. Организационно-технические мероприятия по вводу в эксплуатацию микропроцессорной централизации поста «Южный» [Текст] / А.Ю. Каменев, В.Ф. Кустов, А.Г. Степанов, Е.В. Горелова, В.С. Носов, А.М. Шульга // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матер. доп. 21-ї МНПК, м. Алушта. – 2008. – № 4 (Додаток). – С. 34 – 35.

15. Каменев, А.Ю. Особенности расчёта показателей функциональной безопасности и безотказности систем микропроцессорной централизации стрелок и сигналов МПЦ-Д, МПЦ-Ц, МПЦ-С [Текст] / А.Ю. Каменев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матер. доп. 23-ї МНПК, м. Алушта. – 2010. – № 4 (Додаток). – С. 63 – 64.

16. Каменев, А.Ю. Особенности применения экспериментальных методов доказательства безопасности функционирования систем микропроцессорной централизации стрелок и сигналов [Текст] / А.Ю. Каменев // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте: тезисы 4-й МНПК, пгт Чинадиево. – Днепропетровск: ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна, 2011. – С. 44 – 45.

17. Каменев, А.Ю. Синтез методов испытаний на имитационных и физических моделях программируемых технических средств управления движением поездов [Текст] / А.Ю. Каменев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матер. доп. 24-ї МНПК, м. Алушта. – 2011. – № 5. – С. 128.

18. Каменев, О.Ю. Методи комплексного моделювання при доказі безпечності мікропроцесорних систем електричної централізації [Текст] / О.Ю. Каменев // Зб. наук. праць УкрДАЗТ: тези доп. 74-ї МНТК, м. Харків. – 2012. – Вип. 129. – С. 208 – 209.

19. Каменев, А.Ю. Комбинированные методы экспериментальных исследований надёжности и безопасности микропроцессорной централизации стрелок и сигналов [Текст] / А.Ю. Каменев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матер. доп. 25-ї МНПК, м. Алушта. – 2012. – № 4 (Додаток). – С. 116 – 117.

20. Кустов, В.Ф. Усовершенствование технологии сортировочной работы станции «Полугорки» путём применения немаршрутизированных манёвров [Текст] / В.Ф. Кустов, А.Ю. Каменев // Энерго- и ресурсосберегающие технологии при эксплуатации машин и оборудования: тезисы 4-й МНТК. – Донецк: ДонИЖТ, 2012. – С. 158 – 160.

21. Каменев, А.Ю. Методы и средства построения экспериментальных моделей для доказательства безопасности микропроцессорной централизации [Текст] / А.Ю. Каменев // Проблемы безопасности на транспорте: матер. докл. 6-й МНПК. – Гомель: БелГУТ, 2012. – С. 189 – 190.

22. Каменев, О.Ю. Методи та засоби сертифікаційних випробувань мікропроцесорної системи МПЦ-С [Текст] / О.Ю. Каменев // Зб. наук. праць УкрДАЗТ: тези доп. 75-ї МНТК, м. Харків. – 2012. – Вип. 136. – С. 271.

АНОТАЦІЯ

Каменєв О.Ю. Удосконалення методів та засобів технічного контролю системи мікропроцесорної централізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Українська державна академія залізничного транспорту МОН України; Харків, 2014 р.

Дисертація присвячена питанню удосконалення методів та засобів технічного контролю системи мікропроцесорної централізації за рахунок підвищення ефективності її функціональних випробувань на етапах виробництва, експлуатації та ремонту.

Згідно із поставленою метою в роботі розроблені методи комбінованих випробувань на базі синтезу імітаційного та фізичного моделювання нижнього рівня, а також вдосконалено метод імітаційних випробувань шляхом використання реальних пристроїв верхнього та середнього рівнів системи мікропроцесорної централізації. Запропоновано спосіб оцінки їх достовірності на базі розподілу Стюдента і методу максимальної правдоподібності. Для формування випробувальних моделей розроблено метод їх синтезу, оснований на графічному представленні множин об'єктів керування і контролю, їх зв'язків та властивостей з наступною аналітичною інтерпретацією, базованою на підрахунку прямих сум топологічних матриць. Запропоновані методи та розроблені технічні засоби їх реалізації передбачені для використання та впроваджені на ряді підприємств з експлуатації, ремонту, виробництва та сертифікації систем залізничної автоматики й телемеханіки. В результаті їх застосування підвищується достовірність технічного контролю, зменшуються його ресурсоємність, прискорюється процес підготовки до випробувань.

Ключові слова: технічний контроль, безпека використання, мікропроцесорна централізація, функціональні випробування, синтез випробувальних моделей.

АННОТАЦИЯ

Каменев А.Ю. Усовершенствование методов и средств технического контроля системы микропроцессорной централизации. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины; Харьков, 2014 г.

Диссертация посвящена усовершенствованию методов и средств технического контроля системы микропроцессорной централизации путём повышения эффективности её функциональных испытаний на этапах производства, эксплуатации и ремонта.

Решающим мероприятием в обеспечении безопасности применения систем микропроцессорной централизации в процессе использования является технический контроль, выполняемый путём функциональных испытаний на этапах эксплуатации, ремонта, производства и внедрения, существующие методы и средства которых не

учитывают в достаточной мере особенностей функционирования исследуемых систем, не обеспечивают достаточного тестового покрытия либо требуют для него значительных материальных и временных ресурсов. Это позволяет выделить актуальное научно-прикладное задание, связанное с улучшением их характеристик.

Для решения поставленного задания установлены и формализованы отношения на множестве объектов управления и контроля стрелками и сигналами, их связей и свойств, которые взяты за основу для разработки методов и средств испытаний. С их использованием усовершенствован метод имитационных испытаний, базирующийся на использовании специализированной имитационной модели нижнего уровня и реальных программно-аппаратных средств верхнего и среднего уровней, а также межуровневых интерфейсов. В отличие от ранее известных методов предложенный позволяет в полной мере выполнить технический контроль указанных реальных устройств как в лабораторных, так и в эксплуатационных условиях.

С целью повышения тестового покрытия и минимизации ресурсов на этапе стендовых испытаний предложены комбинированные методы и технические средства их проведения, основанные на синтезе имитационного и физического моделирования работы устройств нижнего уровня. Это даёт возможность подключения к стенду одной системы представителей микропроцессорных объектных контроллеров, в то время как необходимый набор технологических ситуаций обеспечивается программной имитацией. В результате повышается эффективность испытаний, для оценки которой введён показатель, учитывающий превышение абсолютного выигрыша в экономии аппаратуры по сравнению с известными методами. На примере конкретной станции значение этого показателя составило от 2,3 до 7 раз.

Для оценки достоверности результатов предложенных методов испытаний при незначительной статистике данных эксплуатации, что характерно для микропроцессорных систем отечественной разработки, предложен подход, основанный на применении распределения Стьюдента и метода максимального правдоподобия. На примере одной из отечественных систем установлено, что вероятность корректного распространения результатов комбинированных методов, проводимых на трёх однотипных системах представителей, каждая из которых применяется в своём цикле испытаний, составляет более 95% (при показателе эффективности 2,3 раза).

С целью усовершенствования процесса составления моделей для проведения имитационных и комбинированных испытаний систем централизации каждой станции разработан метод их синтеза, основанный на графическом представлении установленных выше отношений. Составленная на его основе геометрическая модель закладывается в статическую основу испытательного средства путём аналитической интерпретации с использованием прямых сумм топологических матриц её компонент. При этом предполагается, что динамическая составляющая испытательной модели, реализованная её прикладным программным обеспечением, сохраняется неизменной для всех объектов внедрения системы управления. На примере одной из отечественных систем для конкретной станции установлено, что по сравнению с известным методом формирования испытательных моделей

предложенный позволяет сократить объём выполняемых операций, длительность формирования модели и прогнозируемое число ошибок её составителя соответственно в 4,64; 2,32 и 4,5 раза.

Предлагаемые в работе методы и средства реализованы на ряде предприятий, которые специализируются на производстве, эксплуатации, ремонте и сертификации систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Экономический эффект разработок в расчёте на одну внедряемую систему составляет примерно 49,7 тыс. грн.

Ключевые слова: технический контроль, безопасность применения, микропроцес-сорная централизация, функциональные испытания, синтез испытательных моделей.

THE SUMMARY

Kamenyev A.Y. Improvement of microprocessor interlocking system technical inspection methods and facilities. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.20 – exploitation and maintenance of transport means. Ukrainian state academy of railway transport MES of Ukraine; Kharkiv, 2014.

Thesis is devoted to the question of perfection of methods and facilities of technical inspection of microprocessor-based pointers and signals interlocking system due to the increase of efficiency of its functional tests on the stages of production, exploitation and repair.

According to the purpose in-process the developed methods of stand tests on the base of imitation and physical design of lower level synthesis, and so the method of imitation tests by the use of the real devices of top and middle levels of control system by pointers and signals is improved. It was offered approach to the estimation of their authenticity on the base of Student distributing and the maximal plausibility method. For forming of test-beds the method of their synthesis, based on graphic presented plurals of control objects, their connections and properties, with next analytical interpretation, based on the count of topological matrices direct sums, is developed. Offered methods and the hardwares of their realization are developed foreseen for the use and inculcated on the row of enterprises from exploitation, repair, production and certification of the systems of railway automation and remote control. Authenticity of technical control rises as a result of their application, the amount of necessary for his leadthrough resources diminishes, the process of preparation is accelerated to the tests.

Key words: technical inspection, use safety, microprocessor pointers and signals interlocking system, functional tests, synthesis of test-beds.

Каменєв Олександр Юрійович

656.257:681.32

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ
СИСТЕМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ**

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

к.т.н., доц. Сосунов О.О.

Підписано до друку “_ 9 _” ____ січня ____ 2014 р.
Формат 60x84/16. Папір для множних апаратів.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл. – вид. арк. 1,1.
Замовлення № __1__. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТ. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТ: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.