

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**ЧЕПЦОВ Михайло Миколайович**

УДК 656.25:656.256:656.2.08

**ФОРМУВАННЯ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ СТАНЦІЙНИХ СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА  
ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі “Автоматика та комп’ютерне телекерування рухом поїздів”, Міністерство транспорту та зв’язку України

**Науковий консультант:**

доктор технічних наук, професор  
Бойнік Анатолій Борисович,  
Українська державна академія залізничного  
транспорту, кафедра Автоматика та комп’ютерне телекерування рухом поїздів,  
завідувач кафедри

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
Загарій Геннадій Іванович,  
Українська державна академія залізничного  
транспорту, кафедра Спеціалізовані комп’ютерні системи, завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор  
Каргін Анатолій Олексійович  
Донецький національний університет  
кафедра Комп’ютерні технології, завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор  
Фурман Ілля Олександрович  
Харківський національний технічний університет сільського господарства  
ім. П.Василенка, кафедра Автоматизація та комп’ютерні  
технології, завідувач кафедри

Захист відбудеться “ 25 ” березня 2010 р. о 11-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 Української державної 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 розісланий “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2009 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Процес розвитку систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) характеризується поетапним переходом від релейної до мікроелектронної й мікропроцесорної елементної бази. Початкові етапи цього процесу охопили інформаційні функції, і в результаті створено принципово нові пристрої диспетчерського контролю та технічної діагностики. В подальшому, після розробки та впровадження мікропроцесорних систем диспетчерської централізації, з'явився досвід комп'ютерної реалізації функцій керування рухом поїздів, які безпосередньо не пов'язані з безпекою руху поїздів. Сучасний етап розвитку характеризується інтенсивним пошуком оптимальних теоретичних та ефективних прикладних рішень щодо побудови функціонально безпечних систем СЦБ.

**Актуальність теми.** Враховуючи світову тенденцію зменшення вартості мікропроцесорних складових, з оглядом на постійне й суттєве подорожчання енергоносіїв і кольорових металів, розробка та впровадження релейних станційних систем електричної централізації все далі стають економічно не вигідними. Такі процеси обумовлюють пошук ефективних наукових методів синтезу, орієнтованих на сучасні технічні засоби та елементну базу. При цьому основним стримуючим фактором є суттєва проблема, пов'язана з необхідністю забезпечення нормативного рівня функціональної безпеки систем СЦБ.

Аналіз сучасних комп'ютерних засобів автоматизації свідчить, що поряд з використанням нової елементної бази здебільш застосовуються методи синтезу, характерні для релейних систем електричної централізації. Зокрема, перевірка умов безпеки в попередніх системах виконувалась на основі реле першого класу надійності, для яких природним є дискретне двійкове представлення вхідної інформації та логічні методи забезпечення необхідної функціональності. У свою чергу застосування подібних підходів у програмних засобах реалізації сучасних систем потребує моделювання динамічних характеристик кожної логічної змінної. При цьому, за рахунок значної кількості умовних операторів, зростає об'єм програмного забезпечення, як наслідок – зменшуються показники надійності та функціональної безпеки. Для запобігання подібних явищ у мікропроцесорних централізаціях застосовується структурна надлишковість – резервування, але це призводить до збільшення матеріальних витрат на проектування та впровадження, як слідство, вартість сучасних комп'ютерних систем керування рухом поїздів у декілька разів більше релейних.

Крім цього, згідно з існуючою технологією експлуатації залізничних систем СЦБ, внутрішня логіка роботи, методи та засоби забезпечення функціональної безпеки на всіх етапах життєвого циклу жорстко регламентовані, затверджені й підлягають періодичній перевірці. З іншого боку, технічні засоби, і особливо програмне забезпечення комп'ютерних систем, є ноу-хау виробників і доступні обмеженому колу фахівців, у зв'язку з чим виникає суттєве протиріччя з

існуючою технологією. Закритість внутрішньої логіки роботи, разом із неоднозначністю методів визначення показників функціональної безпеки програмних засобів, викликає недовіру замовників і значно стримує процес впровадження сучасних систем.

У зв'язку з цим при розробці математичних методів, функціональних моделей, програмно-апаратних засобів необхідно орієнтуватися на підвищення власної функціональної безпеки як технічних, так і програмних засобів. І тому проблема формування методів синтезу станційних систем сигналізації та централізації на основі динамічних функціональних моделей є сучасною та актуальною.

**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 Міністерства транспорту та зв'язку України згідно з вимогами “Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту на 2008-2015 роки”, ухвала КМУ № 651 від 27.12.2006, “Програми інформатизації залізничного транспорту та координаційного плану реалізації першочергових заходів” наказ УЗ № 277-Ц від 03.06.2002, планами науково-дослідних робіт академії, що проводяться в рамках галузевих програм у наукових напрямках Міністерства транспорту та зв'язку України на замовлення Державної адміністрації залізничного транспорту України за темами: “Дослідження та визначення інформаційного інтерфейсу радіолокаційного сенсора для дистанційного спостереження за наявністю рухомого складу на об'єктах залізничної інфраструктури”, № ДР 0108U003783, № ДО 0208U006914 – виконавець; “Дослідження та формування переліку вимог до нормативних документів з випробування сенсора для дистанційного спостереження за наявністю рухомого складу на об'єктах залізничної інфраструктури”, № ДР 0108U006510, № ДО 0208U006913 – виконавець; “Дослідження існуючих видів дуплексного радіозв'язку з метою визначення системи радіозв'язку, прийнятої для впровадження на залізничному транспорті України”, № ДР 0109U001518 – виконавець; “Дослідження та вибір систем інтервального регулювання руху поїздів для швидкісних та високошвидкісних залізниць України”, № ДР 0106U004119, № ДО 0209U005290 – виконавець; “Розробка автоматизованої системи виявлення та аналізу умов затримок поїздів”, № ДР 0102U006314, № ДО 0203U000983 – відповідальний виконавець; “Розробка мікропроцесорної системи тренінгу основних навиків роботи та контролю поточних знань чергового по станції – “Макет-тренажер ДСП”, № ДР 0104U007159, № ДО 0204U006020 – відповідальний виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення рівня безпеки руху й зменшення матеріальних витрат на розробку, впровадження та експлуатацію систем залізничної автоматики за рахунок теоретичного узагальнення та вирішення науково-прикладної проблеми – формування

методів синтезу станційних систем сигналізації та централізації на основі динамічних функціональних моделей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз існуючих станційних систем сигналізації й централізації (СССЦ) та здійснити класифікацію математичних моделей надійності їх роботи для розробки наукового підходу щодо реалізації наскрізного безпечного динамічного режиму функціонування всіх рівнів СССЦ;

- розробити концепцію синтезу станційних систем сигналізації й централізації, виявити умови та довести можливість виникнення небезпечних відмов для реалізації динамічного режиму функціонування СССЦ;

- встановити закономірності формування відповідальних сигналів керування та розробити методологічні підходи побудови станційних систем сигналізації й централізації за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов;

- розробити адитивну та мультиплікативну динамічні моделі перевірки умов безпеки при формуванні відповідальних команд керування та виконати синтез безпечного функціонального елемента (БФЕ) для програмної реалізації функціональних блоків та вузлів СССЦ за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов;

- на основі використання БФЕ розробити комплекс наскрізних динамічних моделей функціонування складових СССЦ: колійного приймача, пристроїв керування стрілками та світлофорами, відповідальних модулів цифрової обробки сигналів виконавчої групи з метою покращення експлуатаційних характеристик та підвищення рівня функціональної безпеки системи;

- формалізувати критерії небезпечних відмов рейкових кіл, пристроїв керування стрілками й сигналами з урахуванням часових характеристик наявності відмов для розробки динамічних функціональних моделей СССЦ;

- розробити метод оцінки показників надійності та безпеки СССЦ на етапі проектування з урахуванням даних поїздопотоків, їх апроксимації та тестування за критеріями небезпечних відмов, доповнених часовими ознаками для забезпечення виконання нормативних вимог до запропонованих програмно-апаратних засобів станційних систем сигналізації й централізації.

*Об'єктом дослідження є процес функціонування систем сигналізації й централізації.*

*Предметом дослідження є методи синтезу та моделі функціонування станційних систем сигналізації й централізації.*

*Методи дослідження.* Виконані в дисертаційній роботі дослідження ґрунтуються на застосуванні: теорії ймовірності та положеннях теорії автоматичного управління при виявленні умов та доведенні можливості виникнення динамічних небезпечних відмов у програмних засобах реалізації СССЦ; теорії надійності та безпеки, методів спектрального аналізу, теорії радіотехнічних кіл і сигналів при встановленні закономірностей формування відповідальних

команд для побудови станційних систем сигналізації й централізації та при синтезі адитивної й мультиплікативної динамічних моделей перевірки умов безпеки та безпечного функціонального елементу; теорії надійності та безпеки при розробці критеріїв небезпечних відмов пристроїв контролю та керування; математичної статистики, математичного аналізу, теорії масового обслуговування, чисельних методів розрахунків при розробці методу оцінки показників надійності та безпеки СССЦ на основі аналізу даних поїздопотоків та їх апроксимації.

***Наукова новизна отриманих результатів*** полягає в розробці комплексного інноваційного підходу щодо синтезу безпечних станційних систем сигналізації й централізації (СССЦ), у яких на відміну від існуючих реалізовано наскрізний динамічний режим функціонування із застосуванням аналітичних залежностей між вхідними та вихідними сигналами, при цьому *вперше*:

- на основі аналізу існуючих систем сигналізації й централізації та проведеної класифікації математичних моделей надійності їх роботи розроблено науковий підхід щодо реалізації наскрізного безпечного динамічного режиму функціонування всіх рівнів СССЦ;

- розроблена концепція синтезу станційних систем сигналізації й централізації, виявлені умови та доведена можливість виникнення небезпечних відмов, що дозволило реалізувати динамічний режим функціонування СССЦ;

- встановлено закономірності формування відповідальних команд та розроблено методологічні підходи побудови станційних систем сигналізації й централізації за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов;

- розроблено адитивну й мультиплікативну динамічні моделі перевірки умов безпеки при формуванні відповідальних команд керування, та виконано синтез безпечного функціонального елементу (БФЕ), що дозволило реалізувати програмно функціональні блоки та вузли СССЦ за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов;

- на основі використання БФЕ розроблено комплекс наскрізних динамічних моделей функціонування складових СССЦ: колійного приймача, пристроїв керування стрілками та світлофорами, відповідальних модулів цифрової обробки сигналів виконавчої групи, що дозволяє покращити експлуатаційні характеристики та підвищити рівень функціональної безпеки системи;

*Удосконалено та одержало подальший розвиток:*

- критерії небезпечних відмов пристроїв контролю та керування: колійних приймачів, стрілок та світлофорів, які доповнено часовими характеристиками наявності відмов, що дозволило розробити динамічні функціональні моделі СССЦ;

- метод оцінки показників надійності та безпеки СССЦ на етапі проектування з урахуванням даних поїздопотоків, їх апроксимації та тестування за критеріями небезпечних відмов, доповнених часовими ознаками, що дозволяє забезпечити виконання нормативних вимог до запропонованих програмно-апаратних засобів реалізації станційних систем сигналізації й

централізації.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що реалізація запропонованих і обґрунтованих у дисертації методів синтезу станційних систем сигналізації й централізації на основі динамічних функціональних моделей забезпечує підвищення безпеки руху транспорту, зменшує матеріальні витрати на розробку, впровадження та експлуатацію СССЦ.

В дисертаційну роботу включені наукові положення, висновки й рекомендації, а також розроблені методи, моделі й алгоритми, отримані автором у ході виконання ряду НДР із 2001 по 2009 рр. на замовлення Міністерства транспорту та зв'язку України й «Укрзалізниці», а також відповідно до тематичних планів УкрДАЗТу. Практичне застосування, підтверджене матеріалами впровадження результатів дисертаційної роботи, знаходять: часові характеристики критеріїв небезпечних відмов, елементи методу статистичної оцінки надійності та безпеки, алгоритми та програмне забезпечення системи виявлення та аналізу причин затримок поїздів (акт впровадження у ДП «Донецька залізниця»); методи побудови та моделі безпеки мікропроцесорної системи керування рухом, функціональні алгоритми практичної реалізації адитивної та мультиплікативної моделі централізованого керування стрілками та світлофорами, програмне забезпечення безпечних пристроїв автоматики й телемеханіки (акт впровадження у ДП «Харківський метрополітен»); результати аналізу статистичних даних функціонування мікропроцесорної системи диспетчерської централізації, чисельні характеристики щільності розподілу поїздопоту за станціями та дільницями залізниць України, методи побудови та моделі безпеки мікропроцесорної системи керування рухом поїздів (акт впровадження у ООО «НПО Залізничавтоматика»); методи побудови динамічної автоматизованої системи керування рухом поїздів, модель безпечного функціонального елемента, алгоритми та програмне забезпечення (акт впровадження у НВП «САТЕП»); методи побудови динамічної мікропроцесорної СССЦ, алгоритми та програмне забезпечення пристроїв керування стрілками та світлофорами, програмно-апаратна реалізація динамічних моделей (акт впровадження у Донецькому інституті залізничного транспорту).

Теоретичні результати, які були отримані в процесі виконання цієї роботи, використовуються в курсі лекцій з дисципліни «Основи теорії надійності та побудови безпечних систем залізничної автоматики», «Системи автоматики на перегонах», «Станційні системи автоматики», «Системи диспетчерської централізації» в курсовому та дипломному проектуванні, та при підготовці магістрів в Інституті перепідготовки та підвищення кваліфікації в УкрДАЗТ.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення, розробки та результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий.

У [1] – розробка методу та математичних моделей дешифрування коду АЛС на основі спектрального кореляційного прийому та дешифрування. У роботі [2] – розробка структури та

моделей інформаційного забезпечення центрів диспетчерського керування рухом поїздів на основі методів цифрової обробки сигналів. У [7] – розробка методу функціонування та моделі блоку стрілки системи мікропроцесорної централізації. У роботі [9] – виконання статистичних досліджень, розрахунки критерію згоди Пірсона та виявлення обмежень у можливості застосування математичного апарату теорії масового обслуговування. У роботах [15,16,26] – формалізація критеріїв, розробка математичних моделей та розрахунки часових характеристик. У роботі [18] – розробка методу синтезу програмних моделей за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов. У роботі [20] – розробка методу функціонування та моделі пристрою контролю положення гостряків стрілки. У роботі [21] – розробка мультиплікативної моделі формування відповідальних команд у мікропроцесорній системі централізації. У роботі [24] – розробка моделі безпечного функціонального елементу.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися і схвалені на 28 науково-технічних конференціях, форумах та семінарах, у тому числі: міжнародних молодіжних форумах “Радіоелектроніка й молодь у XXI столітті», Харків, ХДТУРЕ, у 2000 - 2004 рр.; міжнародній конференції з управління - “Автоматика-2002”, Київ; міжнародній науково-технічній конференції “Інформаційні системи та технології на транспорті України – стан, проблеми, перспектива” Київ, КУЕТТ, 2003 р.; 65-й та 66-й міжнародних науково-практичних конференціях “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”, Дніпропетровськ, ДПТ, 2005, 2006 рр.; першій міжнародній науково-практичній конференції “Підтвердження відповідності на залізничному транспорті”, Алушта, 2005 р.; міжнародних науково-практичних конференціях “Перспективные системы управления на железнодорожном промышленном и городском транспорте”, Алушта, 2004 - 2009 рр.; першій міжнародній науково-практичній конференції “Электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте”, Коктебель, 2007 р.; першій міжнародній науково-практичній конференції “Ресурсосберегающие технологии в эксплуатации средств транспорта в условиях реформирования железнодорожного транспорта Украины”, Євпаторія, 2007 р.; міжнародній науково-практичній конференції “Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития» Одеса, 2008 р.; міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні засоби та технології розроблення інформаційних систем» Харків ХНЕУ, 2008 р.; 9-ти науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ) та фахівців залізничного транспорту, 1999 – 2008 рр..

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася: на міжкафедральному семінарі УкрДАЗТ за участю членів спеціалізованої вченої ради Дб4.820.04; сумісному засіданні кафедри автоматизації та комп’ютерних технологій та кафедри кібернетики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка; науковому семінарі



“Актуальні проблеми комп’ютерних наук” Донецького національного університету; науковому семінарі “Сучасний стан та перспективи розвитку станційних систем централізації” Державного науково-дослідного центру залізничного транспорту України.

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковані в 27 основних наукових працях, у тому числі 19 статтях у збірниках наукових праць, та 8 статтях у науково-технічних фахових виданнях, а також у 10 додаткових працях.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, п’яти розділів, висновку й трьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 277 сторінок, із яких 272 сторінок (12 авторських аркушів) основного тексту, 133 ілюстрацій і 5 таблиць, списку використаних джерел, що включає 217 найменувань та 6 додатків на 16 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

**У вступі** подана загальна характеристика роботи, її зв’язок із науковими програмами й темами. Обґрунтовано актуальність дисертації, визначено наукову новизну отриманих результатів, показано їх практичну цінність. Сформульовано мету й основні задачі досліджень, а також положення, що виносяться на захист. Висвітлено результати апробації на науково-технічних конференціях, форумах та семінарах. Представлено відомості щодо публікацій та особистого внеску здобувача.

**Перший** розділ присвячений аналізу та дослідженню сучасного стану проблеми забезпечення функціональної безпеки в системах керування рухом поїздів. Значний внесок у становлення та подальший розвиток теорії керування рухом поїздів, теорії надійності та безпеки сучасних систем автоматичного керування рухом поїздів, зробили такі вчені, як Бабаєв М.М., Бойнік А.Б., Бутко Т.В., Верралл Д., Гавзов Д.В., Гаврилюк В.І., Грунтов П.С., Данько М.І., Дейкстра Э., Желінський З., Жуковицький І.В., Загарій Г.І., Казаков А.А., Каргін А.О., Котляренко Н.Ф., Лисенков В.М., Літвуд Б., Моранда П., Мороз В.І., Наур П., Переборов А.С., Самсонкин В.М., Сапожніков В.В., Сапожніков Вл.В., Скобцов Ю.А., Соболев Ю.В., Стасюк О.І., Флорйд Р., Фурман І.О., Харченко В.С., Хоор Ч. та ін.

Аналіз сучасних систем мікропроцесорних централізацій показує, що основним методом забезпечення функціональної безпеки є застосування структурної надлишковості, що характерно для більшості вітчизняних і закордонних систем. Так, дублювання основних елементів, включаючи мікропроцесорне ядро, застосовується в таких системах, як Ebilock 950, МПЦ-И. Мажоритарний спосіб резервування «2 з 3» використовується в МПЦ ESTW L90 5, МПЦ1, МПЦ2, МПЦ МПП САТЕП та ін. Однак відомо, що теоретичні значення ймовірності безпечної роботи дубльованих систем  $P_{0.2 \times 2}(t)$  задовольняють нормативним вимогам, але практична реалізація таких характеристик досить проблематична. В першу чергу це зв’язано з необхідністю проектування

елементів узгодження з виконавчими пристроями та розробкою безпечного програмного забезпечення. У системі з мажоритарним способом резервування досягаються нормативні показники безпеки в області малих значень  $\lambda t$  ( $\lambda$  - інтенсивність відмов одного каналу резервування), однак в області великих значень  $\lambda t$  інтенсивність небезпечних відмов зростає. Тобто така система дає значний виграш тільки в перші роки експлуатації, причому тривалість такого періоду залежить від показників безпеки застосовуваних елементів. У зв'язку з цим синтез сучасних систем, у першу чергу, повинен бути орієнтований на підвищення власної функціональної безпеки як технічних, так і програмних засобів. Це обумовлено відомою залежністю, що визначає ймовірність безпечної роботи комп'ютерної системи за інтервал часу  $t$

$$P_a(t) = P_{AA}(t)P_{AI}(t), \quad (1)$$

де  $P_{BA}(t)$  - ймовірність безпечної роботи апаратних, а  $P_{BI}(t)$  - програмних засобів, при умові незалежності їх небезпечних відмов.

При аналізі виявлено, що для встановлення значень першого множника у виразі (1) існують сталі теоретичні та прикладні методи, але надійність та функціональна безпека програмних засобів не враховує особливостей побудови систем керування на залізничному транспорті. У зв'язку з цим у першому розділі роботи виконано класифікацію моделей надійності програмного забезпечення з метою оцінки можливості їх використання для побудови безпечних динамічних СССЦ та аналізу отриманих показників функціональної безпеки.

Аналіз наукових публікацій показав, що основні типи моделей класифікуються відповідно до припущення про зміну характеристик надійності програмного забезпечення в момент прояву й усунення помилок на дискретні та безперервні, з експонентним законом розподілу часу безвідмовної роботи. У розділі зроблено висновок, що розглянуті моделі засновані на окремих допущеннях, доказ можливості їх використання є досить складною проблемою. Крім того, існує значна кількість невирішених питань, зв'язаних зі структурною і мовною складністю програмного забезпечення, що входить до складу систем сигналізації й централізації.

На основі виконаної класифікації математичних моделей надійності та безпеки з урахуванням аналізу мікропроцесорних централізацій виявлено, що основним функціональним методом мінімізації ймовірності виникнення небезпечних відмов є необхідність забезпечення наскрізного динамічного режиму роботи, який у існуючих системах не охоплює всі підсистеми та пристрої.

У **другому розділі** виконано класифікацію типів рейкових кіл за законом зміни струму, формалізовані та доповнені часовими характеристиками критерії небезпечних відмов пристроїв контролю та керування: колійних приймачів, стрілок та світлофорів. Встановлено, що критерієм

небезпечної відмови є формування інформації про вільність РК при його фактичній зайнятості, якщо час формування таких даних у колійному приймачі перевищує: 1,75 секунди у РК постійного струму; 0,7 секунди - змінного струму; 0,1 секунди у ТРК, РК з частотною та фазовою модуляцією сигнального струму. Критерієм небезпечної відмови пристроїв контролю стану гостряків стрілки є формування інформації про наявність контролю при фактичному знаходженні гостряків у протилежному або проміжному положенні тривалістю, більшою 0,7 секунди. Критерієм небезпечної відмови пристрою керування світлофором є формування команди, достатньої для вмикання дозволяючого показання замість забороняючого тривалістю, більшою ніж 0,45 секунди для ламп накаливання, та 0,35 секунди для світлодіодних випромінювачів. При цьому загальний критерій, за яким повинен виконуватися синтез методів та функціональних моделей системи керування, формалізовано наступним чином

$$Q_n(t) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $Q_n(t)$  - ймовірність виникнення небезпечних відмов.

На основі проведених досліджень оцінки ймовірності виникнення небезпечних відмов при динамічному режимі функціонування СССЦ виявлено, що в умовах інформаційних обмежень та при відсутності резервування ймовірність виникнення небезпечної відмови обмежена зверху значенням ймовірності відмов типу пробій апаратних засобів. Це дозволило встановити, що при синтезі наскрізної динамічної мікропроцесорної системи необхідно розраховувати час виконання програмних блоків для мінімізації ймовірності виникнення небезпечних відмов (2).

У розділі встановлено закономірності формування відповідальних команд для побудови автоматизованих систем керування рухом поїздів за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов. Визначено, що загальним методологічним підходом є застосування наскрізного динамічного режиму СССЦ на основі функціональних аналітичних залежностей між вхідними та вихідними сигналами, представленими як безперервні функції часу (рис. 1). При цьому відповідність критерію (2) забезпечується формуванням кожного відповідального вихідного сигналу  $f'_n$  методом аналітичних перетворень  $F_n$  над множиною вхідних сигналів

$$f'_n(t_1, t_2, \dots, t_n) = F_n(f_1, f_2, \dots, f_n), \quad (3)$$

де кожному значенню  $f'_n$  в дискретні моменти часу  $t_1, t_2, t_3 \dots$  повинен відповідати однозначно

визначений набір значень  $f_n$ , що надійшли на входи системи або пристрою в ті ж моменти часу (рис. 2).

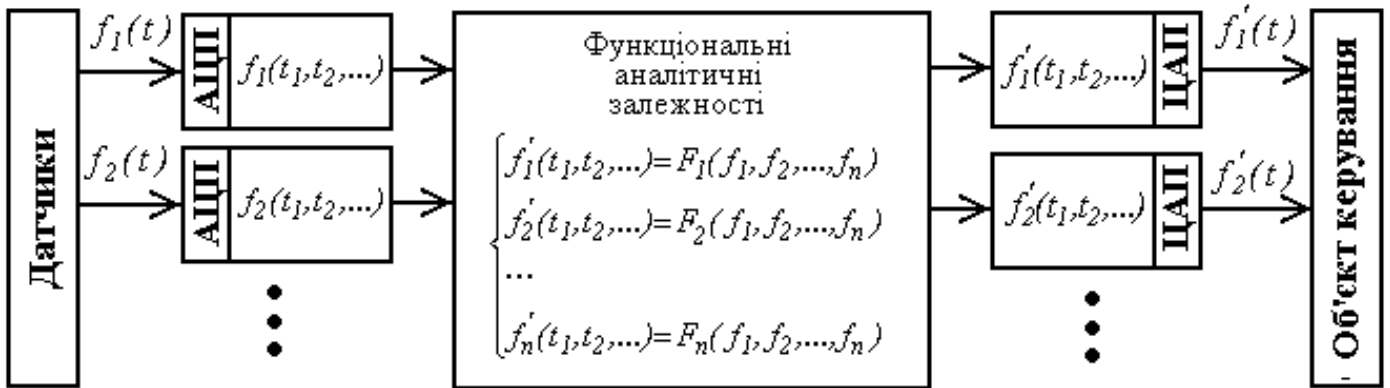


Рис. 1 Функціональна структура системи керування при реалізації аналітичних залежностей

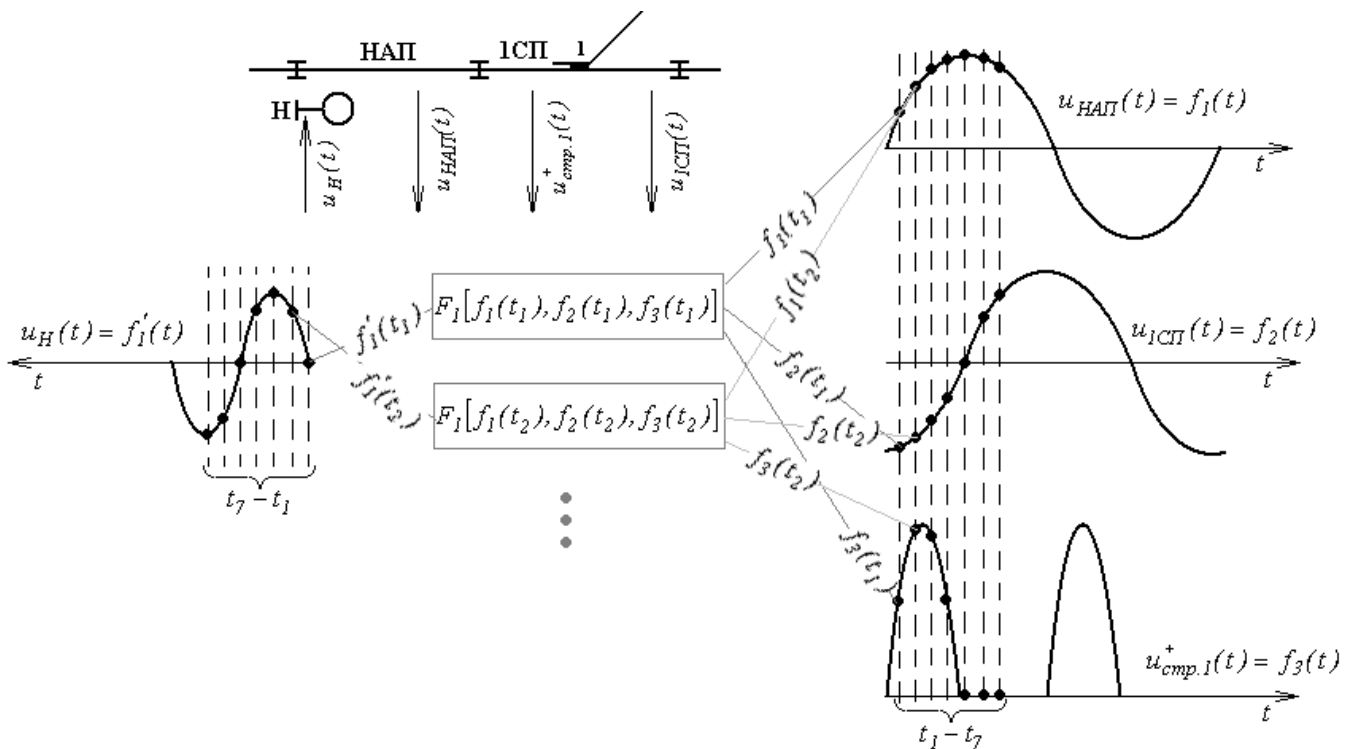


Рис. 2 Формування сигналу керування при виконанні відповідальної команди

Однозначність і одиничність кожного функціоналу  $F_n$  у виразі (3) повинні бути доведені при синтезі відповідної моделі.

Третій розділ присвячено синтезу моделей функціонування відповідальних пристроїв та вузлів наскрізної динамічної системи сигналізації й централізації.

У розробленій адитивній моделі передбачається наступна реалізація функціоналу  $F_n$  (3):

1) представлення адитивного сигналу  $\eta(t)$  як суми сигналів усіх первинних датчиків, представлених як безперервні функції часу

$$\eta(t) = u_{pk.1}(t) + u_{pk.2}(t) + \dots + u_{pk.n}(t) + u_{cmp.1}(t), u_{cmp.2}(t), \dots, u_{cmp.m}(t). \quad (4)$$

2) розрахунок коефіцієнтів  $c_n$  комплексного перетворення Фур'є

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \eta(t) e^{-in\Omega t} dt \quad (5)$$

3) розрахунок коефіцієнту кореляції Пірсона з еталонними спектром та порівняння його з апріорно встановленим значенням порогу спрацювання (функціонал  $F_i$ ) для формування  $i$ -го сигналу керування  $u_i$

$$u_i(t) = F_i[\eta(t)] = F_i \left[ \sum_{j=1}^{N_{\text{данч.}}} u_j(t) \right] \quad (6)$$

Розроблена мультиплікативна модель відрізняється від розглянутої виразом (4), який формалізовано наступним чином

$$\bar{\eta} = \eta(t_1, t_2, \dots, t_k) = \prod_{j=1}^{N_{\partial}} f_j(t_k) \quad (7)$$

де  $\bar{\eta}$  - множина значень  $\eta$  у моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_k$ , та методом розрахунку коефіцієнтів кореляції Пірсона.

Адитивна та мультиплікативна моделі реалізовані програмними засобами. Закінчене програмне забезпечення представлено у додатках до дисертації. В результаті досліджень реалізації функціональних моделей отримано наступні числові значення, які характеризують якість керування: при шунтуванні рейкового кола зміна значення кореляційної функції становить більш 95%. Чутливість до контролю положення гостряків стрілок у відсотковому відношенні до еталонного складає 10-21%.

В розділі розроблено метод та синтезовано модель безпечного функціонального елемента (БФЕ). Основою забезпечення мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов (2) є наскрізний динамічний режим роботи та застосування аналітичних залежностей між вхідними та вихідними частотно-модульованими сигналами, представленими як безперервні функції часу. Модель БФЕ представлено у вигляді структури (рис. 3) та математичних залежностей (7) – (13).

Вхідний сигнал безпечного елемента являє собою частотно-модульоване коливання

$$\xi(t) = U_m \sin(\omega_0 t + \theta_{max} \sin(\Omega t)) , \quad (7)$$

де  $U_m$  - амплітуда і  $\omega_0$  - частота несучої,  $\theta_{max}$  - індекс і  $\Omega$  - частота модуляції.

Смуговий фільтр ПФ1 здійснює частотну селекцію сигналу. Відфільтрований сигнал  $\xi^\Phi(t)$  надходить до частотного детектору ЧД, що реалізує функцію перетворення

$$\xi^D(t) = \Theta[\xi^\Phi(t)] . \quad (8)$$

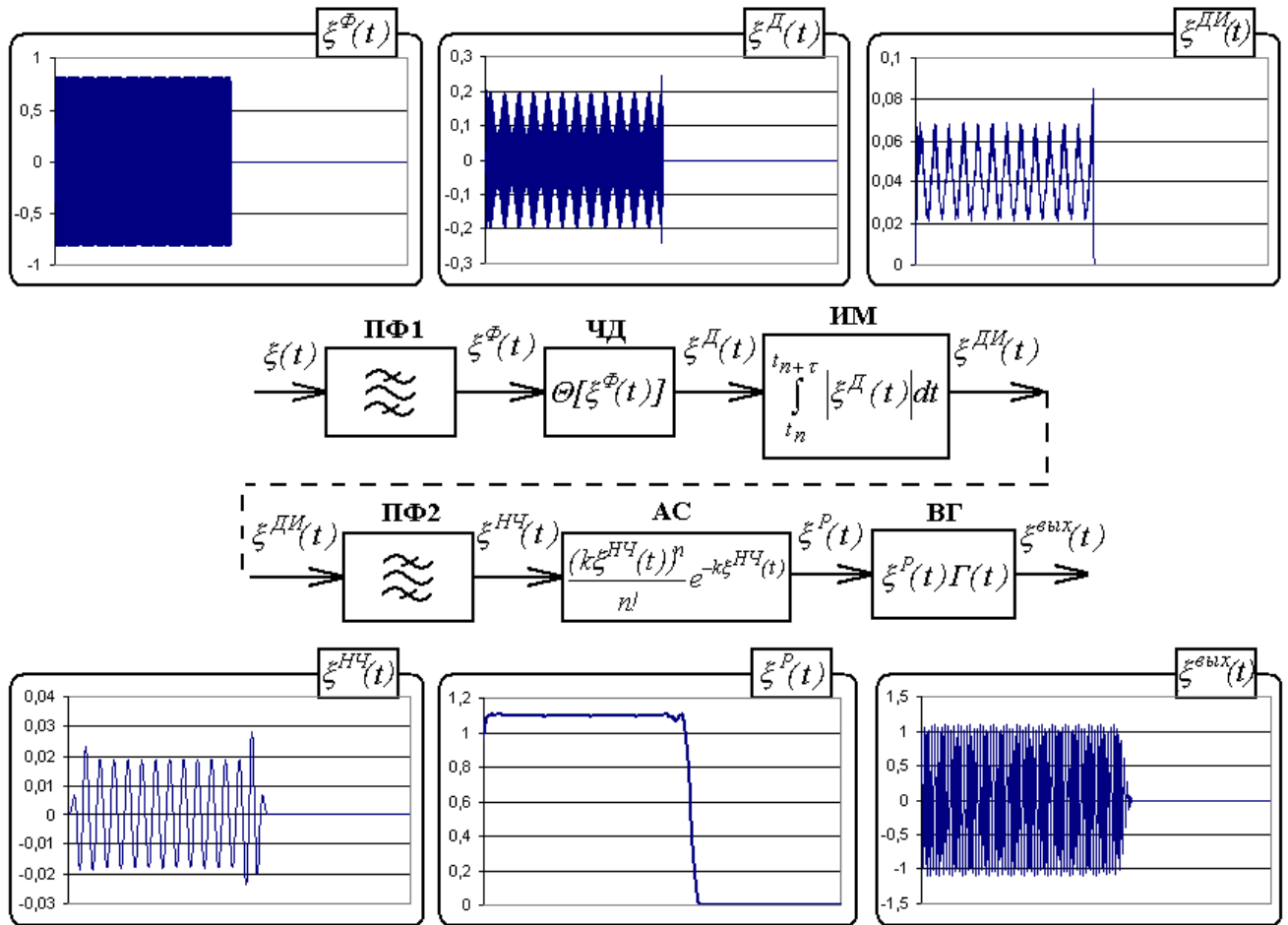


Рис. 3 Функціональна структура та сигнали безпечного функціонального елементу

Детектування та інтеграція сигналу виконується в блоці (ИМ) відповідно виразу

$$\xi^{DII}(t) = \int_{t_n}^{t_{n+\tau}} |\xi^D(t)| dt \quad (9)$$

Діапазон інтегрування  $[t_n, t_{n+\tau}]$  визначається виходячи з необхідного зменшення рівня імпульсних завад. Після смугового фільтра низької частоти сигнал надходить до амплітудного

селектору АС. Після проведених досліджень найкращі результати отримані при використанні в моделі АС закону розподілу Пуассона  $n$ -го порядку (при  $n > 0$ ), з коефіцієнтом амплітуди  $k$

$$\xi^P(t) = \frac{(k\xi^{HQ}(t))^n}{n!} e^{-k\xi^{HQ}(t)} \quad (10)$$

Розрахунок значення коефіцієнту  $k$  виконується за формулою

$$k = \max\left(\int_0^T \xi^{HQ}(t) dt\right) \quad (11)$$

де  $T$  - кілька періодів коливання  $\xi^{HQ}(t)$ .

Вихідний сигнал БФЕ формується відповідно виразу

$$\xi^{out}(t) = \xi^P(t) \Gamma(t) \quad (12)$$

де останній множник – генератор коливань (ВГ), а вихід АС визначає амплітуду його сигналу.

З урахуванням викладеного, загальна модель функціонування БФЕ є однозначною формалізацією функціоналу  $F_n$  (3) у вигляді аналітичного виразу, який ставить у відповідність вихідному безперервному сигналу  $f_{out}(t)$  вхідний  $f_{in}(t)$

$$f_{out}(t) = k \Phi_2 \left( \int_{t_n}^{t_n+\tau} \Theta(\Phi_1(f_{in}(t))) dt \right) e^{-k \Phi_2 \left( \int_{t_n}^{t_n+\tau} \Theta(\Phi_1(f_{in}(t))) dt \right)} \sin(\omega_0 t + \theta_{max} \sin(\Omega t)) \quad (13)$$

де  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  - функції цифрової фільтрації несучої частоти та частоти модуляції;  $\Theta$  - функція частотного детектування сигналу;  $k$  - коефіцієнт амплітуди АС;  $\omega_0$  - частота несучої;  $\theta_{max}$  - індекс модуляції;  $\Omega$  - частота модуляції.

Дослідження програмної реалізації моделі (7) – (13) підтвердили адекватність функціональним вимогам. При цьому отримані наступні числові значення основних характеристик: смуга пропускання першого фільтру БФЕ, за рівнем 0,7 становить 25 – 38 Гц, затухання поза смугою складає більш ніж 60 дБ; у другому фільтрі смуга пропускання – 5 Гц, затухання поза смугою – 42-56 дБ. Амплітудна вибірковість БФЕ забезпечується використанням функції, що співпадає з законом розподілення Пуасона. При її першому порядку затухання елементу дорівнює нулю тільки при номінальному значенні амплітуди вхідного сигналу, при його

зменшенні на 20 дБ, вихідний сигнал зменшується на 56 дБ, а при збільшенні на 20 дБ загасання складає близько 80 дБ.

В роботі виконано синтез моделі приймача прямого перетворення тональних рейкових кіл (ПП ТРК), у вихідному каскаді якого використовується безпечний функціональний елемент. При вільному стані рейкового кола на виході БФЕ формується частотно-модульоване коливання, яке подається до системи керування. Дослідження програмної реалізації моделі ПП ТРК підтвердили її адекватність функціональним вимогам: загасання поза смугою пропускання ЗФ1 більше 40 дБ, ЗФ2 – більш 60 дБ, теоретичне максимальне значення чутливості складає 4 мкВ, реальне, при співвідношенні сигнал/завада 10 дБ – 125 мкВ.

В роботі розроблено метод та виконано синтез моделі кореляційного прийому та дешифрування кодів АЛС за спектральною ознакою. На відміну від існуючих методів аналізу часових ознак вхідного сигналу, розробка дозволила підвищити функціональну безпеку за рахунок збільшення стійкості до впливу завад у частині впевненого дешифрування коду КЖ при зменшенні тривалості першого імпульсу, номінальне значення якого в існуючих пристроях складає 0,23 секунди і не повинне виходити за межі 0,18-0,24 с, у розробленій моделі такий діапазон складає 0,16-0,34 секунди.

В розробленому методі побудови пристрою контролю положення гостряків стрілок застосовується комплексне перетворення Фур'є вхідного сигналу та подальший динамічний аналіз результатів за сьома частотними признаками

$$F^+(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u_{AB}^+(t) e^{-j\omega t} dt \quad \text{та} \quad F^-(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u_{AB}^-(t) e^{-j\omega t} dt \quad (14)$$

Результат такого перетворення – сукупності комплексних чисел, що є амплітудними частотними спектрами:  $a_f^+$ ,  $a_f^-$  (дійсна частина) і  $b_f^+$ ,  $b_f^-$  (мніма частина). Знакова селекція сигналу  $u_{AB}(t)$  виконується відповідно до виразів

$$res^+ = \prod_{i=1}^7 z_i^+ F_i \quad \text{та} \quad res^- = \prod_{i=1}^7 z_i^- F_i \quad (15)$$

Якщо  $res^+ \leq 0$ , то контроль плюсового положення відсутній, відповідно, якщо  $res^- \leq 0$ , то відсутній контроль мінусового положення стрілки. Амплітудна селекція сигналу

$$out^+ = \prod_{i=1}^7 k_i^+ F_i e^{-k_i^+ F_i} \quad \text{та} \quad out^- = \prod_{i=1}^7 k_i^- F_i e^{-k_i^- F_i} \quad (16)$$



де  $k^+$  і  $k^-$  - вектори коефіцієнтів нормування.

Адекватність моделі контролю положення гостряків стрілки підтверджена результатами досліджень її програмної реалізації (рис. 4). При цьому отримані наступні основні характеристики: смуга пропускання за рівнем 0,7 складає 0,5 Гц; діапазон амплітуд вхідних сигналів - 0,7...1,3 В, при відсутності сплесків та провалів у перехідній характеристиці.

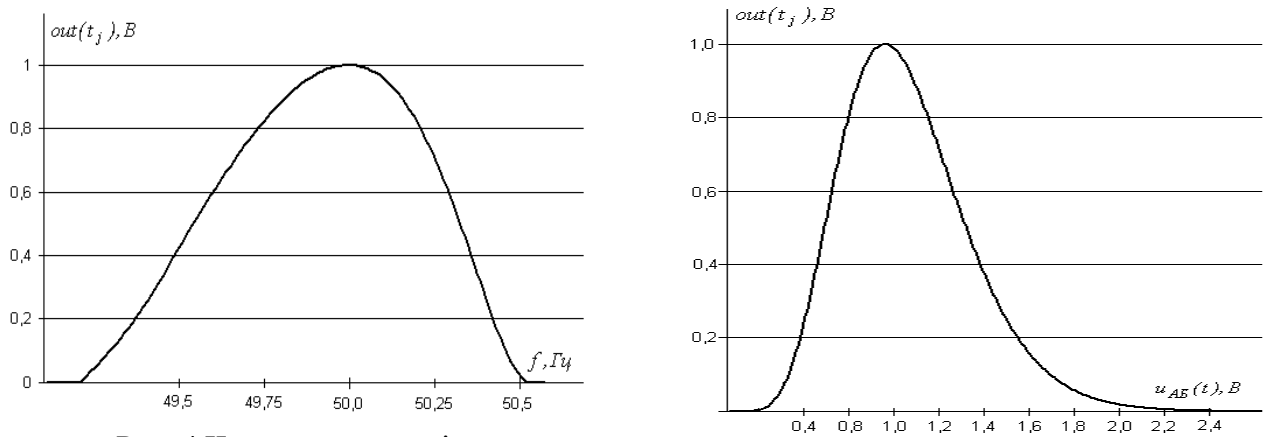
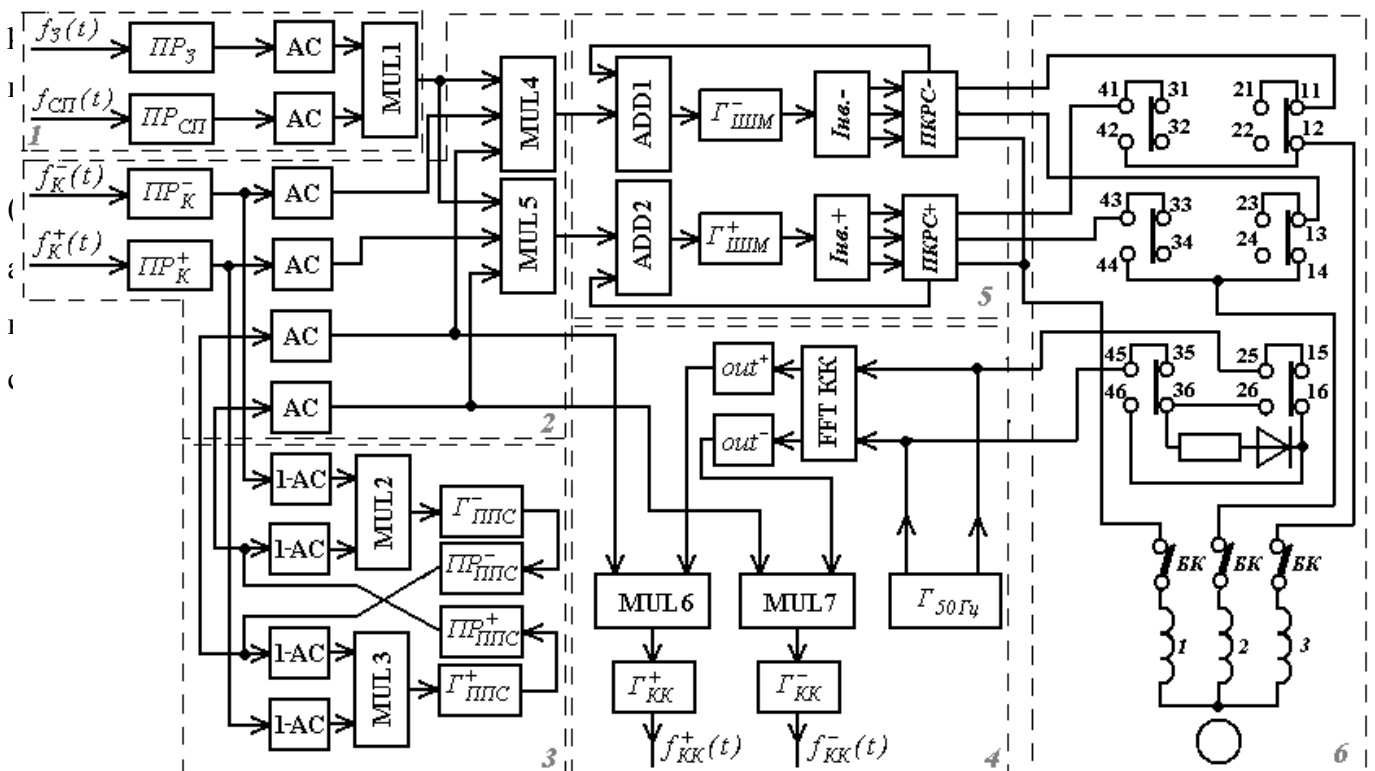


Рис. 4 Частотна та амплітудна характеристики програмної реалізації моделі контролю положення гостряків стрілки

Загальну структуру функціональної моделі пристрою керування стрілкою, з урахуванням моделі контрольного кола, наведено на рис. 5. Основні особливості моделі наступні: використання широтно-імпульсної модуляції робочого струму стрілочного двигуна та моделі його утворення на основі використання БФЕ зі схемами додавання ADD1, ADD2 (Блок 5 на рис. 5); безпечна модель контролю наявності сигналів вільності секції та її незамкненості в маршруті з елементом мультиплікації MUL1 (Блок 1); модель аналізу наявності сигналу керування та безпечних залежностей (Блок 2); безпечний генераторний елемент пам'яті (Блок 3); модель контролю положення гостряків стрілки (Блок 4); стрілочний привод (Блок 6). У дисертації наведені



**Рис. 5 Структура функціональної моделі пристрою керування централізованою стрілкою**

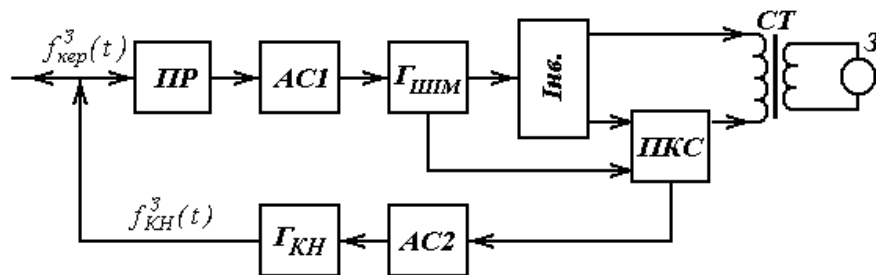


Рис. 6 Функціональна структура моделі пристрою керування показаннями світлофору

Формування ШІМ сигналу виконується як результат порівняння значень двох функцій

$$u_{sin}(t_j) = A \sin(\omega_{sin} t_j) \quad \text{та} \quad u_{П}(t) = 4 A k_{П} \operatorname{div}(t_j, T_{П}) - 2, \quad (17)$$

де  $A$  - амплітуда сигналів;  $k_{П}$  - коефіцієнт, що залежить від періоду  $T_{П}$ ;  $\operatorname{div}$  - оператор розрахунку залишку цілочисельного ділення. Амплітуда ШІМ сигналу  $u_{ШІМ}^3(t_j)$  у дискретний момент часу  $t_j$  розраховується у відповідності до виразу

$$u_{ШІМ}^3(t_j) = \begin{cases} \xi_{АС1}(t_j), & \text{якщо } u_{sin}(t_j) \geq u_{П}(t_j) \\ -\xi_{АС1}(t_j), & \text{якщо } u_{sin}(t_j) < u_{П}(t_j) \end{cases}, \quad (18)$$

де  $\xi_{АС1}(t_j)$  - значення виходу амплітудного селектору АС1.

З урахуванням частотних характеристик лінійних кіл у роботі вирішено задачу оптимізації характеристик ШІМ-послідовності (рис. 7) за критерієм максимуму спектральної щільності сигналу на світлофорній лампі

$$S(f_{\Pi}^3, t) = \frac{1}{T} \int_0^T [f_{\Pi}^3(t)]^2 dt \rightarrow \max. \quad (19)$$

Обмеження наступні:

- $f_{\Pi} / f_{sin} \geq 2$ , тобто частота сигналу з ШІМ модуляцією повинна щонайменше у два рази перевищувати частоту синусоїдального сигналу;
- смуга пропускання світлофорного трансформатора повинна відповідати експериментально встановленій;
- $f_{sin} > 0$  та  $f_{\Pi} > 0$ .

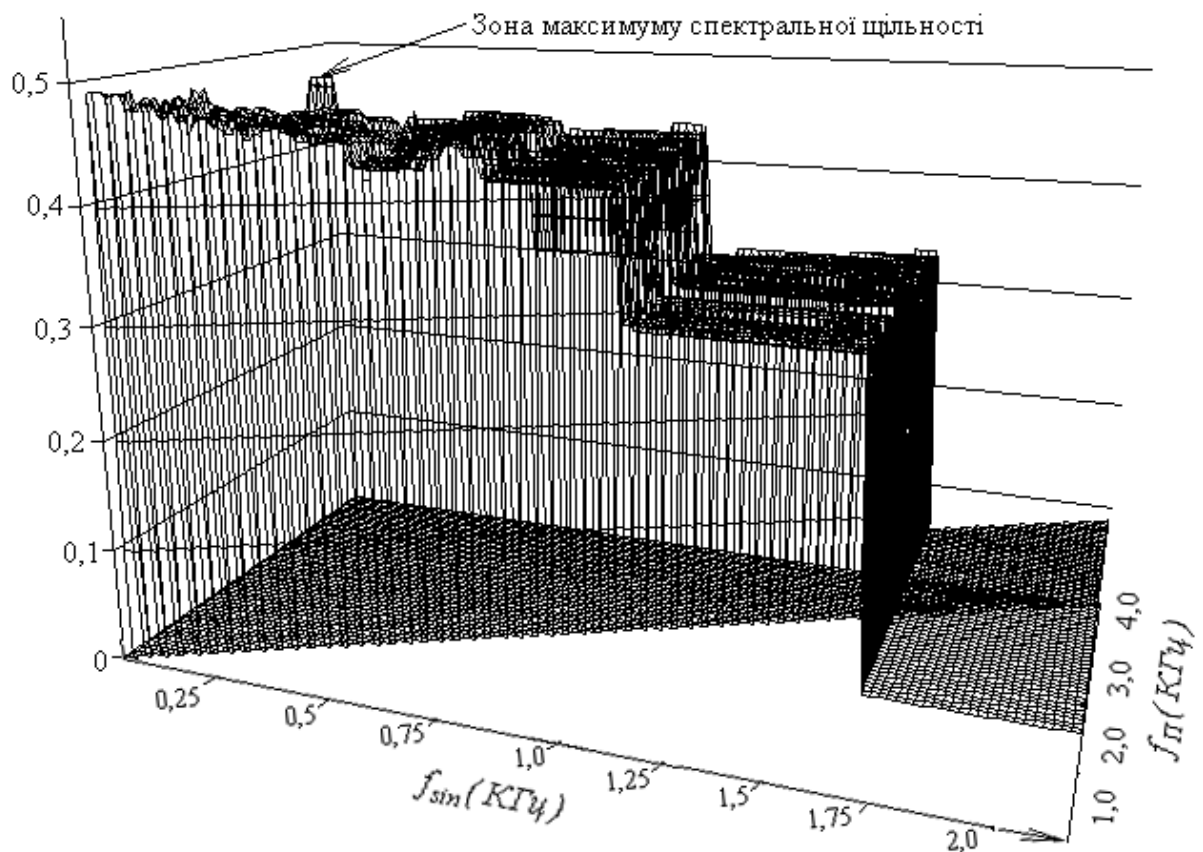


Рис. 7 Діаграма розподілу спектральної щільності сигналу на світлофорній лампі

Результати розрахунку чисельними методами з використанням ЕОМ наступні: в зоні максимуму спектральна щільність приймає значення  $S(f_{\Pi}^3, t) = 0,506859$ , при цьому керовані змінні:  $f_{sin} = 250(\Gamma\text{ц})$ ,  $f_{\Pi} = \{968,75; 1000; 1031,25; 1062,5\}(\Gamma\text{ц})$ .

У **четвертому розділі** виконано синтез структури технічних засобів станційної системи сигналізації й централізації (рис. 8). На відміну від існуючих, у системі не передбачається резервування, забезпечення вимог безпеки виконується за рахунок: наскрізного динамічного режиму роботи усіх складових, організації міжмодульної взаємодії на основі частотно-модульованих сигналів, використання БФЕ для реалізації безпечних залежностей.

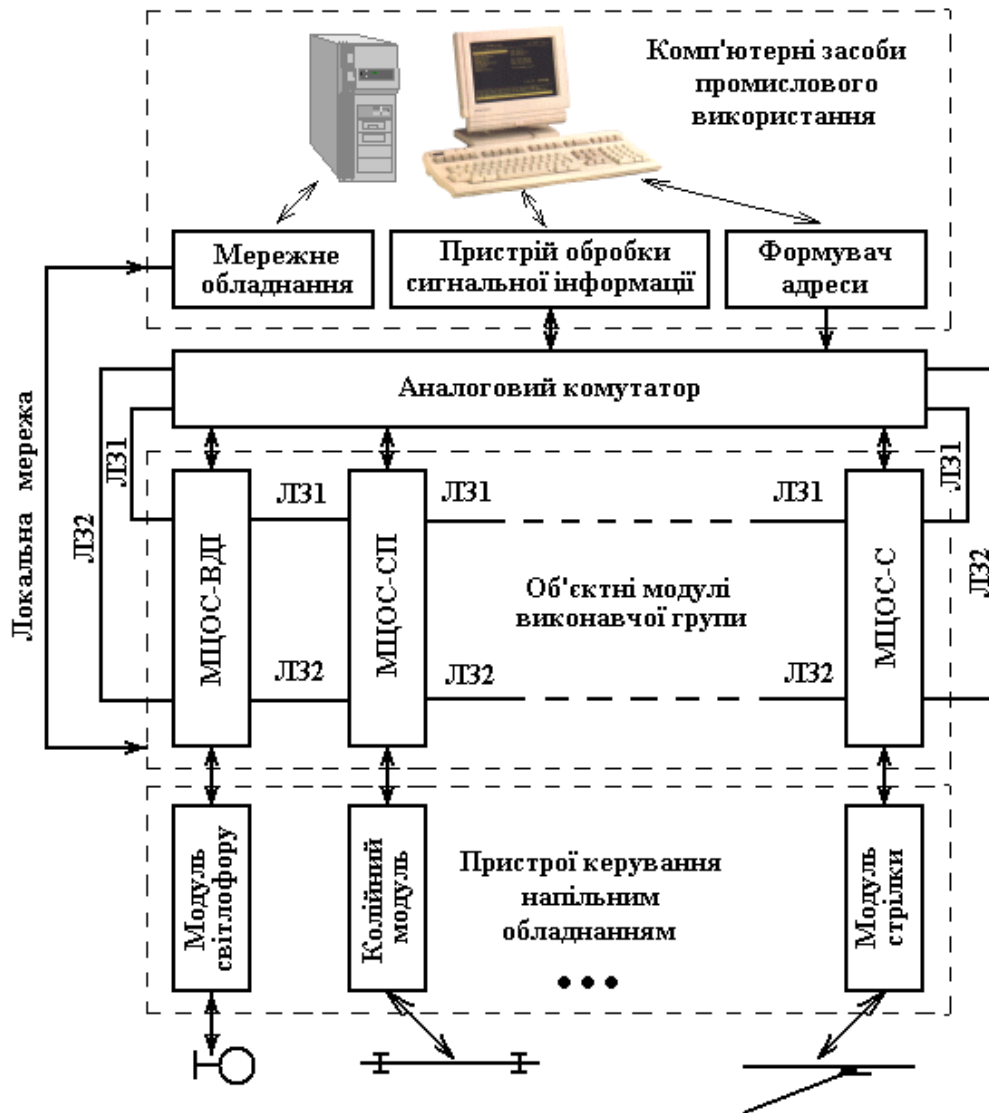


Рис. 8 Структура технічних засобів станційної системи сигналізації й централізації

Програмні засоби реалізації набірної групи забезпечують встановлення маршруту, тобто фіксують напрямок та категорію маршруту (парний, непарний та поїзний, маневровий); визначають, у яке положення повинні перевестися стрілки, подають команду на їх переведення, контролюють відповідність положення, формують частотно модульований сигнал та адресу модуля призначення в аналоговому комутаторі.

Набірна група складається з наступних програмних об'єктів: управління світлофорами (НП-ПМ, НП-МІ, НП-МІД, НП-МІП, НП-МІАП); управління стрілками (НП-СОх2, НП-СС); напрямків (НП-Н); управління послідовним переводом стрілок при магістральному живленні (НП-ПС).

Відповідальні залежності у розробленій динамічній станційній системі сигналізації й централізації реалізовані в об'єктних модулях (МЦОС) наступних типів: управління вхідним світлофором МЦОС-ВхД; управління вихідними світлофорами МЦОС-ВДІ, МЦОС-ВДІІ, МЦОС-ВДІІІ; управління маневровими світлофорами МЦОС-МІ, МЦОС-МІІ, МЦОС-МІІІ; контролю колій, колійних і стрілкових дільниць МЦОС-П, МЦОС-УП, МЦОС-СП; контролю положення стрілки МЦОС-С.

Розглянута структура та використання модулів, назва яких відповідає об'єкту автоматизації, дозволяє використовувати сталі методи проектування системи централізації для станцій з різним колійним розвитком. Обмежений об'єм автореферату не дозволяє викласти модульний метод синтезу, представлений у дисертації.

У розділі розроблено методи синтезу та функціональні моделі всіх відповідальних вузлів. Так, у функціональній моделі модуля стрілки (рис. 9), виходи генераторів 1Г1 – 1Г6 та 2Г1 – 2Г6 об'єднані за схемою додавання

$$f_1^{out}(t) = \sum_{j=1}^6 f_{1Гj}(t) \quad \text{та} \quad f_2^{out}(t) = \sum_{j=1}^6 f_{2Гj}(t) \quad (20)$$

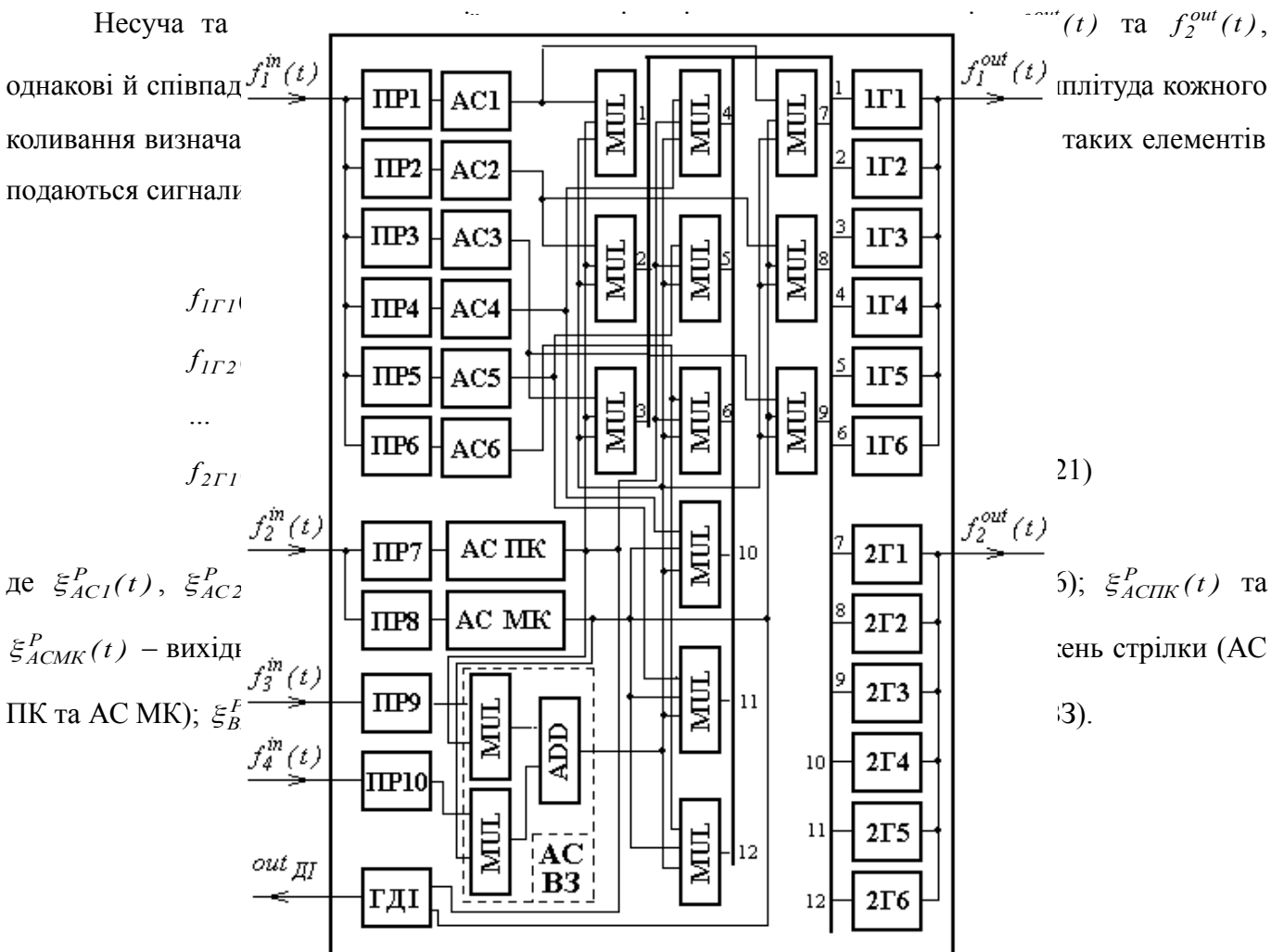


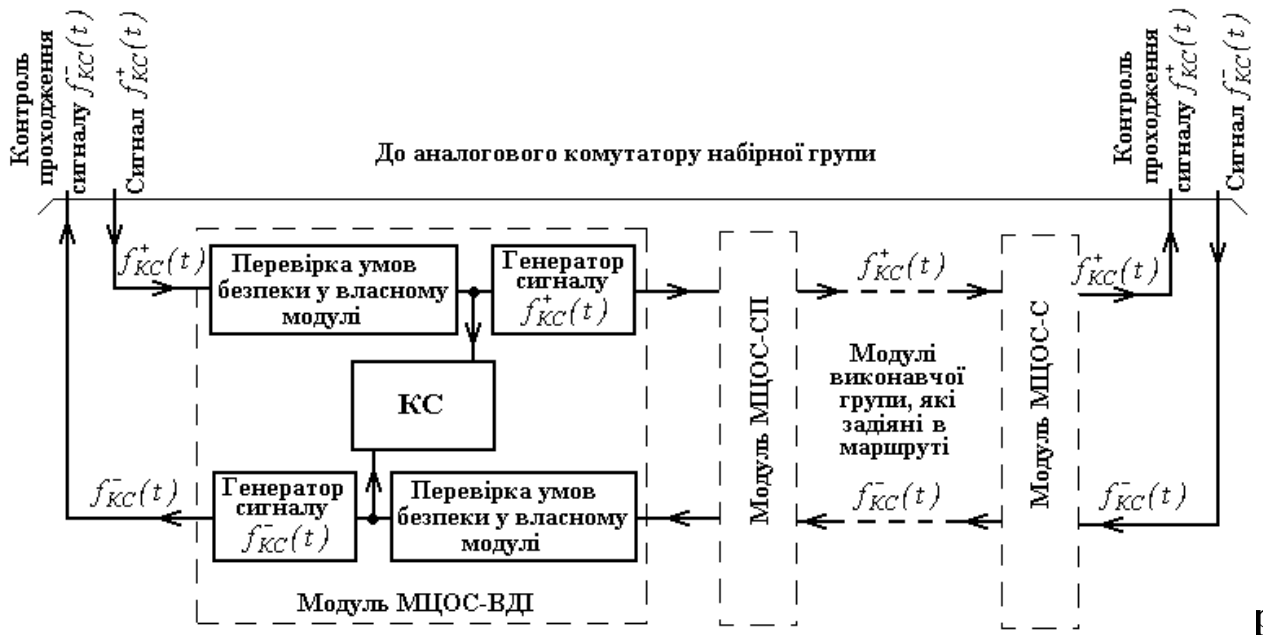
Рис. 9 Структура функціональної моделі модуля стрілки

Таким чином, сигнал на виході  $f_1^{out}(t)$  або  $f_2^{out}(t)$  з'явиться тільки у випадку виконання наступних умов забезпечення безпеки: стрілка, мікропроцесорне контрольне коло якої підключене до входу  $f_2^{in}(t)$ , знаходиться у відповідному положенні; перевіряється стан негабаритних діляниць, положення охоронних стрілок, є наявність контролю власної стрілки (входи  $f_3^{in}(t)$ ,  $f_4^{in}(t)$ ); на колах 1 – 6 відповідальної групи є сигнали  $f_1(t)$  -  $f_6(t)$ . Адекватність моделі критерію (2) забезпечується динамічним режимом роботи і, відповідно, стійкістю до впливу статичних завад. При цьому встановлено, що затухання поза смугою пропускання за кожним вхідним сигналом складає близько 100 дБ.

У розроблених моделях контролю стану секцій передбачається організація міжмодульної взаємодії за рахунок формування частотно-модульованих сигналів як спочатку, так і з кінця маршруту, що встановлюється (рис. 10).

Перевірка умов безпеки при встановленні маршруту забезпечується функціонуванням відповідних моделей у наступних модулях цифрової обробки інформації: вхідного світлофора (МЦОС-ВхД); вихідних світлофорів (МЦОС-ВДІ, МЦОС-ВДІІ, МЦОС-ВДІІІ), маневрових

світлофорів (МЦОС-МІ, МЦОС-МІІ, МЦОС-МІІІ), контролю колій, колійних і стрілкових дільниць (МЦОС-П, МЦОС-УП, МЦОС-СП), контролю положення стрілки (МЦОС-С).



рупи

При встановленні маршруту, після переведу стрілок у необхідне положення та перевірки відповідності їх положення, у програмно-апаратних засобах набірної групи починається генерація частотно-модульованого сигналу

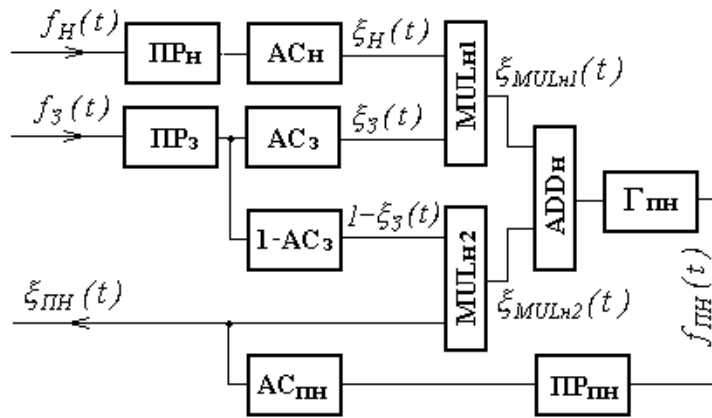
$$f_H(t) = A_H \sin(\omega_H t + \theta_{max} \sin(\Omega_H t)), \quad (22)$$

з апіорно визначеними параметрами:  $\omega_H$  - частоти несучої;  $\theta_{max}$  - індекс модуляції;  $\Omega_H$  - частота модуляції;  $A_H$  - амплітуда. Крім цього, набірна група встановлює адресу світлофорного модуля, від якого встановлюється маршрут. Надходження сигналу  $f_H(t)$  до МЦОС призводить до виконання програмно-апаратними засобами функціональності, яку представлено у вигляді моделі, що складається зі структури (рис. 11) та відповідних аналітичних залежностей.

Формування вихідного сигналу амплітудного селектору  $АС_H$  виконується відповідно до виразу

$$\xi_H(t) = k_H \Phi_2 \left( \int_{t_n}^{t_{n+\tau}} \Theta(\Phi_1(f_H(t))) dt \right) e^{-k_H \Phi_2 \left( \int_{t_n}^{t_{n+\tau}} |\Theta(\Phi_1(f_H(t)))| dt \right)}, \quad (23)$$

де  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  - функції цифрової фільтрації несучої частоти та частоти модуляції;  $\Theta$  - функція частотного детектування сигналу;  $k_H$  - коефіцієнт амплітудного селектору  $АС_H$ ;  $t_{n+\tau} - t_n$  - час інтегрування амплітудного селектору.



**Рис. 11 Функціональна структура моделі фіксації надходження сигналу на встановлення поїзного маршруту з перевіркою незамкненого стану першої ділянки за світлофором**

Вираз, у відповідності до якого функціонує приймач сигналу  $f_3(t)$  та амплітудний селектор  $АС_3$ , аналогічний (23), з урахуванням власних значень керованих змінних, функцій цифрової фільтрації та частотного детектування.

Елементи мультиплікації функціонують у відповідності до наступних виразів

$$\xi_{MULH1}(t) = \xi_H(t) \cdot \xi_3(t), \quad (24)$$

$$\xi_{MULH2}(t) = \xi_{PIH}(t) \cdot |1 - \xi_3(t)|. \quad (25)$$

У свою чергу, сигнал  $\xi_{ADDH}(t)$  з'являється у випадку наявності на входах елементу додавання АДД\_H хоча б одного з вихідних сигналів елементів мультиплікації

$$\xi_{ADDH}(t) = ks \frac{\xi_{MULH1}(t) + \xi_{MULH2}(t)}{2}, \quad (26)$$

де  $ks$  - коефіцієнт, який враховує відмінність від нуля значень сигналів чисельника у виразі (26), множина його значень –  $\{1; 1,5\}$ , при наявності двох або одного сигналів відповідно.

Функціонування генератора відповідає наступному рівнянню

$$f_H(t) = \xi_{ADDH}(t) \cdot \sin(\omega_{PIH}t + \theta_{max} \sin(\Omega_{PIH}t)), \quad (27)$$

де перший множник визначає амплітуду частотно-модульованого сигналу з частотою несучої  $\omega_{PIH}$  та частотою модуляції  $\Omega_{PIH}$ . Ілюстрацію програмної реалізації функціонування моделі (23) – (27)



представлено у вигляді осцилограм напруг на входах та виходах відповідних елементів (рис. 12).

У проміжок часу від  $t_0$  до  $t_1$  на вході присутній сигнал  $f_3(t)$ , який надходить з модуля суміжної секції при її незамкненості у маршруті. При цьому виходи відповідних амплітудних селекторів мають наступні значення:  $\xi_H(t) = 0$  та  $\xi_3(t) \approx 1$ . Через те що перший множник у виразі (24) дорівнює нулю, то й вихід елементу мультиплікації  $MUL_{H1}$  також нульовий, тобто модель знаходиться в початковому стані, встановлення маршрутів відсутнє.

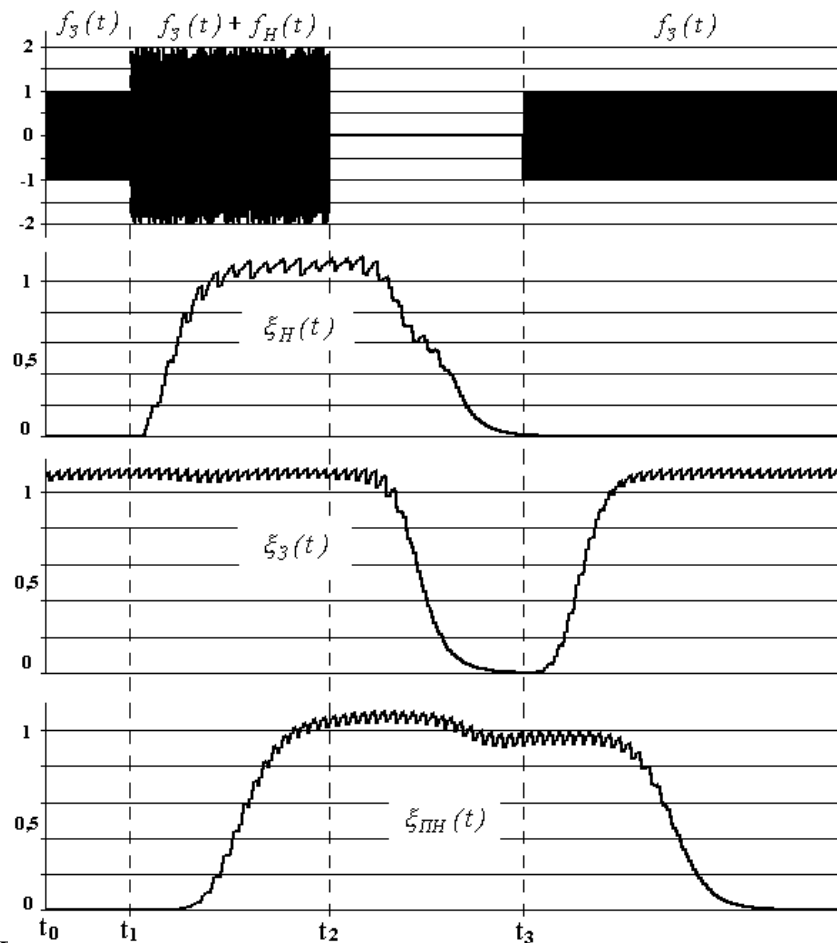


Рис. 12 Осцилограми напруг на виходах структурних елементів

У момент часу  $t_1$  з набірної групи починає надходити сигнал встановлення поїзного маршруту від цього світлофору, й у проміжку від  $t_1$  до  $t_2$  на вході присутній сумарний сигнал  $f_H(t) + f_3(t)$ . Це приводить до зміни значення  $\xi_H(t) \approx 1$  із затримкою, яка встановлюється часом інтегрування амплітудного селектора  $AC_H$ , відповідно до виразу (23). Вихід елементу  $MUL_{H1}$ , що впливає з виразу (24), також прийме значення  $\xi_{MUL_H}(t) \approx 1$ , як і вихідний сигнал елементу додавання  $\xi_{ADD_H}(t) \approx 1$ , у відповідності до (26). Генератор  $\Gamma_{PH}$  починає роботу, формуючи сигнал  $f_{PH}(t)$  (27), який подається на приймач  $PP_{PH}$  та амплітудний селектор  $AC_{PH}$ , при цьому  $\xi_H(t) \approx 1$ . Таким чином, вихідний сигнал моделі стає приблизно рівним одиниці, фіксуючи факт появи

сигналу на встановлення маршруту. Якщо  $t = t_2$  секції замикаються в маршруті, зникає сигнал  $f_3(t)$ , як і  $f_H(t)$ . Це приводить до змін на нуль значень  $\xi_{MUL_{H1}}(t)$ , але, у відповідності до (26), з'являється сигнал на виході елементу мультиплікації  $MUL_{H2}$  за рахунок зворотного амплітудного селектора 1- $AC_3$ . Цей сигнал та вихід  $AC_{ПН}$  підтримують одиничне значення вихідного сигналу до моменту часу  $t_3$ , коли суміжна секція розмикається в результаті прослідування рухомої одиниці за маршрутом.

При встановленні маршруту в набірній групі формуються сигнали  $f_{KC}^+(t)$ ,  $f_{KC}^-(t)$  та адреси модулів початку та кінця маршруту відповідно (див. рис. 10). За результатами перевірки умов безпеки в модулі починають роботу відповідні генератори, що формують сигнали до наступних за планом розміщення модулів МЦОС. З останніх модулів сигнали подаються в набірну групу, де відбувається контроль їх проходження. Таким чином функціональні блоки КС, які містяться у відповідних модулях, переходять у активний стан тільки у випадку перевірки всіх умов безпеки, як з однієї частини з'єднання, так і з іншої.

Функціональна модель контролю стану секцій у модулі вихідного світлофору МЦОС-ВДІ складається з наступних структурних елементів (рис. 13): приймачів  $PP_{KC}^+$ ,  $PP_{KC}^-$  частотно-модульованих сигналів  $f_{KC}^+(t)$ ,  $f_{KC}^-(t)$  відповідно; амплітудних селекторів  $AC_{KC}^+$ ,  $AC_{KC}^-$ ; зворотного амплітудного селектора сигналу відміни маршруту 1- $AC_{OT}$ ; амплітудних селекторів  $AC_{OH}$ , які формують сигнали  $\xi_{OH}(t)$  у відповідності до виразу (27); елементів додавання ADD та мультиплікації MUL; генераторів вихідних сигналів  $\Gamma_{KC}^+$ ,  $\Gamma_{KC}^-$ .

Вихідний сигнал моделі з'явиться тільки у випадку ненульових сигналів з виходів структурних елементів  $AC_{KC}^+$ ,  $AC_{KC}^-$  у відповідності до виразу

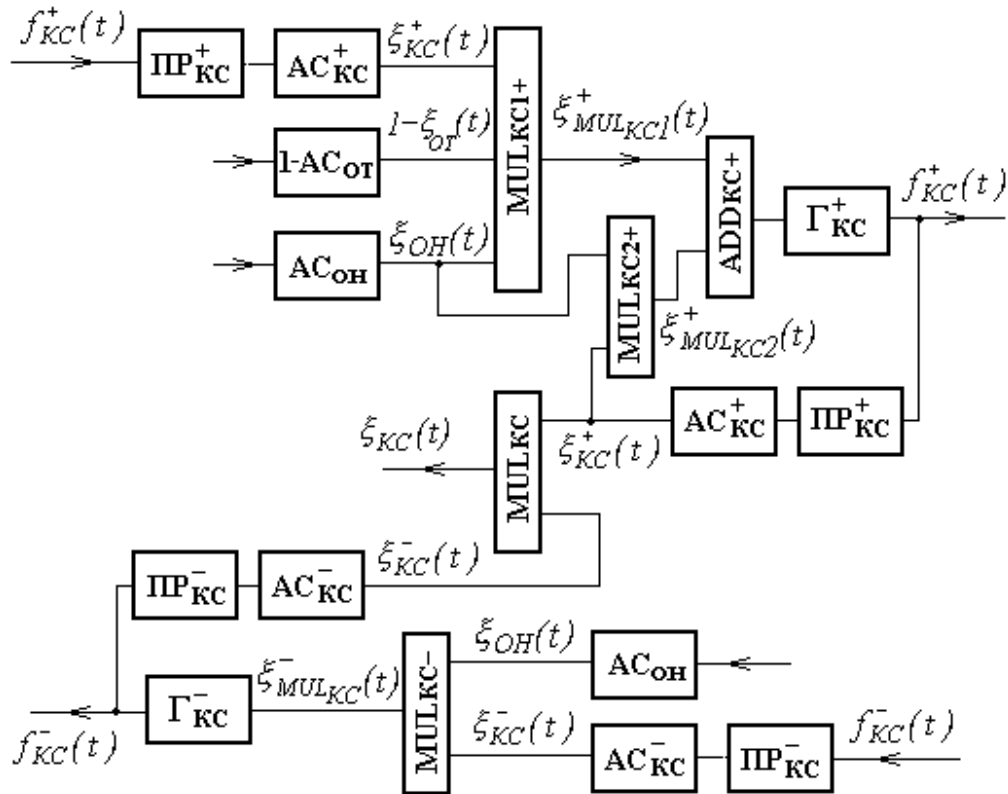
$$\xi_{KC}(t) = k_s \frac{\xi_{KC}^+(t) + \xi_{KC}^-(t)}{2} \quad (28)$$

Складові чисельника цього рівняння – виходи відповідних амплітудних селекторів, які, у сукупності з  $PP_{KC}^+$  та  $PP_{KC}^-$ , приймають сигнали внутрішніх генераторів  $\Gamma_{KC}^+$ ,  $\Gamma_{KC}^-$ . Функціонування генератора  $\Gamma_{KC}^+$  відповідає наступному рівнянню

$$f_{KC}^+(t) = \xi_{ADD_{KC}}^+(t) \cdot \sin(\omega_{KC}^+ t + \theta_{max} \sin(\Omega_{KC}^+ t)) \quad (29)$$

а генератора  $\Gamma_{KC}^-$

$$f_{KC}^-(t) = \xi_{MUL_{KC}}^-(t) \cdot \sin(\omega_{KC}^- t + \theta_{max} \sin(\Omega_{KC}^- t)) \quad (30)$$



**Рис. 13 Структура моделі контролю стану секцій модулю вихідного світлофора МЦОС-ВДІ**

Генератор  $\Gamma_{KC}^+$  починає роботу при появі на вході модуля сигналу  $f_{KC}^+(t)$  з урахуванням умов:  $\xi_{OT}^+(t) = 0$  та  $\xi_{OH}^+(t) \neq 0$ , тобто відсутності відміни й наявності сигналу на встановлення поїзного або маневрового маршруту, у відповідності до (28). Після замикання секцій сигнал  $\xi_{KC}^+(t)$  стає рівним нулю, але генератор  $\Gamma_{KC}^+$  продовжує функціонувати до моменту зникнення сигналу  $\xi_{OH}^+(t)$  за рахунок власного сигналу, який після обробки подається на елементи  $MUL_{KC2}^+$  та  $ADD_{KC}^+$ .

**Як впливає зі структури технічних засобів (див. рис. 8) та з урахуванням розробленої організації взаємодії між модулями виконавчої групи (див. рис. 10), перевірка умов забезпечення безпеки при встановленні маршруту в частині перевірки стану секцій виконується двома сигналами  $f_{KC}^+(t)$  та  $f_{KC}^-(t)$ . Останній з них подається до модулю МЦОС, який відповідає кінцю маршруту. Проходячи по модулях, при відповідності умов забезпечення безпеки, сигнал  $f_{KC}^-(t)$  поступає на модуль світлофора, від якого встановлюється маршрут. У структурі моделі модулю вихідного світлофора МЦОС-ВДІ цей сигнал обробляється елементами  $ПР_{KC}^-$  та  $АС_{KC}^-$ . Якщо параметри  $f_{KC}^-(t)$  відповідають апріорно встановленим, то  $\xi_{KC}^-(t) \approx 1$ . Тоді, відповідно до виразу**

$$\xi_{MUL_{KC}}^-(t) = \xi_{OH}^-(t) \cdot \xi_{KC}^-(t), \quad (31)$$

сигнал приймає значення  $\xi_{MUL_{KC}}^-(t) \approx 1$ , забезпечуючи, у відповідності до (30), амплітуду сигналу  $f_{KC}^-(t)$ . Таким чином, у моделі контролю стану секцій модуля вихідного світлофора МЦОС-ВДІ (22) – (31) забезпечується  $\xi_{KC}(t) \approx 1$  тільки за умови постійної перевірки умов безпеки при встановленні маршруту. Якщо хоча б одна з перерахованих вище умов не виконується, то зникає один або обидва сигнали  $f_{KC}^+(t)$ ,  $f_{KC}^-(t)$ , внаслідок чого  $\xi_{KC}(t)$  стає рівним нулю.

У розробленій динамічній наскрізній сигнальній моделі формування сигналу на вмикання дозволяючих показань на світлофорах відбувається тільки у разі виконання усіх необхідних вимог безпеки: перевірки контролю стану секцій; фактичного замикання секцій маршруту; відсутності штучного розмикання секцій; виключенні можливості встановлення лобового маршруту на прийомо-відправну колію; вільності колії; відсутності включення на вхідному світлофорі запрошувального вогню; відсутності на перегоні господарчого поїзду, який відправлено з ключем-жезлом; вільності першої ділянки віддалення; фактичного встановлення напрямку руху.

Розроблені маршрутні наскрізні динамічні моделі реалізують автоматичне розмикання секцій після прослідування поїзду. При цьому перевіряються наступні умови безпечного функціонування: факт зайняття власної ділянки; звільнення та розмикання попередньої; відсутність інших видів розмикання; контроль положення стрілок у маршруті.

У **п'ятому розділі** представлено розроблений метод оцінки показників надійності та безпеки СССЦ на основі аналізу даних поїздопотоків, їх апроксимації та тестування за критеріями небезпечних відмов, доповнених часовими ознаками, що дозволяє забезпечити виконання нормативних вимог до запропонованих програмно-апаратних засобів СССЦ.

У зв'язку з тим, що програмне забезпечення системи керування рухом поїздів створюється для полігона залізниці, основною його функцією є обробка вхідного поїздопотоку відповідно до визначеного алгоритму роботи. Крім цього, СССЦ піддається впливу ряду випадкових факторів, а саме: кліматичних впливів, електромагнітних, фізичних тощо. З урахуванням цього, структура моделі віртуального середовища тестування програмного забезпечення складається з наступних функціональних вузлів (рис. 14): програмне забезпечення, що тестується; генератори псевдовипадкових подій  $P_n(t)$  та  $P_y(t)$  (N, Y); логічний функціональний елемент, який моделює вхідну інформацію для програмного забезпечення, що тестується  $M(t)$ ; логічний фіксатор наявності небезпечної відмови  $Q_o(t)$ .

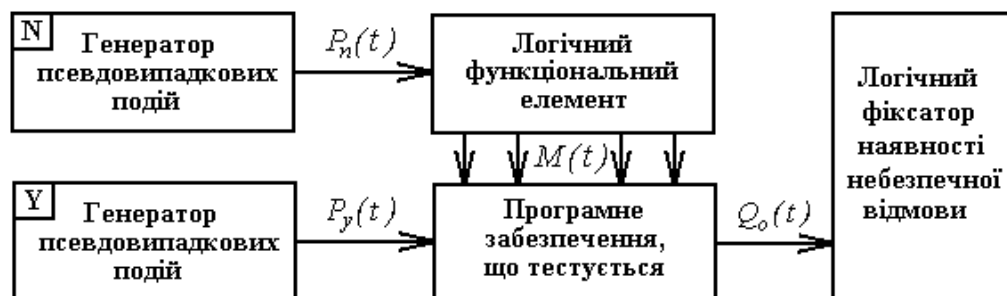


Рис. 14 Структура моделі тестування програмного забезпечення СССЦ

У розділі показано, що модель середовища тестування програмного забезпечення може відтворити умови функціонування на реальному полігоні залізниці, але її адекватність визначається потоком подій системи керування та точністю апроксимації функції розподілу міжпоїзного інтервалу  $P_n(t)$ . У зв'язку з цим проведено дослідження потоку подій СССЦ і визначено, що він не є найпростішим, тому що щільність розподілу часу міжпоїзного інтервалу за інформацією дискретних датчиків не розподілена за експонентним законом ( $\chi^2 = 3368,650271724$  при тринадцятьох ступенях свободи).

Статистичні дослідження дозволили виявити наступні закономірності апроксимації поїздопотоків: в залежності від типу станції та системи, що виконує фіксацію часових ознак, вхідний поїздпотік апроксимується виразом

$$P(t) = g e^{-\lambda t} \quad (32)$$

з двома вільними членами  $g$  та  $\lambda$ , або системою

$$P(t) = \begin{cases} g_1 \frac{(\lambda_1 t)^{k_1}}{k_1!} e^{-\lambda_1 t}; 0 \leq t < M[P^*(t)] \\ g_2 \frac{(\lambda_2 t)^{k_2}}{k_2!} e^{-\lambda_2 t}; M[P^*(t)] \leq t < \infty \end{cases} \quad (33)$$

з коефіцієнтами  $g_1, g_2, \lambda_1, \lambda_2$ , що розраховуються в процесі обробки статистичних даних;

При апроксимації повинні виконуватися умови:  $\int_0^{\infty} P(t) dt = 1$  та  $P(t=0) = 0$ .

В результаті розрахунків отримано наступні похибки за збігом статистичних даних та значень функцій:  $\delta = 0,085378$  та  $\delta = 0,041921$  при апроксимації даних МПДК "ТЕМП" функціями (32) та (33) відповідно;  $\delta = 0,089246$  функцією (33) для системи АСОУП (АСК ВП УЗ);  $\delta = 0,007657$  та  $\delta = 0,057866$  при апроксимації даних МПДЦ "КАСКАД" функціями (32) та (33) відповідно.

На основі отриманих результатів та моделювання зроблено висновок, що щільність розподілу часу безвідмовної роботи програмного забезпечення системи керування рухом поїздів прагне до функції розподілу міжпоїзного інтервалу, а щільність розподілу часу безпечної роботи – до експонентного закону. Це дозволило впровадити метод прискореного тестування засобів реалізації системи, що необхідно для забезпечення виконання нормативних вимог до запропонованих програмно-апаратних засобів СССЦ.

Для проведення контрольних випробувань комплексу програмно-апаратних засобів СССЦ розроблено макет ділянки диспетчерського керування, фотографії загального вигляду якого наведено у додатках до акту впровадження у Донецькому інституті залізничного транспорту. Макет відтворює функціонування восьми станцій, дві з яких є тупиковими. Двоколіїні та одноколіїні перегони обладнані системами автоблокування та напівавтоблокування. Рухомий склад макету складається з моделей локомотивів та вагонів з коефіцієнтом зменшення 1:75. Аналогічне значення для коефіцієнту скорочення використано при розрахунках довжини станційних колій та перегонів. Такі заходи дозволили отримати коефіцієнт форсування швидкодії  $K_B = [12...21]$  за значенням статистичного середнього міжпоїзного інтервалу з урахуванням апроксимації поїздопотоків за виразами (32), (33).

## ВИСНОВКИ

У дисертації розроблено комплексний інноваційний підхід щодо синтезу станційних систем сигналізації й централізації (СССЦ), у якому на відміну від існуючих реалізовано наскрізний динамічний режим функціонування із застосуванням аналітичних залежностей між вхідними та вихідними сигналами. На основі проведених досліджень зроблені такі висновки:

1. Аналіз існуючих систем сигналізації й централізації та здійснена класифікація математичних моделей надійності їх роботи дозволили розробити науковий підхід щодо реалізації наскрізного безпечного динамічного режиму функціонування всіх рівнів СССЦ.

2. Розроблена концепція синтезу станційних систем сигналізації й централізації, виявлені умови та доведена можливість виникнення небезпечних відмов дозволили реалізувати динамічний режим функціонування СССЦ. Проведено дослідження оцінки ймовірності виникнення небезпечних відмов при динамічному режимі функціонування СССЦ. Виявлено, що в умовах інформаційних обмежень та при відсутності резервування ймовірність виникнення небезпечної відмови обмежена зверху значенням ймовірності відмов типу пробій апаратних засобів. Це дозволило встановити, що при синтезі наскрізної динамічної мікропроцесорної системи необхідно розраховувати час виконання програмних блоків для мінімізації ймовірності виникнення небезпечних відмов.

3. Встановлено закономірності формування відповідальних сигналів та розроблено

методологічні підходи побудови станційних систем сигналізації й централізації за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов. Виявлено, що організація наскрізного динамічного режиму СССЦ можлива на основі виявлення функціональних аналітичних залежностей між вхідними та вихідними сигналами, представленими як безперервні функції часу.

4. Розроблено адитивну та мультиплікативну динамічні моделі перевірки умов безпеки при реалізації відповідальних команд керування та виконано синтез безпечного функціонального елемента (БФЕ). При цьому отримано наступні числові значення, які характеризують якість керування: при шунтуванні рейкового кола зміна значення кореляційної функції мультиплікативної моделі становить більш 95%. Чутливість до контролю положення гостряків стрілок у відсотковому відношенні до еталонного складає 10-21%. Дослідження програмної реалізації БФЕ виявило наступне: смуга пропускання першого фільтру становить 25 – 38 Гц (за рівнем 0,7), затухання поза смугою складає більш, ніж 60 дБ; у другому фільтрі смуга пропускання – 5 Гц, затухання поза смугою – 42-56 дБ. Амплітудна вибірковість БФЕ забезпечується використанням функції, що співпадає з законом розподілення Пуасона. При її першому порядку затухання елемента дорівнює нулю тільки при номінальному значенні амплітуди вхідного сигналу, при його зменшенні на 20 дБ вихідний сигнал зменшується на 56 дБ, а при збільшенні на 20 дБ загасання складає близько 80 дБ. Розробка моделей та БФЕ дозволила реалізувати програмно функціональні блоки та вузли СССЦ за критерієм мінімуму ймовірності виникнення небезпечних відмов при наскрізному динамічному режимі функціонування;

5. На основі використання БФЕ розроблено комплекс наскрізних динамічних моделей функціонування складових СССЦ: колійного приймача тональних рейкових кіл (КП ТРК), пристроїв керування стрілками та світлофорами, відповідальних модулів цифрової обробки сигналів виконавчої групи. При цьому модель КП ТРК має наступні значення основних параметрів: загасання поза смугою пропускання ЗФ1 більше 40 дБ, ЗФ2 – більш 60 дБ, теоретичне максимальне значення чутливості складає 4 мкВ, а при співвідношенні сигнал/завада 10 дБ – 125 мкВ. У моделі контролю стану гостряків стрілки смуга пропускання за рівнем 0,7 складає 0,5 Гц; діапазон амплітуд вхідних сигналів - 0,7...1,3 В, при відсутності сплесків та провалів у перехідній характеристиці. У моделі керування світлофором використано широтно-імпульсну модуляцію робочого струму та вирішено задачу оптимізації вибору робочих частот, при цьому максимум спектральної щільності становить  $S(f_{\Delta}^3, t) = 0,50685984$ , при значеннях керованих змінних:  $f_{sin} = 250(Гц)$ ,  $f_{II} = \{968,75; 1000; 1031,25; 1062,5\}(Гц)$ . У розробленій моделі дешифрування коду АЛС, де на відміну від існуючого аналізу часових ознак вхідного сигналу використовується спектральний кореляційний прийом та дешифрування, підвищена функціональна безпека за рахунок збільшення стійкості до впливу завад у частині впевненого дешифрування коду КЖ. Так при зменшенні тривалості першого імпульсу, номінальне значення якого в існуючих пристроях

складає 0,23 секунди й не повинне виходити за межі 0,18-0,24 с, у розробленій моделі такий діапазон складає 0,16-0,34 секунди. На основі використання БФЕ розроблено комплекс функціональних моделей: контролю секцій, сигнальних, маршрутних, та виконано синтез наскрізної динамічної СССЦ, що дозволяє покращити експлуатаційні характеристики та підвищити рівень функціональної безпеки системи.

6. Формалізовано критерії небезпечних відмов рейкових кіл (РК), пристроїв керування стрілками й сигналами з урахуванням часових характеристик наявності відмов. Встановлено, що критерієм небезпечної відмови є формування інформації про вільність РК при його фактичній зайнятості, якщо час формування таких даних у колійному приймачі перевищує: 1,75 с у РК постійного струму; 0,7 с - змінного струму; 0,1 с у ТРК, РК з частотною та фазовою модуляцією сигнального струму. Критерієм небезпечної відмови пристроїв контролю стану гостряків стрілки є формування інформації про наявність контролю при фактичному знаходженні гостряків у протилежному або проміжному положенні тривалістю, більшою 0,7 с. Критерієм небезпечної відмови пристрою керування світлофором є формування команди, достатньої для вмикання дозволяючого показання замість забороняючого тривалістю, більшою, ніж 0,45 с для ламп накаливання, та 0,35 с для світлодіодних випромінювачів. Формалізація критеріїв з урахуванням часових характеристик наявності відмов дозволила розробити наскрізні динамічні функціональні моделі СССЦ.

8. Розроблено метод оцінки показників надійності та безпеки СССЦ на етапі проектування з урахуванням даних поїздопотоків, їх апроксимації та тестування за критеріями небезпечних відмов, доповнених часовими ознаками, що дозволяє забезпечити виконання нормативних вимог до запропонованих програмно-апаратних засобів станційних систем сигналізації й централізації. Реалізація запропонованих і обґрунтованих у дисертації методів синтезу станційних систем сигналізації й централізації на основі динамічних функціональних моделей забезпечує підвищення безпеки руху транспорту, зменшує матеріальні витрати на розробку, впровадження та експлуатацію станційних систем сигналізації й централізації. Розроблені методи оцінки надійності та безпеки дозволяють виявляти причини затримок поїздів та здійснювати їх аналіз. Фактичний економічний ефект від впровадження результатів роботи, підтверджений актами впровадження, складає 201,2 тис. грн., очікуваний – 878,45 тис. грн.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **ОСНОВНІ ПРАЦІ**

1. Чепцов М.Н. Корреляционный прием и дешифрация кода АЛСН по спектральному признаку / А.Б. Бойник, М.Н. Чепцов, А.М. Трунаев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 2. – С. 64-68.



2. Чепцов М.Н. Применение сигнальных процессоров в системах диспетчерской централизации / Г.В. Коваленко, М.Н. Чепцов, В.П. Шамота // Збірник наукових праць КУЕТТ. Серія «Транспортні системи і технології», - 2003. – Вип. 4, - С. 157-160.
3. Чепцов М.М. Моделі пристроїв керування станційними світлофорами / М.М. Чепцов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – №3/8(39), – С. 20-24.
4. Чепцов М.М. Модель пристрою керування централізованою стрілкою / М.М. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, – №3, – 2009, – С. 89-96.
5. Чепцов М.М. Синтез моделі контролю стану секцій на основі безпечного функціонального елемента / М.М. Чепцов // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Випуск 18, – Донецьк: 2009, – С.37-54.
6. Чепцов М.М. Синтез поїзної та маневрової сигнальної моделі на основі безпечного функціонального елемента / М.М. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. – С. 66-74.
7. Чепцов М.М. Функціональна модель блоку стрілки системи мікропроцесорної централізації / М.Н. Чепцов, С.С. Хілобокова // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Випуск 17, – Донецьк: 2009. - С. 45 - 55.
8. Чепцов М.Н. Анализ нормативно-правовой базы функциональной безопасности программно-аппаратных средств систем управления движением поездов / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць. ДонІЗТ. - №11, – Донецьк: 2007. - С. 53-60.
9. Чепцов М.Н. Анализ потока событий микропроцессорной диспетчерской централизации / М.Н. Чепцов, В.Н. Сунцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, - №6, - 2003. - С. 50-52.
10. Чепцов М.Н. Аппроксимация статистических данных входящего станционного поездопотока / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць. ДонІЗТ, - №5, - Донецьк: 2006. - С. 103-110.
11. Чепцов М.Н. Безопасность программного обеспечения микропроцессорных тональных рельсовых цепей / М.Н. Чепцов // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Випуск 4, – Донецьк: 2005, – С. 54-61.
12. Чепцов М.Н. Безопасность программного обеспечения приемника прямого преобразования тональных рельсовых цепей / М.Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – № 1. – С. 19-22.
13. Чепцов М.Н. Вероятность опасного отказа микропроцессорного устройства управления движением поездов. / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць. ДонІЗТ. – Донецьк: №9, - 2007. - С. 68-73.
14. Чепцов М.Н. Динамический опасный отказ программного обеспечения / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: № 8, – 2006, – С. 133-143.

15. Чепцов М.Н. Критерии опасных отказов микропроцессорных устройств управления и контроля положения стрелки / М.Н. Чепцов, С.А. Радковский // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: № 13, – 2008. - С. 57-62.
16. Чепцов М.Н. Критерий опасного отказа микропроцессорного устройства управления показаниями светофора / М.Н. Чепцов, С.А. Радковский // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: №16, – 2008. – С. 27-31.
17. Чепцов М.Н. Метод определения параметров безопасности программного обеспечения в микропроцессорных системах управления движением поездов / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць. ДонІЗТ. – Донецьк: №2 – 2005. – С. 39 – 46.
18. Чепцов М.Н. Метод синтеза программных моделей по критерию минимальной вероятности возникновения опасных отказов / М.Н. Чепцов, А.Б. Бойник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 4. – С. 115-119.
19. Чепцов М.Н. Модель среды тестирования программного обеспечения при доказательстве функциональной безопасности систем управления движением поездов. / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць. ДонІЗТ. – Донецьк: №7, - 2006. - С. 89-98.
20. Чепцов М.Н. Модель устройства контроля положения острия стрелки / М.Н. Чепцов, А.Б. Бойник // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. Випуск 102, – Харків: Видавництво УкрДАЗТу, – 2009. – С. 201-209.
21. Чепцов М.Н. Мультипликативная модель формирования ответственных команд в микропроцессорной системе централизации / М.Н. Чепцов, А.Б. Бойник // Зб. наук. праць. ДонІЗТ. – Донецьк: №14, – 2008, – С. 82-90.
22. Чепцов М.Н. Применение аналитического метода для синтеза функциональных моделей обеспечения безопасности в системах микропроцессорной централизации / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: №12, - 2007, - С. 81-90.
23. Чепцов М.М. Синтез маршрутної моделі на основі безпечної функціонального елементу / М.М. Чепцов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: №19, – 2009. – С. 51-62.
24. Чепцов М.Н. Синтез модели безопасного функционального элемента / М.Н. Чепцов, А.Б. Бойник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.–2008.–№5-6.– С. 89-95.
25. Чепцов М.Н. Синтез модели информационного обеспечения системы диспетчерской централизации на основе методов цифровой обработки сигналов / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць. УкрДАЗТ. Випуск 94, – Харків: Видавництво УкрДАЗТу, 2009, - С. 126 - 133.
26. Чепцов М.Н. Функциональный анализ и синтез критериев опасных отказов рельсовых цепей различных типов / М.Н. Чепцов, С.А. Радковский // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Випуск 25, – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад., В. Лазаряна, 2008, - С. 189 - 193.

27. Чепцов М.Н. Функция распределения опасных отказов системы управления движением поездов / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: №10, – 2007. – С. 73-77.

Додаткові праці:

28. Мікропроцесорна диспетчерська централізація “КАСКАД”: Навч. посібник / [М.І.Данько, В.І. Мойсеєнко, В.З. Рахматов, В.І. Троценко, М.М. Чепцов]. – Харків, 2005. – 176 с.

29. Пат. 88336 Україна, МПК (2006), НОЗК 17/78. Оптичне електронне поляризоване реле / Бутенко В.М., Чуб С.Г., Прогонний О.М., Чепцов М.М.; заявник та власник Українська державна академія залізничного транспорту. - № а200706136; заявл. 04.06.2007; опубл. 12.10.2009, бюл. № 19.

30. Чепцов М.Н. Аналитические модели проверки условий безопасности в микропроцессорных системах управления движением поездов / М.Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - №4, - 2008. - С. 25 -26.

31. Чепцов М.Н. Метод синтеза безопасных программных модулей на основе аналитических зависимостей между входными и выходными сигналами / М.Н. Чепцов // Зб. наук. праць ХНЕУ. – Харків: № 15. – 2008. – С. 27-28.

32. Чепцов М.Н. Методы и модели безопасности программного обеспечения систем управления движением поездов / М.Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - №4, - 2006. - С.13 -14.

33. Чепцов М.Н. Имитационное моделирование в автоматизированных системах обучения и проверки знаний персонала службы перевозок / М.Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, - №5, - 2005. - С. 103.

34. Чепцов М.Н. Метод подтверждения соответствия функциональной безопасности программного обеспечения в системах управления движением поездов требованиям ДСТУ 4178-2003 / М.Н. Чепцов // Залізничний транспорт України №3/2(49), - 2005. – С. 200

35. Чепцов М.Н. Применение методов UML для оценки безопасности программного обеспечения. «7-й Міжнародний молодіжний форум Радіоелектроніка й молодь у ХХІ столітті» / М.Н. Чепцов // Харківський Державний технічний університет радіоелектроніки. – Харків: 2003. - С. 435.

36. Чепцов М.Н. Синтез модели информационного обеспечения системы диспетчерской централизации на основе методов цифровой обработки сигналов / М.Н. Чепцов // Зб. науч. трудов Одесского национального морского университета. Том 1 Транспорт, Физика и математика, История. – Одеса: 2008. – С. 31-32.

37. Чепцов М.Н. Метод синтеза системы управления движением поездов на основе модели безопасного функционального элемента. / М.Н. Чепцов // Материалы 2-й международной научной конференции «Электромагнитная совместимость и безопасность на ж.д. транспорте.- Мисхор: - 2009. - С. 53-54.

## АНОТАЦІЯ

**Чепцов М.М. Формування методів синтезу станційних систем сигналізації та централізації на основі динамічних функціональних моделей. - Рукопис.**

**Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2010.**

У дисертації розроблено комплексний інноваційний підхід щодо формування методів синтезу станційних систем сигналізації та централізації на основі динамічних функціональних моделей, у яких на відміну від існуючих реалізовано наскрізний динамічний режим функціонування із застосуванням аналітичних залежностей між вхідними та вихідними сигналами. В роботі виявлені умови та доведена можливість виникнення динамічних небезпечних відмов у програмних засобах реалізації станційних систем. Встановлено закономірності формування відповідальних команд, розроблено адитивну й мультиплікативну динамічні моделі перевірки умов безпеки та виконано синтез безпечного функціонального елемента. На основі його застосування розроблено комплекс функціональних моделей: контролю секцій, сигнальних, маршрутних. Виконано синтез наскрізної динамічної станційної системи сигналізації й централізації, що дозволяє покращити експлуатаційні характеристики та підвищити рівень функціональної безпеки.

*Ключові слова:* станційна система сигналізації й централізації, функціональна безпека, небезпечна відмова, наскрізна динамічна модель, безпечний функціональний елемент.

## АННОТАЦИЯ

**Чепцов М.Н. Формирование методов синтеза станционных систем сигнализации и централизации на основе динамических функциональных моделей. - Рукопись.**

**Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22. 20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2010.**

В диссертации разработан комплексный инновационный подход к формированию методов синтеза станционных систем сигнализации и централизации на основе динамических функциональных моделей, при этом реализован сквозной динамический режим функционирования с применением аналитических зависимостей между входными и выходными сигналами. Известно, что основным методом минимизации вероятности возникновения опасных отказов в современных системах является структурная избыточность. Однако применение резервирования связано со значительными материальными затратами и в ряде случаев не обеспечивает соответствие необходимым показателям функциональной безопасности. В основном это связано со сложностью и неоднозначностью методов реализации программных средств. В диссертации, на основе

выполненного анализа и рассмотренных условий функционирования, выявлены информационные ограничения синтеза безопасных систем, доказана возможность возникновения динамических опасных отказов в программных средствах их реализации. В работе формализованы и дополнены временными характеристиками критерии опасных отказов рельсовых цепей, устройств управления стрелками и светофорами. Установлены закономерности и разработаны методологические подходы формирования ответственных команд на основе применения аналитических зависимостей между входными и выходными сигналами, представленными как непрерывные функции времени. Выполнен синтез аддитивной и мультипликативной динамических моделей проверки условий безопасности при формировании ответственных команд управления, приведен анализ функционирования их программной реализации, выявлены достоинства, недостатки, ограничения на применение. В работе проведен синтез модели безопасного функционального элемента и на его основе разработаны сквозные динамические модели функционирования путевых приемников тональных рельсовых цепей, узла дешифрации кодов автоматической локомотивной сигнализации, устройств управления стрелками и светофорами по критерию минимума вероятности возникновения опасных отказов. Проведен синтез комплекса функциональных моделей: контроля секций, сигнальных, маршрутных, на основе которых разработана сквозная динамическая станционная система сигнализации и централизации, что позволило улучшить эксплуатационные характеристики и повысить уровень функциональной безопасности. Разработан метод оценки надежности и безопасности станционных систем на основе анализа данных поездопотоков, их аппроксимации и тестирования по критериям опасных отказов, дополненных временными характеристиками, что позволяет обеспечить выполнение нормативных показателей в предложенных программно-аппаратных средствах реализации станционных систем сигнализации и централизации.

*Ключевые слова:* станционная система сигнализации и централизации, функциональная безопасность, опасный отказ, сквозная динамическая модель, безопасный функциональный элемент.

## **ABSTRACT**

Cheptsov M. Forming the methods of syntheses of signaling and centralizations station systems on the base of dynamic functional models. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.22. 20 – exploitation and repair of transport means; Ukrainian state academy of the railway transport; Kharkiv, 2010.

Here, in His dissertation designed complex new approach to forming the methods of syntheses of signaling and centralizations station systems on the base of dynamic functional models, in which, unlike

existing marketed end-to-end dynamic mode of operation with using the analytical dependencies between in and out signals. In work there are revealed condition and proved possibility of arising the dynamic dangerous refusals of software programs of realization station systems. Installed regularities of forming the responsible commands, designed additional and multiplication dynamic models of checking the safety conditions, executed syntheses of safe functional element. On the base of its using complex of functional models is designed: checking the sections, signal, routing. Executed syntheses of end-to-end dynamic station warning systems and centralizations, which allows to perfect field-performance dates and raise's a function of safety level.

Keywords: signaling and centralizations station systems, functional safety, dangerous refusal, dynamic model, safe functional element.